ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική ΕΡΓΑΣΊΑ

Εξέταση της απόδοσης ηλεκτρογεννητριών με χρήση δεικτών απόδοσης και λειτουργικών δεδομένων

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Χρήστος Καραγκούνης

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: nm14079

ΕΞΑΜΗΝΟ: 10ο

Ευχαριστίες

Θα αρχίσεις να πλησιάζεις τον παράδεισο Ιωνά τη στιγμή που θα αγγίξεις την τέλεια ταχύτητα. Και τέλεια ταχύτητα δεν είναι να πετάς με χίλια μίλια την ώρα ή με ένα εκατομμύριο ή με την ταχύτητα του φωτός. Κι αυτό γιατί κάθε αριθμός είναι από μόνος του ένα όριο, ενώ η τελειότητα δεν έχει όρια. Τέλεια ταχύτητα γιε μου σημαίνει να είσαι εκεί.
(Του Ιωναθαν Λιβινγκστον Richard Bach).

Σύμφωνα με το ρητό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Νικόλαο Θεμελή, την αδερφή μου Σοφία Καραγκούνη και την συμπαράσταση των γονέων μου μέχρι το σημείο που κατάφεραν να με ακολουθήσουν σε αυτό το ταξίδι. Κάθε βοήθεια που εισέπραξα ήταν εκεί όταν την χρειαζόμουν και ευχαριστώ όσους την έδωσαν άμεσα ή έμμεσα, έτσι ώστε να μπορέσω να ολοκληρώσω και εγώ αυτό το ακαδημαϊκό ταξίδι και να αποφοιτήσω σε μια τόσο ενδιαφέρουσα σχολή των Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Σύνοψη

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θα γίνει η μελέτη και έρευνα τριών ηλεκτρογεννητριών. Στόχος είναι η αποδοτική και ακριβή εκκαθάριση δεδομένων για την εύρεση της απόδοσης στο χρόνο των ηλεκτρογεννητριών όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου καθώς και την ανάπτυξη δεικτών απόδοσης για την καλύτερη καταγραφή και επισκόπηση της απόδοσης της λειτουργείας των ηλεκτρογεννητριών. Η εκκαθάριση των δεδομένων έγινε βάση της κατανάλωσης καυσίμου και του φορτίου των μηχανών, σύμφωνα με τα οποία υπολογίστηκε ένα αντιπροσωπευτικό trendline y=ax και η διασπορά του σ για κάθε ηλεκτρογεννήτρια. Η εκκαθάριση συνέβη για οποιοδήποτε στοιχείο ήταν εκτός του εύρους y-σ,y+σ για το συγκεκριμένο δίνοντας έτσι στην μελέτη το τελικό δείγμα προς ανάλυση, τα διαγράμματα που το αναπαριστούν είναι παρακάτω.

Μετέπειτα ξεκίνησε η μελέτη και εύρεση δεικτών απόδοσης με την μέθοδο του Pearson correlation efficiency κατά το οποίο κρίθηκαν άξιοι μελέτης και ανάλυσης οι δείκτες απόδοσης, οι οποίοι αφορούν τα φυσικά μεγέθη 1) Μέση θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους κυλίνδρους ως προς το φορτίο % της μηχανής και 2) κοινή θερμοκρασία των καυσαερίων κατά την είσοδο τους στον στροβιλοσυμπιεστή ως προς το φορτίο % της μηχανής.

Εν τέλει παρατίθενται τα συμπεράσματα της μελέτης καθώς και τα παραρτήματα Appendices για τα ίδια διαγράμματα που παρουσιάστηκαν κατά την μελέτη αυτήν την φορά ωστόσο για μεγαλύτερη συχνότητα των 30 και 60 λεπτών μειώνοντας το πλήθος σημείων-δεδομένων προς ανάλυση

Abstract

For this current thesis a study will be conducted for three generators. The aim of this study was to clear data efficiently and accurately to find the efficiency of the generators in time based on the fuel oil consumption and to create key performance indicators (KPIs) for a better recording of the performance and operation of the generators. The clearance of the data was based on the fuel oil consumption and the load of each generator, according to which a representative trendline of y=ax with a deviation of σ were calculated. The clearance took place for each data point that was outside the limits of y-σ, y+σ and creating the complete sample that would be analyzed.

Later a study and research took place to find the KPIs with the method of Pearson's correlation efficiency according to which the ones that were considered worthy for analyzing happened to be related with the physical quantities of 1) the average outlet temperature of all the cylinders of each generator relative to the engine load % and 2) the common temperature of the exhaust gasses as they enter the turbocharger relative to the engine load%.

Lastly the conclusions of the study and the Appendices of all the diagrams will be shown. Also the same diagrams but for an interval of 30 and 60 minutes instead of 5 will be shown by reducing the number of data to be analyzed.

Περιεχόμενα

◊ Κεφάλαιο 1 ◊ 10
Εισαγωγή και γενικά στοιχεία των γεννητριών 10
1.1 Εισαγωγή στο πρόβλημα 10
1.1.1 Κριτική ανασκόπηση διπλωματικών και ερευνών που μελετήθηκαν 11
1.1.2 Στόχοι της διπλωματικής εργασίας 13
1.1.3 Μεθοδολογία για την επίτευξη των στόχων 13
1.2 Γενικά στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου και των ηλεκτρογεννητριών 15
◊ Κεφάλαιο 2 ◊ 17
Παρουσίαση και ανάλυση των λειτουργικών δεδομένων 17
2.1 Παρουσίαση των δεδομένων 17
2.2 Συλλογή και οργάνωση των δεδομένων 18
2.3 Στατιστική ανάλυση των δεδομένων 20
2.4 Ανάλυση του χρόνου και του φορτίου λειτουργίας των ηλεκτρογεννητριών 25
2.4.1 Μέσοι όροι για τα δεδομένα 26
2.4.2 Στατιστική ανάλυση των δεδομένων 28
◊ Κεφάλαιο 3 ◊ 36
Εξέταση της ενεργειακής απόδοσης βάση την ειδική κατανάλωση 36
◊ Κεφάλαιο 4 ◊ 45
Επιλογή φυσικών παραμέτρων για τους δείκτες παρακολούθησης 45
4.1 Έλεγχος για δείκτες απόδοσης και πραγματικό performance των ηλεκτρομηχανών 45
◊ Κεφάλαιο 5 ◊ 47
Δείκτης απόδοσης της μέσης θερμοκρασίας καυσαερίων T_{av} 47
4.1 Ορισμός μεταβλητής T_{AV} για το μέγεθος της μέσης θερμοκρασίας των καυσαερίων από όλους τους κυλίνδρους κατά την έξοδο τους μετά την καύση. 47
4.2 Παρουσίαση της μεταβλητής T_{AV} και του KPI για τα πραγματικά και αναμενόμενα δεδομένα με διαγραμματικές αναπαραστάσεις. 49
◊ Κεφάλαιο 6 ◊ 53
Δείκτης απόδοσης της θερμοκρασίας καυσαερίων στον στροβιλοσυμπιεστή T/C TEMP 53
5.1 Ορισμός μεταβλητής T/C TEMP για το μέγεθος θερμοκρασία των καυσαερίων κατά την εισαγωγή τους στον στροβιλοσυμπιεστή 54
5.2 Παρουσίαση της μεταβλητής T/C TEMP και του KPI για τα πραγματικά και αναμενόμενα δεδομένα με διαγραμματικές αναπαραστάσεις. 55
◊ Κεφάλαιο 7 ◊ 57
Αξιολόγηση των ηλεκτρογεννητριών 57

8.Συμπεράσματα 63
Πηγές 67
Παράρτημα 68
Για την πρώτη ηλεκτρογεννήτρια 68
DG1: SFOC TIME, SFOC LOAD, FOC LOAD 68
DG1: T_{aver}, KPI του T_{aver} 72
DG1: T/C TEMP, KPI του T/C TEMP 74
Για την δεύτερη ηλεκτρογεννήτρια 76
DG2: SFOC TIME, SFOC LOAD, FOC LOAD 76
DG2: T_{aver}, KPI του T_{aver} 80
DG2: T/C TEMP, KPI του T/C TEMP 82
Για την τρίτη ηλεκτρογεννήτρια 84
SFOC TIME, SFOC LOAD, FOC LOAD 84
DG3: T_{aver}, KPI του T_{aver} 88

Λίστα εικόνων, πινάκων και διαγραμμάτων

Πίνακας 1 Κύρια μεγέθη του σκάφους από τις δοκιμές θαλάσσης της SMDERI. Όνομα σκάφους ''MEG'' 15
Πίνακας 2:Ονομαστικές τιμές μέσης θερμοκρασίας κατά την καύση και θερμοκρασίας εισαγωγής στον στροβιλοσυμπιεστή κατά Test records DG1 16
Πίνακας 3: Ονομαστικές τιμές μέσης θερμοκρασίας κατά την καύση και θερμοκρασίας εισαγωγής στον στροβιλοσυμπιεστή κατά Test records DG2 16
Πίνακας 4: Ονομαστικές τιμές μέσης θερμοκρασίας κατά την καύση και θερμοκρασίας εισαγωγής στον στροβιλοσυμπιεστή κατά Test records DG3 16
Πίνακας 5: Σύνολο μετρήσεων για κάθε κατηγορία 25
Πίνακας 6: Μέσες τιμές και διασπορές για την εγκυρότητα του δείγματος σε κάθε DG 27
Πίνακας 7: Στατιστικά μεγέθη του φορτίο της κάθε ηλεκτρογεννήτριας 28
Πίνακας 8: Αριθμός σημείων ανά 10% εύρος του φορτίου που λειτούργησε η μηχανή 30
Πίνακας 9 Στατιστικά μεγέθη του φορτίου της DG1 σε σχέση με τις άλλες δύο DG 31
Πίνακας 10: Αριθμός σημείων ανά 10% εύρος του φορτίου που λειτούργησε η μηχανή 32
Πίνακας 11 : Στατιστικά μεγέθη του φορτίου της DG2 σε σχέση με τις άλλες δύο DG 33
Πίνακας 12: Αριθμός σημείων ανά 10% εύρος του φορτίου που λειτούργησε η μηχανή 34
Πίνακας 13 : Στατιστικά μεγέθη του φορτίου της DG1 σε σχέση με τις άλλες δύο DG 35
Πίνακας 14: Αριθμός σημείων ανά εύρος 25 gr/kWh του φορτίου 36
Πίνακας 15: Αριθμός σημείων ανά εύρος 25 gr/kWh του φορτίου 39
Πίνακας 16: Αριθμός σημείων ανά εύρος 25 gr/kWh του φορτίου 42
Πίνακας 17: Εφαρμογή του συντελεστή Pierson για έρευνα δεικτών απόδοσης 46
Πίνακας 18: Μέσοι όροι και τρίτα τεταρτημόρια των DG για την κατηγοριοποίηση τους 57

Εικόνα 1: Flowchart της μελέτη με τα βασικά βήματα 14
Εικόνα 2 : Προμετωπίδα-πλακέτα της ηλεκτρογεννήτριας υπό εξέτασή της zjmd όσον αφορά το MCR/RPM από την skylineships 15
Εικόνα 3 : Τα δεδομένα σε αρχείο 1 excel για τον μήνα Ιανουάριο 18
Εικόνα 4 : Διαφορετικά Format Codes 18
Εικόνα 5 : Εντολή ISIFBLANK που εφαρμόστηκε για όλα τα δεδομένα 19
Εικόνα 6 : Εντολή OFFSET για να δημιουργηθεί αντιπροσωπευτικό δείγμα για μικρότερες συχνότητες 27
Εικόνα 7 : Δείκτες απόδοσης του TAV των DG από την διπλωματική του Φώτη Κόντη 53

Διάγραμμα 1: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG1 20
Διάγραμμα 2: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG1 21
Διάγραμμα 3: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG2 21
Διάγραμμα 4: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG3 22
Διάγραμμα 5: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG1 22
Διάγραμμα 6: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG2 23
Διάγραμμα 7: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG3 23
Διάγραμμα 8: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG1 ανά ένα λεπτό 24
Διάγραμμα 9: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG2 ανά ένα λεπτό 24
Διάγραμμα 10: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG3 ανά ένα λεπτό 25

Διάγραμμα 11: Διάγραμμα δίσκος κατά το οποίο αναπαρίσταται η συμμετοχή των ηλεκτρογεννητριών....26
Διάγραμμα 12: Whisker boxes DG1, DG2, DG3 για τα φορτία των μηχανών τους....28
Διάγραμμα 13: Ιστόγραμμα για DG1 Load....30
Διάγραμμα 14 : Whisker boxes της DG1 σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες στο λιμάνι....31
Διάγραμμα 15 : Whisker boxes της DG1 σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες στη θάλασσα....31
Διάγραμμα 16 : Ιστόγραμμα για DG2 Load....32
Διάγραμμα 17 : Whisker boxes της DG2 σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες στο λιμάνι....33
Διάγραμμα 18 : Whisker boxes της DG2 σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες εν πλω....33
Διάγραμμα 19 : Ιστόγραμμα για DG3 Load....34
Διάγραμμα 20 : Whisker boxes της DG3 σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες στο λιμάνι....35
Διάγραμμα 21 : Whisker boxes της DG3 σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες εν πλω....35
Διάγραμμα 22 : Ιστόγραμμα για DG1 SFOC....36
Διάγραμμα 23 : Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG1....37
Διάγραμμα 24: Κυλιόμενος μέσος όρος για την ειδική κατανάλωση καυσίμου DG1 (πορτοκαλί)....37
Διάγραμμα 25 : Κατανάλωση καυσίμου ως προς φορτίο για DG1....38
Διάγραμμα 26 : Κατανάλωση καυσίμου ανά ημέρα ως προς φορτίο για DG1....38
Διάγραμμα 27 : Ιστόγραμμα για DG2 SFOC....39
Διάγραμμα 28 : Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG2....40
Διάγραμμα 29 : Κυλιόμενος μέσος όρος για την ειδική κατανάλωση καυσίμου DG2 (πορτοκαλί)....40
Διάγραμμα 30 : Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG2....41
Διάγραμμα 31 : Κατανάλωση καυσίμου ανά ημέρα ως προς φορτίο για DG2....41
Διάγραμμα 32 : Ιστόγραμμα για DG3 SFOC....42
Διάγραμμα 33 : Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG3....43
Διάγραμμα 34: Κυλιόμενος μέσος όρος για την ειδική κατανάλωση καυσίμου DG2 (πορτοκαλί)....43
Διάγραμμα 35 : Κατανάλωση καυσίμου ως προς φορτίο για DG3....44
Διάγραμμα 36 : Κατανάλωση καυσίμου ανά ημέρα ως προς φορτίο για DG3....44
Διάγραμμα 37 : Αναπαράσταση των τιμών των test records και των τριών DG για Taverage....48
Διάγραμμα 38 : Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του TAV DG1....49
Διάγραμμα 39 : Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του TAV DG....49
Διάγραμμα 40 : Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του TAV DG2....50
Διάγραμμα 41 : Δείκτης απόδοσης του TAV DG2....50
Διάγραμμα 42 : Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του TAV DG3....51
Διάγραμμα 43 : Δείκτης απόδοσης του TAV DG3....51
Διάγραμμα 44 : Δείκτες απόδοσης του TAV των DG μπλε 1, πορτοκαλί 2 , γκρι 3....52
Διάγραμμα 45 : Αναπαράσταση των τιμών των test records και των τριών DG για T/C Temp την θερμοκρασία εισόδου στον στροβιλοσυμπιεστή....54
Διάγραμμα 46 : Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του T/C TEMP DG1....55
Διάγραμμα 47 : Δείκτης απόδοσης του T/C TEMP DG1....55
Διάγραμμα 48 : Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του T/C TEMP DG2....56
Διάγραμμα 49 : Δείκτης απόδοσης του T/C TEMP DG2....56
Διάγραμμα 50: KPI Tav-SFOC της DG1....58
Διάγραμμα 51: KPI T/C TEMP-SFOC της DG1....58
Διάγραμμα 52 Σύγκριση των δύο συντελεστών απόδοσης ως προς την ακρίβεια τους για DG1....59
Διάγραμμα 53: KPI Tav-SFOC της DG2....60
Διάγραμμα 54: KPI T/C TEMP-SFOC της DG2....60
Διάγραμμα 55: Σύγκριση των δύο συντελεστών απόδοσης ως προς την ακρίβεια τους για DG2....61
Διάγραμμα 56: KPI Tav-SFOC της DG3....62

Διάγραμμα 57 Γραμμικά trendlines SFOC-Time της κάθε DG 64
Διάγραμμα 58 Γραμμικά trendlines και των τριών ηλεκτρογεννητριών μπλε DG1, πορτοκαλί DG2, γκρι DG3 65

◊ Κεφάλαιο 1 ◊

Εισαγωγή και γενικά στοιχεία των γεννητριών

1.1 Εισαγωγή στο πρόβλημα

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την μελέτη και εξέταση τριών ηλεκτρογεννητριών με χρήση δεικτών απόδοσης και λειτουργικών δεδομένων.

Τα λειτουργικά δεδομένα αφορούν τις μετρήσεις συγκεκριμένων φυσικών μεγεθών όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω, όπου με την χρήση κατάλληλων αισθητήρων συλλέχθηκαν σε 6 μεγάλα αρχεία excel, ένα για κάθε μήνα από τον Ιανουάριο μέχρι τις αρχές Ιουλίου. Τα συγκεκριμένα δεδομένα θα χρειαστεί να φιλτραριστούν και να τοποθετηθούν σε πολλά ειδών διαγράμματα προκειμένου να δώσουν μια συνολική εικόνα για το πως λειτουργήσαν οι ηλεκτρογεννήτριες για εκείνο το διάστημα, ώστε να γίνει δυνατό να βρεθούν παρεκτρεπόμενα σημεία (outliers) καθώς και τιμές άκυρες για τα φυσικά μεγέθη που συλλέχθηκαν κατά την χρονική περίοδο που έλαβαν χώρα οι μετρήσεις από τους αισθητήρες.

Οι δείκτες απόδοσης αποτελούν σημαντικό κομμάτι της παρούσας μελέτης και πρόκειται για την μελέτη και ανάλυση των ηλεκτρογεννητριών ουσιαστικά ως προς το πόσο αποδοτικά λειτουργούν. Οι ηλεκτρογεννήτριες είναι μηχανήματα στα οποία αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες για το περιβάλλον καθώς και πολύ υψηλές ταχύτητες για τα κινούμενα μέρη τους με αποτέλεσμα πολλά εξαρτήματα αλλά και αισθητήρες να φθείρονται με τη πάροδο του χρόνου ειδικά όταν μερικά από αυτά μπορεί να λειτουργούν και με 900 στροφές το λεπτό για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Συνεπώς η ανάπτυξη δεικτών απόδοσης που θα συνδέουν δύο και τρία μεγέθη μεταξύ τους κρίνεται ένας στόχος θεμιτός μιας και μας ανοίγει το εύρος για την έρευνα ενός σφάλματος ή αστοχίας κάποιου στοιχείου και επιταχύνει την οποιαδήποτε επίλυση θα μπορούσε να επιδέχεται. Αυτό γίνεται χάρη στην σύνδεση διαφόρων των φυσικών μεγεθών που αφορούν τις ηλεκτρογεννήτριες άρα και των αντίστοιχων μηχανικών στοιχείων τους που τα εκφράζουν σε αυτά τα μεγέθη, αφού πρώτα χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλοι αισθητήρες. Σαφώς αυτοί οι δείκτες απόδοσης δεν μπορούν να είναι αυθύπαρκτοι μα να εξαρτώνται και να συγκρίνονται με σημείο αναφοράς τα αντίστοιχα προσδοκόμενα μεγέθη που θα έβγαιναν ως αποτελέσματα για τα ίδια φορτία, θερμοκρασίες, ταχύτητες κλπ. που συγκρίνονται. Έτσι απαραίτητο είναι να ανατρέξει ο μηχανικός στα στοιχεία που έχει από τα shop tests-test records των μηχανημάτων που εξετάζει κατά τα οποία σε κατάλληλες λειτουργικές συνθήκες ορίστηκαν τα πρώτα ονομαστικά μεγέθη τα οποία καθορίζουν και τα προσδοκώμενα που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Παρακάτω παρουσιάζονται τα γενικά στοιχεία του σκάφους, τα μοντέλα των ηλεκτρογεννήτριών και τα ονομαστικά τους μεγέθη τα οποία προέκυψαν από τα shop tests καθώς και τα φυσικά μεγέθη που λήφθηκαν υπόψιν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Εν κατακλείδι βάση των παραπάνω η παρούσα διπλωματική εργασία θα εξετάσει την απόδοση των ηλεκτρογεννητριών στον χρόνο και θα την αποτυπώσει. Στην διαδικασία αυτήν έγινε και η κατάλληλη αναδρομή σε επιστημονικές δημοσιεύσεις και διπλωματικές εργασίες που επηρέασαν στον τρόπο επίλυσης και μεθοδολογίας όσον αφορά την αντιμετώπιση διαφόρων ζητημάτων που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής. Οι πηγές αυτές παρατίθενται στο τέλος της διπλωματικής.

1.1.1 Κριτική ανασκόπηση διπλωματικών και ερευνών που μελετήθηκαν

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής ένα μέρος των πηγών που χρησιμοποιήθηκε ως μέσο για καθοδήγηση στην αντιμετώπιση προβλημάτων αλλά και γενικότερα ως προσθήκη γνώσης στον τομέα της αξιολόγησης της συμπεριφοράς και απόδοσης των πλοίων και των μερών του ήταν οι διπλωματικές του Φώτη Κόντη (2021) και Μουρτζίνου Τασόπουλου (2021), καθώς και την εργασία του Themelis et al.(2020). Οι συγκεκριμένες διπλωματικές βοήθησαν στην γενικότερη γνωστική κατάρτιση του αντικειμένου της Αξιολόγησης της συμπεριφοράς και απόδοσης πλοίου καθώς και στο να ληφθούν υπόψιν γνώσεις και πληροφορίες για ζητήματα που προέκυψαν στην παρούσα διπλωματική.

- Ο Φώτης Κόντης εκπόνησε την διπλωματική του με τίτλο ''Ανάπτυξη δεικτών απόδοσης για την παρακολούθηση της κατάστασης λειτουργείας των ναυτικών κινητήρων diesel''. Στόχος της ήταν η ανάπτυξη δεικτών απόδοσης για την καλύτερη παρακολούθηση των ναυτικών κινητήρων Diesel κατά την λειτουργεία τους, αφού προηγήθηκε μια κατάλληλη ανάλυση των δεδομένων με τις απαραίτητες διαγραφές και φιλτραρίσματα τους. Η συγκεκριμένη διπλωματική ήταν πολύ χρήσιμη και έχει λάβει υπόψιν μεγέθη που αφορούν την κύρια μηχανή όπως την κατανάλωση καυσίμου FOC, την θερμοκρασία κατά εξαγωγή των καυσαερίων από τους κυλίνδρους, την θερμοκρασία κατά την έξοδο των καυσαερίων από τον στροβιλοσυμπιεστή, τις στροφές του κινητήρα, την ισχύ και την πίεση πλήρωσης των κυλίνδρων με αέρα. Με αυτά αναπτύχθηκαν οι δείκτες απόδοσης όσον αφορά την 1) την κατανάλωση καυσίμου ως προς τις στροφές του κινητήρα ανά λεπτό σε σύγκριση με τα Shop test και 2) την θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του στροβιλοσυμπιεστή προς την πίεση στον θάλαμο των καυσαερίων σε σύγκριση με τα Shop test και 3) τον έλεγχο της θερμοκρασίας των καυσαερίων από τους κυλίνδρους μετά την καύση σε σύγκριση με την μέση θερμοκρασία αλλά και των Shop test. Η σειρά συμβαίνει πρώτα με τον έλεγχο της απόδοσης του κινητήρα βάση της κατανάλωση καυσίμου και το έργο που παράγει, μετά ελέγχεται κάθε κύλινδρος για την θερμοκρασία που παράγει κατά την καύση και αν δεν ικανοποιείται γίνεται ο τελικός έλεγχος στην κατάσταση του στροβιλοσυμπιεστή όπου λαμβάνονται και τα απαραίτητα μέτρα. Εν τέλει στα συμπεράσματα γίνεται ένα ιστορικό των ποσοστιαίων αποκλίσεων και των τριών δεικτών ώστε να εξακριβωθούν τα μοτίβα αυτά και διαγραμματικά. Η παρούσα διπλωματική επηρεάστηκε από εδώ χάρη στα φυσικά μεγέθη τα οποία τίθενται υπό εξέταση, πιο συγκεκριμένα ίδια φυσικά μεγέθη όπως η κατανάλωση καυσίμου, θερμοκρασίας των καυσαερίων και θερμοκρασία στον στροβιλοσυμπιεστή θα είναι μερικά από τα μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν

- Ο Μουρτζίνος Τασόπουλος Γεώργιος εκπόνησε την διπλωματική του με τίτλο ''Αξιολόγηση και βελτιστοποίηση λειτουργείας ηλεκτρογεννητριών εμπορικού πλοίου''. Μετά την απαραίτητη οργάνωση και ανάλυση των δεδομένων κατευθύνθηκε στην δημιουργία δύο μεθόδων για την προσέγγιση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Η πρώτη βασίστηκε στην παραγωγή ενός πολυωνύμου δευτέρου βαθμού που απέδιδε την ειδική κατανάλωση καυσίμου ενώ η δεύτερη στο ότι την προσέγγιζε με μια σταθερή τιμή για ένα μικρό εύρος του φορτίου της ηλεκτρομηχανής. Μετέπειτα εφόσον έχουν γίνει και οι δύο προσεγγίσεις η μελέτη του συνεχίζει στον υπολογισμό του δείκτη απόδοσης που αφορά τους συντελεστές του πολυωνύμου για την βελτιστοποίηση της χρήσης και των τριών ηλεκτρομηχανών ως σύστημα. Κάθε ηλεκτρογεννήτρια συγκρίθηκε με τις άλλες ως προς το $KPI = \frac{A-B}{C}$ για A συντελεστής του τετραγώνου , B συντελεστής για την πρώτη δύναμη και C η τομή του

πολυωνύμου στον y άξονα. Τα KPI συγκρίθηκαν και οδήγησαν στα κατάλληλα συμπεράσματα στο πως να λειτουργήσουν αποδοτικά οι γεννήτριες ως σύστημα. Η παρούσα διπλωματική επειδή και αυτή ασχολείται με ένα σύστημα τριών ηλεκτρογεννητριών πήρε αρκετές επιρροές ειδικά στην οργάνωση και στατιστική ανάλυση των στοιχείων που απαιτείται πριν την δημιουργία οποιουδήποτε δείκτη.

- Σημαντική προσθήκη στην παρούσα διπλωματική ήταν και η εργασία των Θεμελής et al.(2020). Σύμφωνα με αυτό γίνεται η συλλογή δεδομένων κατά το συνεχές σύστημα παρακολούθησης (CMS) LAROS αρκετών παραμέτρων. Μετέπειτα δημιουργούνται από τα πραγματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν και τα θεωρητικά με τα οποία συγκρίνονται 7 συντελεστές απόδοσης που να χαρακτηρίζουν συγκεκριμένα στοιχεία όπως την ενεργειακή αποδοτικότητα, την γάστρα και την προπέλα, κύρια μηχανής και βοηθητικές καθώς και το αποτύπωμα του πλοίου στο περιβάλλον όσον αφορά τις εκπομπές του. Το άρθρο εξηγεί τις μεθοδολογίες με τις οποίες υπολόγισε κάθε δείκτη απόδοσης ξεχωριστά, τις αρχές πάνω στις οποίες κάθε μεθοδολογία βασίστηκε για να υπολογιστεί ο καθένας και στην δοκιμή τους, ώστε να συγκριθούν με άλλες μετρήσεις βασισμένες και αποδεδειγμένες στην φυσική που βασίζεται η μεθοδολογία τους(πχ σταθερά του Heickel για απόδοση γάστρας και έλικας). Εν τέλει το άρθρο κλείνει με την ανάγκη οι δείκτες απόδοσης να περάσουν από μια διαδικασία βαθμολόγησης ώστε να δημιουργηθεί βάση αυτών μιας σειρά κατάταξης με την μέση τιμή του κάθε δείκτη. Οι βαθμοί κυμαίνονται από το 1 έως 10 με 10 το άριστα ξεχωρίζοντας έτσι τα επίπεδα απόκλισης από τα επιθυμητά. Η παρούσα διπλωματική ασχολείται και αυτή με το ζήτημα και τοποθετεί στους στόχους της μια βαθμολόγηση βάση τα τελικά ευρήματα της μελέτης. Σύμφωνα με το άρθρο αυτή η κατηγοριοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για να διεξαχθούν πιο ακριβείς και εύστοχες αναλύσεις ως προς προβλήματα γύρω από την απόδοση ενός σκάφους.

1.1.2 Στόχοι της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την μελέτη για την λειτουργία τριών ηλεκτρογεννητριών για περίπου ένα διάστημα 6 μηνών από τον Ιανουάριο μέχρι αρχές Ιουλίου. Στόχος είναι να παρακολουθηθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα των ηλεκτρογεννητριών με χρήση δεδομένων υψηλής συχνότητας και τη δημιουργία κατάλληλων δεικτών απόδοσης, καθώς και ένα σύστημα για την κατάταξη τους.

1.1.3 Μεθοδολογία για την επίτευξη των στόχων

<u>Α) Παρουσίαση και οργάνωση των δεδομένων</u>

1. Διαγραφή των μετρήσεων με διαδοχικά κενά και των αντίστοιχων στοιχείων μαζί τους
2. Υπολογισμός της μέσης τιμής για κενά δεδομένα που συνορεύουν άνω και κάτω με υπάρχοντα με πραγματικό αριθμό.
3. Διαγραφή στοιχείων που παρουσιάζουν ασύμβατες τιμές μεταξύ τους ενώ θα έπρεπε να σχετίζονται (πχ μηδενική ή κενή τιμή κατανάλωσης καυσίμου για μη μηδενική τιμή ισχύος).

<u>Β) Στατιστική Ανάλυση και επεξεργασία των μετρήσεων</u>

Στο συγκεκριμένο στάδιο αφού έχει γίνει μια η απαραίτητη οργάνωση των δεδομένων δύναται πλέον η ανάλυση και το φιλτράρισμα των στοιχείων. Παρακάτω είναι σε σειρά με βήματα οι στόχοι που θα επιτευχθούν όσον αφορά το φιλτράρισμα των δεδομένων και την ανάλυση τους.

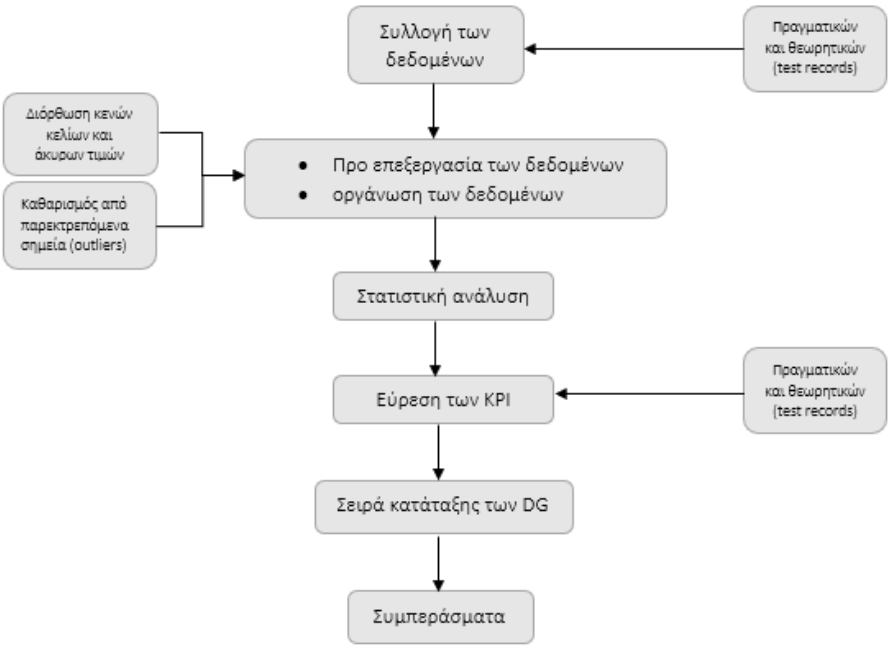
1. Διαγραφή όλων των στοιχείων καθολικά για όσο είναι η μεταβλητή FOC<0.5
2. Φιλτράρισμα των όλων στοιχείων για -σ,+σ γύρω από ένα αντιπροσωπευτικό trendline της μορφής y=ax για την ισχύ της μηχανής σε kW και x την κατανάλωση καυσίμου της μηχανής
3. Στατιστική ανάλυση των δεδομένων που περιλαμβάνει μέση τιμή, πρώτα και τρίτα τεταρτημόρια, ιστογράμματα, διαγράμματα whisker box
4. Διαγραμματική αναπαράσταση της απόδοσης των ηλεκτρομηχανών στο χρόνο για 5, 30 και 60 λεπτά όσον αφορά την ειδική κατανάλωση καυσίμου

<u>Γ) Δημιουργία δεικτών απόδοσης και αξιολόγηση τους</u>

Πρόκειται για το τελευταίο στάδιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Μετά το φιλτράρισμα των δεδομένων οι εξής στόχοι θα τεθούν

1. Έλεγχος της σχετικότητας μεταξύ των δεδομένων για εύρεση δεικτών απόδοσης
2. Δημιουργία και διαγραμματική αναπαράσταση των δεικτών απόδοσης
3. Αξιολόγηση και σύγκριση των δεικτών για την κατηγοριοποίηση τους (ranking) σε σχέση με την κατάσταση λειτουργίας τους.

Επιθυμητό κρίθηκε και το γεγονός να υπάρχει και μια οπτική προσέγγιση των στόχων της παρούσας διπλωματικής εργασίας μέσω ενός διαγράμματος ροής(flowchart) το οποίο θα δείξει τα βασικά αυτά στάδια σχηματικά.



Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής της μελέτης με τα βασικά βήματα

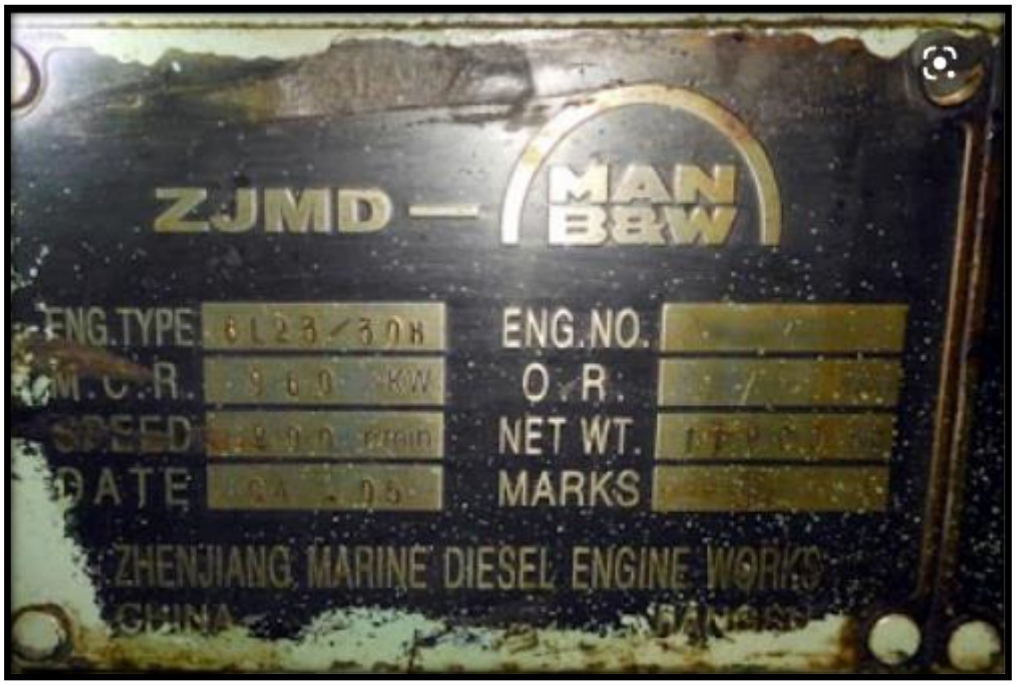
1.2 Γενικά στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου και των ηλεκτρογεννητριών

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα γενικά στοιχεία του σκάφους και των ηλεκτρογεννητριών τα οποία μελετήθηκαν καθώς και τα ονομαστικά μεγέθη από τα shop tests-test records των ηλεκτρογεννητριών. Το σκάφος υπό εξέταση είναι ένα δεξαμενόπλοιο που μεταφέρει προϊόντα πετρελαίου με το όνομα το σκάφους ορισμένο ως ''MEG'' ,το οποίο κατασκευάστηκε στο ναυπηγείο της Guangzhou. Οι δοκιμές θαλάσσης και οι απαραίτητοι υπολογισμοί έλαβαν χώρα στο Ινστιτούτο έρευνας Ναυτικών μηχανών της Σαγκάης (Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute-SMDERI). Παρακάτω είναι τα κύρια χαρακτηριστικά του.

Τύπος πλοίου	**Product oil tanker**
Deadweight	38500 t
Πλάτος(B)	27,4 m
Βύθισμα σχεδίασης (Td)	9.55 m
Ολικό μήκος (L_{OA})	182.5 m
Τύπος ηλεκτρογεννήτριών	6L23/30H ZJMD

Πίνακας 1 Κύρια μεγέθη του σκάφους από τις δοκιμές θαλάσσης της SMDERI. Όνομα σκάφους ''MEG''.

Οι ηλεκτρογεννήτριες αφορούν το μοντέλο της MAN κατά την οποία όπως φαίνεται παρακάτω λειτουργεί για MCR=960 kw στις 900 στροφές. Το συγκεκριμένο προϊόν με τα συγκεκριμένα κύρια μεγέθη λήφθηκε υπόψιν χάρη τις ιστοσελίδες της skylineships και MAN.



Εικόνα 2 : Προμετωπίδα-πλακέτα της ηλεκτρογεννήτριας υπό εξέτασή της zjmd όσον αφορά το MCR/RPM από την skylineships

Θα γίνει μια παρουσίαση για τα βασικά ονομαστικά μεγέθη που έχουν βγει από τα shop tests τα οποία θα τα χρησιμοποιηθούν ως σημεία αναφοράς-reference για να τα συγκριθούν σε σχέση με τα πραγματικά-actual.

Για αρχή θα γίνει η επισήμανση για το είδος των ηλεκτρογεννητριών υπό εξέταση. Πρόκειται για το μοντέλο L23/30H της ZJMD της MAN-B&W η οποία στην περίπτωση μας έχει 6 κυλίνδρους και στην παρούσα διπλωματική θα εξεταστούν 3 από αυτές για τον έλεγχο και την απόδοση τους με σειρά εκπυρσοκρότησης 1-4-2-6-3-5.

Ο πρώτος πίνακας αναφέρεται στην πρώτη ηλεκτρογεννήτρια DG1 με τα στοιχεία

Load %		25	50	75	100	100	110
Speed		900	900	900	900	900	900
Cylinder Exhaust Gas Temperature (^{0}C)	Cyl. 1	310	350	350	400	410	430
	Cyl. 2	310	350	350	380	400	410
	Cyl. 3	290	335	335	355	380	402
	Cyl. 4	310	350	360	380	410	430
	Cyl. 5	310	350	355	375	390	400
	Cyl. 6	300	340	345	360	380	402
Common Exhaust		355.6	431.4	469.8	514.2	515.3	520.8

Πίνακας 2:Ονομαστικές τιμές μέσης θερμοκρασίας κατά την καύση και θερμοκρασίας εισαγωγής στον στροβιλοσυμπιεστή κατά Test records DG1

Ο δεύτερος πίνακας αναφέρεται στην δεύτερη ηλεκτρογεννήτρια DG2 με τα στοιχεία

Load %		25	50	75	100	100	110
Speed		900	900	900	900	900	900
Cylinder Exhaust Gas Temperature (^{0}C)	Cyl. 1	300	335	340	360	360	380
	Cyl. 2	305	340	340	350	355	370
	Cyl. 3	300	340	340	380	380	400
	Cyl. 4	285	335	350	370	370	390
	Cyl. 5	305	330	310	360	365	380
	Cyl. 6	300	335	340	350	350	370
Common Exhaust		340.7	422.7	461.1	504.1	509.2	533.9

Πίνακας 3: Ονομαστικές τιμές μέσης θερμοκρασίας κατά την καύση και θερμοκρασίας εισαγωγής στον στροβιλοσυμπιεστή κατά Test records DG2

Ο τρίτος πίνακας αναφέρεται στην τρίτη ηλεκτρογεννήτρια DG3 με τα στοιχεία

Load %		25	50	75	100	100	110
Speed		900	900	900	900	900	900
Cylinder Exhaust Gas Temperature (^{0}C)	Cyl. 1	260	310	310	340	380	405
	Cyl. 2	300	340	345	380	375	400
	Cyl. 3	305	340	350	375	375	415
	Cyl. 4	305	345	350	380	380	385
	Cyl. 5	300	330	340	375	380	405
	Cyl. 6	305	340	350	380	380	450
Common Exhaust		347.4	423.1	458.8	502.3	504.3	524

Πίνακας 4: Ονομαστικές τιμές μέσης θερμοκρασίας κατά την καύση και θερμοκρασίας εισαγωγής στον στροβιλοσυμπιεστή κατά Test records DG3

Τα συγκεκριμένα στοιχεία επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν σε μορφή πινάκων επειδή είναι και αυτά που θα παίξουν τον κρίσιμο ρόλο όσον αφορά την δημιουργία των δεικτών απόδοσης.

◊ Κεφάλαιο 2 ◊

Παρουσίαση και ανάλυση των λειτουργικών δεδομένων

2.1 Παρουσίαση των δεδομένων

Κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μελετήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία τα οποία αφορούν αποκλειστικά τις ηλεκτρογεννήτριες και χρειάστηκε ληφθούν όλα υπόψιν κατά την διάρκεια, όπου έλαβε χώρα το φιλτράρισμα των δεδομένων. Τα δεδομένα που θα παρουσιαστούν αφορούν και τις τρείς ηλεκτρογεννήτριες, κάθε μία τα έχει και από άποψη φυσικών μεγεθών είναι τα εξής:

1. CFW IN PRESS: Πίεση νερού ψύξεως
2. CFW OUT TEMP: Θερμοκρασία νερού ψύξεως
3. COOLING AIR TEMP: Θερμοκρασία αέρα πριν την καύση
4. CYL1 OUT TEMP: Θερμοκρασία κυλίνδρου ένα αμέσως μετά την καύση
5. CYL2 OUT TEMP: Θερμοκρασία κυλίνδρου δύο αμέσως μετά την καύση
6. CYL3 OUT TEMP: Θερμοκρασία κυλίνδρου τρία αμέσως μετά την καύση
7. CYL4 OUT TEMP: Θερμοκρασία κυλίνδρου τέσσερα αμέσως μετά την καύση
8. CYL5 OUT TEMP: Θερμοκρασία κυλίνδρου πέντε αμέσως μετά την καύση
9. CYL6 OUT TEMP: Θερμοκρασία κυλίνδρου έξι αμέσως μετά την καύση
10. FOC: Κατανάλωση καυσίμου σε τόνους ανά ημέρα
11. kWh: Ισχύς σε κιλοβατώρες
12. LO INLET PRESS: Πίεση λιπαντικού μέσου κατά την είσοδο
13. LO INLET TEMP: Θερμοκρασία λιπαντικού μέσου κατά την είσοδο
14. POWER kW: Ισχύς μετρούμενη σε kW
15. TC EXH GAS INLET TEMP: Θερμοκρασία όλων των καυσαερίων κατά την είσοδο τους στον στροβιλοσυμπιεστή
16. TIME: Χρόνος σε ημερομηνία / ώρα / λεπτά
17. Longitudinal Water Speed: Ταχύτητα ως προς το νερό
18. Speed Over Ground: Ταχύτητα του πλοίου ως προς το έδαφος

Οι ονομασίες είναι ταυτόσημες με αυτές από τα αρχεία excel που χρησιμοποιήθηκαν για να αποθηκευτούν τα πραγματικά δεδομένα-actual των ηλεκτρογεννητριών χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους αισθητήρες. Κάθε αρχείο Excel μπορεί να φτάνει περίπου τις 41000 έως 48000 γραμμές για κάθε στοιχείο δίνοντας έτσι μια ιδέα για τον όγκο των δεδομένων για τον οποίο χρειάστηκε να γίνει η ανάλυση και αξιολόγηση.

2.2 Συλλογή και οργάνωση των δεδομένων

Στην συγκεκριμένη ενότητα παρατίθενται τα δεδομένα των 3 ηλεκτρογεννητριών του πλοίου. Τα δεδομένα περιέχουν μετρήσεις ανά ένα λεπτό που εκτείνονται από τις 01/01/2018 0:00 έως 04/08/2018 2:59. Παρακάτω θα αναρτηθούν τυπικά τα δεδομένα που χρειάστηκε να αναλυθούν και φιλτραριστούν έτσι ώστε να εισέλθουν σε διαγράμματα που θα δείξουν με ακρίβεια τον χρόνο λειτουργείας της κάθε ηλεκτρογεννήτριας ξεχωριστά αλλά και σε παραλληλία καθώς και πιο σπάνια οι τρείς μαζί.

Μέσω των διαγραμμάτων Whisker box plots στο excel θα φανούν τα όρια μέσα στα οποία θα μελετηθούν οι ηλεκτρογεννήτριες, οι ενδεδειγμένες μετρήσεις ακραίων τιμών (outliers) καθώς και στατιστικά μεγέθη μέσης τιμής, διαμέσου, πρώτα και τρίτα τεταρτημόρια και άλλα εργαλεία ανάλυσης που θα βοηθήσουν στην ανάλυση τους. Άλλα διαγράμματα προς παρουσίαση θα είναι αυτά της αθροιστικής κατανομής και Histogram.

Παρακάτω θα παρουσιαστεί μια τυπική φόρμα του excel στα δεδομένα που έγινε η επιλογή για ανάλυση. Η συγκεκριμένη υποβλήθηκε σε πολλές αλλαγές μέχρι να κριθεί η καλύτερη αντιπροσωπευτική για την λειτουργεία των ηλεκτρογεννητριών .

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
1	TIME REPAIRED	DG1 COOLING AIR TEMP AMS (ISEMMS)	DG1 CYL1 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG1 CYL2 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG1 CYL3 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG1 CYL4 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG1 CYL5 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG1 CYL6 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG1 FOC (ISEMMS)	DG1 LO INLET PRESS AMS (ISEMMS)	DG1 LO INLET TEMP AMS (ISEMMS)	DG1 Power kW (ISEMMS)	DG1 TC EXH GAS INLET TEMP AMS (ISEMMS)	DG2 COOLING AIR TEMP AMS (ISEMMS)	DG2 CYL1 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG2 CYL2 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG2 CYL3 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG2 CYL4 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG2 CYL5 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG2 CYL6 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG2 FOC (ISEMMS)	DG2 LO INLET PRESS AMS (ISEMMS)	DG2 LO INLET TEMP AMS (ISEMMS)	DG2 Power kW (ISEMMS)	DG2 TC EXH GAS INLET TEMP AMS (ISEMMS)	DG3 COOLING AIR TEMP AMS (ISEMMS)	DG3 CYL1 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG EXH OU TEM AM (IS
2	01/01/2018 00:00																										
3	01/01/2018 00:01	38.4	67.3	67.5	67	66.1	56.1	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	373.7	404.6	439.8	378	459.5		3.35	4.2	66.3	538.52	505.7	37.7	60.9
4	01/01/2018 00:02	38.4	67.3	66.6	67	66.1	56.1	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	373.7	404.6	439.8	378	459.5		3.35	4.2	66.3	527.12	508	37.7	60.9
5	01/01/2018 00:03	38.4	67.3	66.6	67	66.1	56.1	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	373.7	404.6	437.8	378	459.5		3.43	4.2	66.3	526.16	508	37.7	60.2
6	01/01/2018 00:04	38.4	67.3	68	68	65.4	56.1	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	375.1	404.6	437.8	378	461.1		3.36	4.2	66.3	531.41	505.9	38.1	60.2
7	01/01/2018 00:05	38.4	67.3	68	68	65.4	56.1	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	375.1	404.6	437.8	378	461.1		3.31	4.2	66.3	505.16	505.9	38.1	60.2
8	01/01/2018 00:06	38.4	67.3	68	68	65.4	56.1	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	375.1	404.6	437.8	378	459.5		3.21	4.2	66.3	497.85	505.9	38.1	60.2
9	01/01/2018 00:07	38.4	67.3	68	67.5	65.4	56.1	64.3	0	0.5	52.7	0		55.9	374.1	402.5	437.8	376.7	459.5		3.25	4.2	66.3	493.39	502.5	38.1	60.2
10	01/01/2018 00:08	38.4	67.3	67.3	67.5	65.4	56.1	64.3	0	0.5	52.7	0		55.9	374.1	402.5	435.7	374.1	459.5		2.99	4.2	66.3	494.42	502.5	37.7	60.2
11	01/01/2018 00:09	38.2	67.3	67.3	67.5	65.4	56.1	64.3	0	0.5	52.7	0		55.9	374.1	402.5	435.7	374.1	459.5		3.05	4.2	66.3	498.57	502.5	37.7	60.9
12	01/01/2018 00:10	38.2	67.3	67.3	67.5	65.4	56.1	65	0	0.5	52.7	0		55.9	374.1	402.5	435.7	374.1	459.5		3.38	4.2	66.3	502.3	502.5	37.7	60.9
13	01/01/2018 00:11	38.2	67.3	67.3	67.5	65.4	56.1	65	0	0.5	52.7	0		55.9	375.7	402.5	435.7	375.1	459.5		3.2	4.2	66.3	501.42	502.5	37.7	60.9
14	01/01/2018 00:12	38.2	67.3	67.3	67.5	65.4	56.1	65	0	0.5	52.7	0		55.9	375.7	402.5	435.7	375.1	459.5		3.04	4.2	66.5	503.47	502.5	37.7	60.9
15	01/01/2018 00:13	38.2	67.3	67.3	67.5	65.4	56.1	65	0	0.5	52.6	0		56.1	374.4	402.5	435.7	375.1	459.5		3.39	4.2	66.5	500.55	502.5	37.7	60.9
16	01/01/2018 00:14	38.2	67.3	67.3	67.5	65.4	56.1	65	0	0.5	52.6	0		56.1	374.4	403.9	435.7	374.6	459.5		3.22	4.2	66.5	497.49	503.4	37.7	60.9
17	01/01/2018 00:15	38.2	67.3	67.3	67.5	66.1	56.1	65	0	0.5	52.6	0		56.1	374.4	403.9	433.6	374.6	459.5		3.2	4.2	66.5	491.32	503.4	37.7	60.9
18	01/01/2018 00:16	38.2	67.3	67.5	67.5	66.1	56.1	65	0	0.6	52.6	0		56.1	374.4	402.7	433.6	373.2	459.5		3.35	4.2	66.5	498.39	502.3	37.9	60.2
19	01/01/2018 00:17	38.2	67.3	67.5	67.5	66.1	56.1	65	0	0.5	52.6	0		56.1	374.4	402.7	433.6	373.2	459.5		3.41	4.2	66.5	500.81	502.3	37.9	60.2
20	01/01/2018 00:18	38.2	68	67.5	67.5	66.1	56.1	65	0	0.5	52.6	0		56.1	375.3	402.7	433.6	373.2	459.5		3.4	4.2	66.5	514.87	502.3	37.9	60.2
21	01/01/2018 00:19	38.4	68	67.5	67.5	65.4	56.1	65	0	0.5	52.6	0		56.1	375.3	402.7	435	373.2	459.5		3.31	4.2	66.5	503.22	502.3	37.9	60.2
22	01/01/2018 00:20	38.4	68	67.5	67.5	65.4	56.1	65.4	0	0.5	52.6	0		56.1	375.3	402.7	435	373.2	459.5		3.18	4.2	66.5	491.6	503.7	37.9	60.2
23	01/01/2018 00:21	38.4	68	67.5	67.5	65.4	56.1	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	375.3	402.7	435	373.2	459.5		3.24	4.2	66.5	490.57	503.7	37.9	61.1
24	01/01/2018 00:22	38.4	68	67.5	67.5	65.4	56.1	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	375.3	402.7	435	371.4	459.5		3.13	4.2	66.3	508.76	502.5	37.9	61.1
25	01/01/2018 00:23	38.4	67	67.5	66.8	65.4	56.1	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	375.3	403.7	435	371.4	459.5		3.29	4.2	66.3	504.76	502.5	37.9	61.1
26	01/01/2018 00:24	38.4	67	67.5	66.8	65.4	56.5	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	375.3	403.7	435	373.7	457.7		3.22	4.2	66.3	492.55	502.5	37.9	61.1
27	01/01/2018 00:25	38.4	67	67.5	66.8	65.4	56.5	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	375.3	403.7	435	373.7	457.7		2.87	4.2	66.3	493.06	502.5	37.9	59.7
28	01/01/2018 00:26	38.4	67	67.5	67.5	65.4	56.5	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	375.3	403.7	435	373.7	460.2		3.31	4.2	66.3	515.72	502.5	37.9	59.7
29	01/01/2018 00:27	38.4	67	67.5	67.5	65.4	56.5	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	375.3	403.7	437.1	373.7	460.2		3.34	4.2	66.3	509.22	502.5	37.9	59.7
30	01/01/2018 00:28	38.2	67.5	67.5	67.5	65.4	56.5	65.4	0	0.5	52.7	0		55.9	375.3	403.4	437.1	372.5	460.2		3.09	4.2	66.3	503.78	503.7	37.9	60.9
31	01/01/2018 00:29	38.2	67.5	67.5	67.5	65.9	56.5	65.4		0.5	52.7	0		55.9	375.3	403.4	437.1	372.5	460.2			4.2	66.3	506.23	503.7	37.9	60.9
32	01/01/2018 00:30	38.2	67.5	67.5	67.5	65.9	56.1	65	0	0.5	52.7	0		55.9	375.3	404.3	436.2	373.9	460.2		3.17	4.2	66.3	515.29	503.7	37.9	60.9

Εικόνα 3 : Τα δεδομένα σε αρχείο 1 excel για τον μήνα Ιανουάριο

Για την παραπάνω εικόνα θα χρειαστεί να εξηγηθεί λεπτομερώς η πρώτη βασική δυσκολία που έγινε αντιληπτή στην μελέτη, ανάλυση και αξιολόγηση των δεδομένων. Θεωρήθηκε το βήμα αυτό απαραίτητο μιας και μετά από πολλές προσπάθειες και αποτυχίες επιτεύχθηκε να τεθούν κάποια δυνατά θεμέλια μετά από πολλά πισωγυρίσματα λόγω μιας μεταβλητής και αυτή είναι του *χρόνου*. Ο λόγος που δίνεται έμφαση εδώ είναι ότι τα αρχεία είχαν στη στήλη του χρόνου ένα βασικό εμπόδιο και αυτό ήταν ότι η μεταβλητή του χρόνου αποτελούνταν από δύο FORMAT CODES.Το πρώτο είναι όπως παρατηρείται στην εικόνα με την δομή Μήνας/Μέρα/Χρονιά ώρα: λεπτά ενώ το δεύτερο ήταν στην δομή όπως θα φανεί στην εικόνα σε Μήνας/Μέρα/Χρονιά ώρα: λεπτά: δευτερόλεπτα AM/PM. Το βασικό πρόβλημα που προέκυψε από αυτό ήταν ότι την στιγμή που χρειαζόταν να μετρηθεί-φιλτραριστεί μία μεταβλητή, αν επανατοποθετούντο σε χρονική σειρά τα στοιχεία από παλιότερο σε νεότερο, το excel έθετε ως προτεραιότητα να θέσει

01/12/2018 23:58
01/12/2018 23:59
1/13/2018 12:00:00 AM
1/13/2018 12:01:00 AM
1/13/2018 12:02:00 AM

Εικόνα 4 : Διαφορετικά Format Codes

πρώτα τα Format Codes σε σειρά και μετά τις ημερομηνίες με αποτέλεσμα να γινόταν αδύνατο να έρθει ξανά το σύνολο των στοιχείων σε χρονικώς αύξουσα σειρά. Ακόμα χειρότερα η δεύτερη δομή Format code αδυνατούσε να αλλάξει με οποιονδήποτε τρόπο μέσω της εντολής Custom Number Format κάνοντας την εύρεση μιας λύσης ακόμα πιο δύσκολη εφόσον χειροκίνητα δεν επιλύονταν το συγκεκριμένο ζήτημα. Εν τέλει χρειάστηκε να δημιουργηθεί ένα ξεχωριστό χρονικό πεδίο ορισμού μετά από την απαραίτητη μελέτη του προγράμματος και ανακαλύφθηκε ότι πράγματι με τις απαραίτητες εντολές γινόταν να δημιουργηθεί ένα νέο και ταυτόσημο χρονικό πεδίο ορισμού κατά πλήρη αντιστοιχία με τα δεδομένα που δόθηκαν έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η μελέτη. Ο τρόπος ήταν ο εξής:

1. Δημιουργία της πρώτης ημερομηνίας με τις ώρες και τα λεπτά για το Format Code που επιλέχθηκε
2. Συμπλήρωση των κενών κελίων με την εντολή -> Flash fill series
3. Στην εντολή Fill έγινε η διαίρεση με το βήμα κατά 1/24*60=0.000619444, ώστε να φτιαχτεί ένα ταυτόσημο πεδίο ορισμού στο χρόνο ακριβώς ίδιο με τα δεδομένα που λήφθηκαν εξαρχής.

Χάρη σε αυτήν την μετατροπή η ανάλυση μπορεί και δύναται να συνεχίσει πλέον με το να μπορούμε να βρίσκουμε μέγιστα και ελάχιστα κτλ. σε όποιες μεταβλητές κρίνεται επιθυμητό και μετά να επανατοποθετείται το δείγμα στην αρχική του σειρά. Ωστόσο επειδή τα αρχεία δεν είναι ακόμα ΄΄τέλεια και ιδανικά΄΄ ως προς την δομή και παρουσίαση τους στα αρχεία excel όσον αφορά την επεξεργασία τους για ανάλυση φιλτράρισμα και αξιολόγηση

1. Χρησιμοποιήθηκε η εντολή IS(IFBLANK(X_i),AVERAGE(X_{i-1},X_{i+1}),X_i) ώστε για κάθε στοιχείο όπου έχει μία κενή τιμή ανάμεσα σε δύο άλλες να βρίσκεται ο μέσος όρος του ή αλλιώς το στοιχείο καθ' αυτό αν υπάρχει. Σε διαφορετική περίπτωση απαλείφεται πλήρως όλη η σειρά.

AN2 =IF(ISBLANK(B2),AVERAGE(B1,B3),B2)

	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR
1	DG3 CYL1 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG3 CYL2 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG3 CYL3 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG3 CYL4 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG3 CYL6 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG3 FOC ( )	DG3 LO INLET PRESS AMS (ISEMMS)	DG3 LO INLET TEMP AMS (ISEMMS)	DG3 Power kW (ISEMMS)	DG3 TC EXH GAS INLET TEMP AMS (ISEMMS)	Longitudinal Water Speed (ISEMMS)	Speed Over Ground (ISEMMS)	IS IF BLANK	DG1 COOLING AIR TEMP AMS (ISEMMS)	DG1 CYL1 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG1 CYL2 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG1 CYL3 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)	DG1 CYL4 EXH GAS OUT TEMP AMS (ISEMMS)
2														38.4	67.3	67.5	67	66.1
3	60.9		59.7	60	59.3			45.8	0		11.9	11.31		38.4	67.3	67.5	67	66.1
4	60.9		59.7	60	59.3			45.8	0		11.7	11.36		38.4	67.3	66.6	67	66.1
5	60.2		59.7	60	59.3			45.8	0		11.7	11.32		38.4	67.3	66.6	67	66.1
6	60.2		60.9	60	59.3			45.8	0		11.9	11.39		38.4	67.3	68	68	65.4
7	60.2		60.9	60	59.3			45.8	0		11.8	11.36		38.4	67.3	68	68	65.4
8	60.2		59.7	60	59.3			45.8	0		11.7	11.36		38.4	67.3	68	68	65.4
9	60.2		59.7	59.5	59.3			45.8	0		11.7	11.4		38.4	67.3	68	67.5	65.4
10	60.2		59.7	59.5	59.3			45.9	0		11.7	11.39		38.4	67.3	67.3	67.5	65.4
11	60.9		59.7	59.5	59.3			45.9	0		11.6	11.43		38.2	67.3	67.3	67.5	65.4
12	60.9		59.7	59.5	59.3			45.9	0		11.9	11.43		38.2	67.3	67.3	67.5	65.4
13	60.9		60.4	60.2	59.3			45.9	0		11.8	11.43		38.2	67.3	67.3	67.5	65.4
14	60.9		60.4	60.2	59.3			45.9	0		11.9	11.41		38.2	67.3	67.3	67.5	65.4

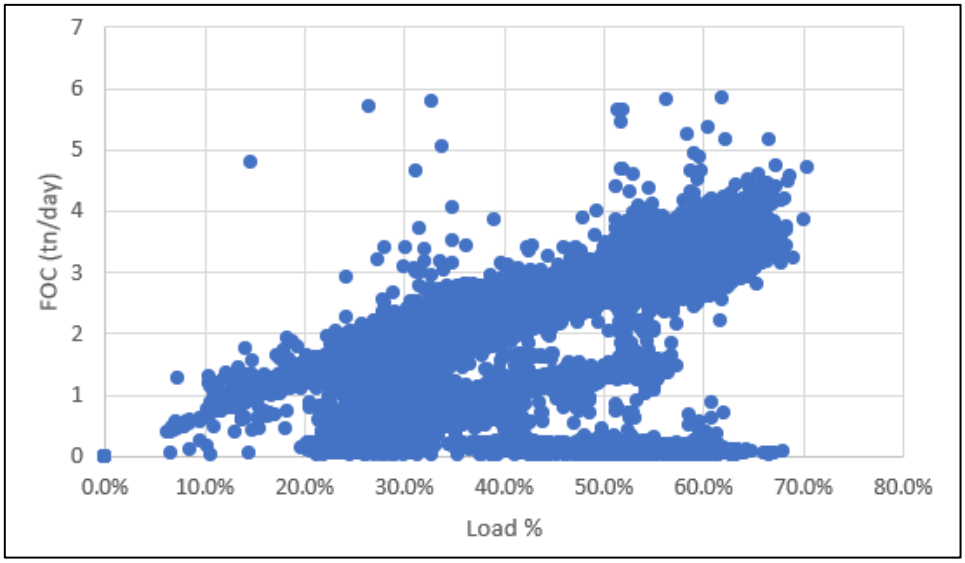
Εικόνα 5 : Εντολή ISIFBLANK που εφαρμόστηκε για όλα τα δεδομένα

2. Η επόμενη διόρθωση ήταν οποιαδήποτε ζεύγη (κατανάλωση καυσίμου, Ισχύς) είχαν το ένα στοιχείο μηδενικό και το άλλο κενό να αντικατασταθεί το κενό με μηδέν. Αυτό το επιτεύχθηκε με την εντολή Filter χάρη στην οποία τηθόταν για κάθε στοιχείο το περιεχόμενο #DIV/0! και αντίστοιχα στο άλλο την τιμή μηδέν και γινόταν η αντικατάσταση.

3. Διασταυρώθηκαν οι τιμές σε πλήρη αντιστοιχία μεταξύ τους δηλαδή συνολικά στο αρχείο να υπάρχει 1 προς 1 τιμές κατανάλωσης καυσίμου και ισχύος και καμία περισσευούμενη.
4. Τέλος τιμές που μετά την εντολή IS(IFBLANK(X_i),AVERAGE(X_{i-1},X_{i+1}),X_i) είχαν τιμές είτε πχ (FOC=#DIV/0!, $Power_i$) είτε κατά γραμμές μεγάλα κενά γεμάτα με #DIV/0! διαγράφηκαν εντελώς από τα δεδομένα μας.Παρακάτω υπάρχει και η εικόνα που δείχνει ένα αντιπροσωπευτικό σετ δεδομένων που δεν αναλύθηκε.
5. Τελικό αποτέλεσμα ήταν να έχουμε ένα σύνολο δεδομένων από 265135 γραμμές σε 168682.Δηλαδή μειώθηκε το δείγμα προς μελέτη στο 63,6%.

2.3 Στατιστική ανάλυση των δεδομένων

Πρόκειται για σημαντικό στάδιο κατά το οποίο χρειάστηκε να ληφθούν υπόψιν τα σωστά βήματα για το φιλτράρισμα των δεδομένων. Βασικό εμπόδιο εδώ ήταν πως θα μπορούσε να φιλτραριστούν σωστά τα δεδομένα αφού πολλές τιμές μεταβλητών ειδικά της κατανάλωσης καυσίμου ως προς το φορτίο ήταν πολύ χαμηλές. Αρκετές τιμές ήταν του τύπου 40% του φορτίου με κατανάλωση 0,3 FOC σε τόνους ανά ημέρα, αρκετά μικρό δηλαδή για το αντίστοιχο φορτίο της ηλεκτρογεννήτριας. Συνεπώς προχωρήσαμε στο πρώτο φίλτρο για FOC<0.5 αυτές οι τιμές θα διαγράφονταν μαζί με όλα τα υπόλοιπα στοιχεία της ηλεκτρογεννήτριας καθ' αυτά. Παρακάτω είναι σε διαγράμματα η προσέγγιση αυτή των 1, 2 και 3. Για λόγους απλότητας θα παρουσιαστεί το πρώτο μη επεξεργασμένο διάγραμμα όπου θα φανεί και ο λόγος που και στις τρείς ηλεκτρογεννήτριες θα εφαρμοζόταν το συγκεκριμένο φιλτράρισμα. Επίσης τα διαγράμματα είναι με συχνότητα ενός λεπτού.

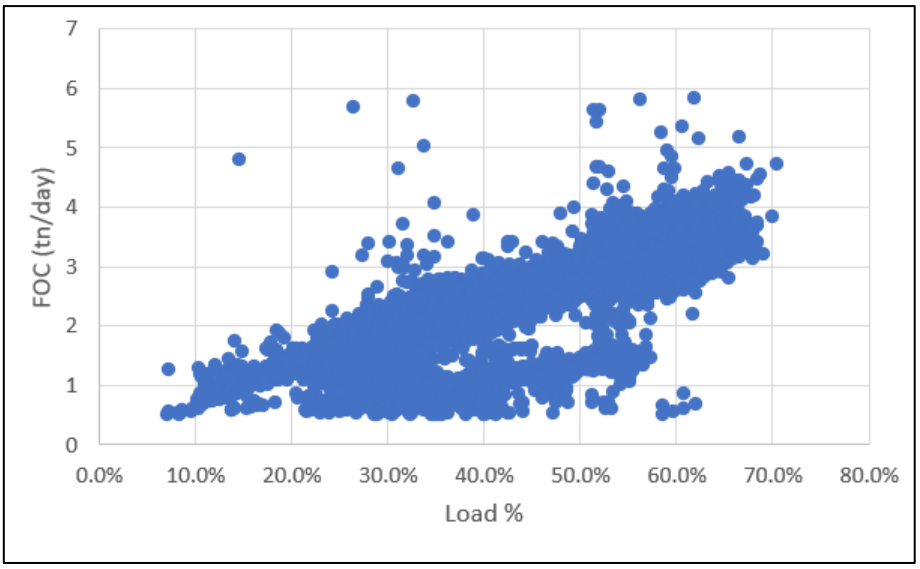


Διάγραμμα 1: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG1

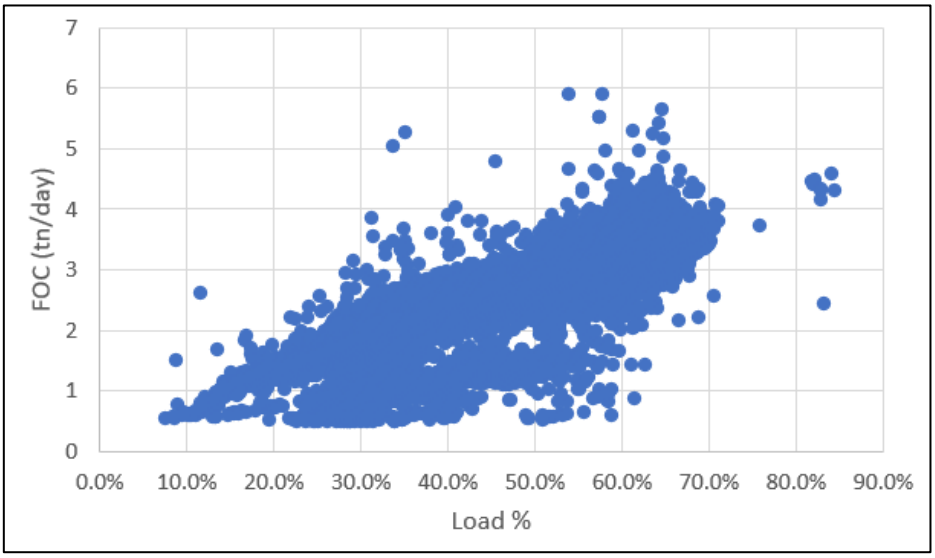
Όπως φαίνεται οι τιμές είναι αρκετά παράδοξες δεν γίνεται δηλαδή για 50% του φορτίου να υπάρχουν τόσο χαμηλές τιμές στην ηλεκτρογεννήτρια όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου.

Συνεπώς προχώρησε η μελέτη στο φιλτράρισμα των τιμών αυτών με αποτέλεσμα να παραχθούν οι παραστάσεις στην συνέχεια. Τα διαγράμματα που φιλτραρίστηκαν ήταν αυτά με τα αρχικά δεδομένα, δηλαδή αυτών με βήμα ενός λεπτού και οι διαγραφές όπως προ ειπώθηκε έγιναν για FOC< 0.5 tn/day. Αμέσως μετά γίνεται η εφαρμογή αυτού του φίλτρου.

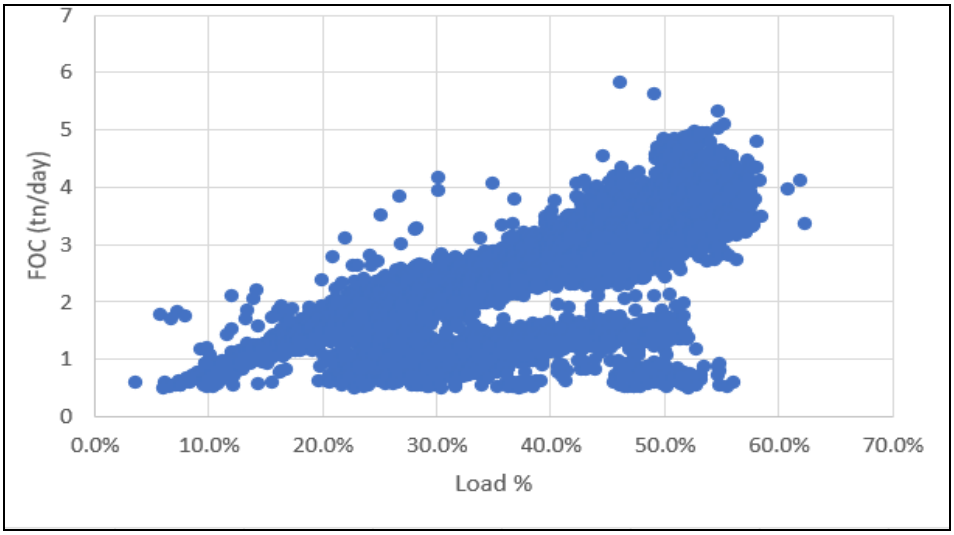
Πρώτο φίλτρο FOC<0.5 tn/day



Διάγραμμα 2: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG1



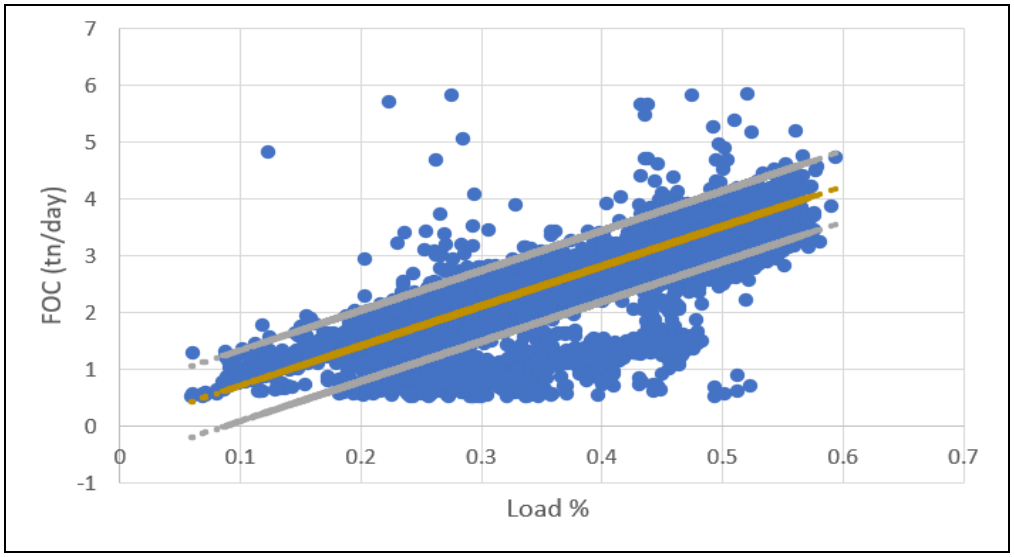
Διάγραμμα 3: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG2



Διάγραμμα 4: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG3

Αυτό χρειάστηκε να γίνει πρώτα προκειμένου να υπολογιστεί μια κατάλληλη διασπορά η οποία προφανώς να είναι αντιπροσωπευτική και μετέπειτα επίσης χρήσιμη για το φιλτράρισμα κατά το δεύτερο στάδιο, όπου τα στοιχεία θα παρουσιάζονται γύρω από ένα θεωρητικό trendline (της μορφής y=ax διότι για μηδενικό φορτίο θα πρέπει να είναι και μηδενική η κατανάλωση καυσίμου θεωρητικά) κατά -σ,+σ. Το αποτέλεσμα είναι παρακάτω σε διαγράμματα καθώς και τα τελικά διαγράμματα κατανάλωσης καυσίμου προς φορτίου με τα πλέον ακριβή trendline με μικρές αποκλίσεις.

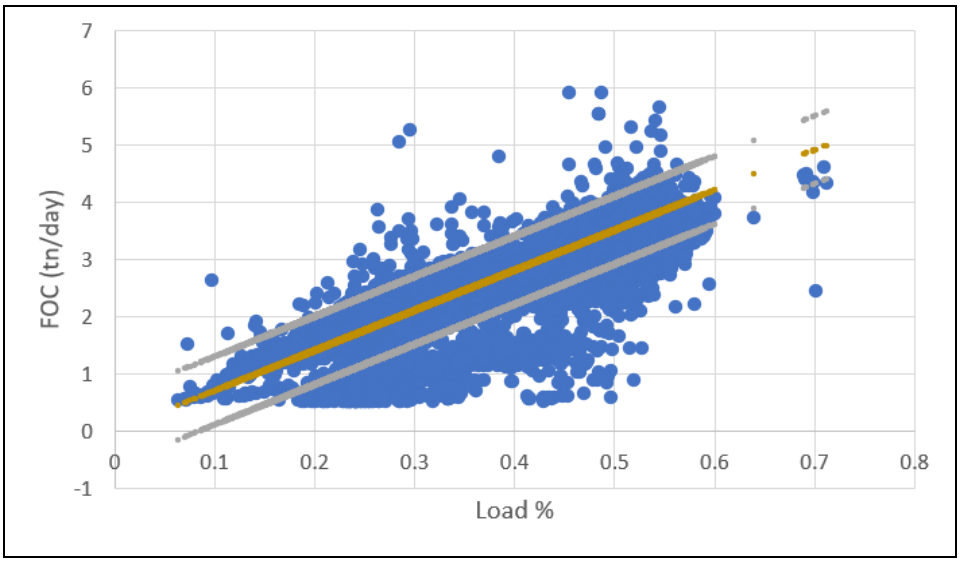
Δεύτερο φίλτρο y_i-σ < $FOC_i(Load_i)$ < y_i+σ



Διάγραμμα 5: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG1

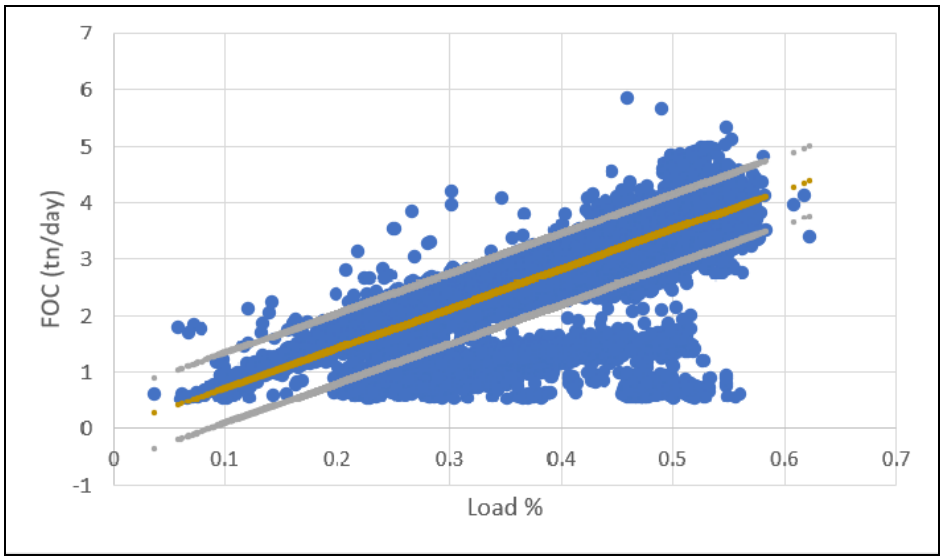
Για σ=0.623 και y=5.8*Load, όπου το σ υπολογίστηκε ως διασπορά για το σύνολο του πληθυσμού FOC ως tn/day.

Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε ήταν η STDEV.P() που υπολογίζει την διασπορά για το σύνολο του πληθυσμού.



Διάγραμμα 6: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG2

Για σ=0.594 και y=5.6*Load.

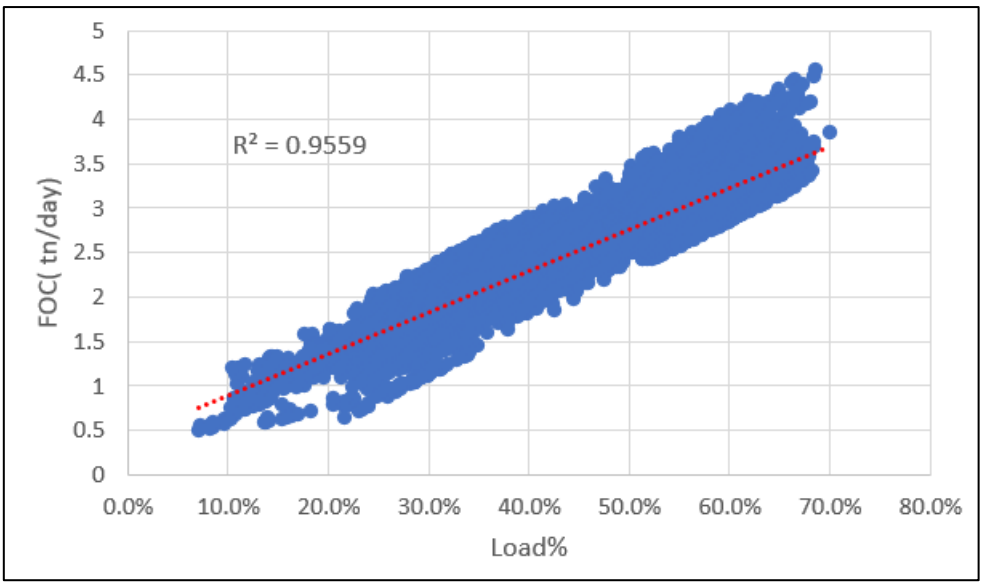


Διάγραμμα 7: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG3

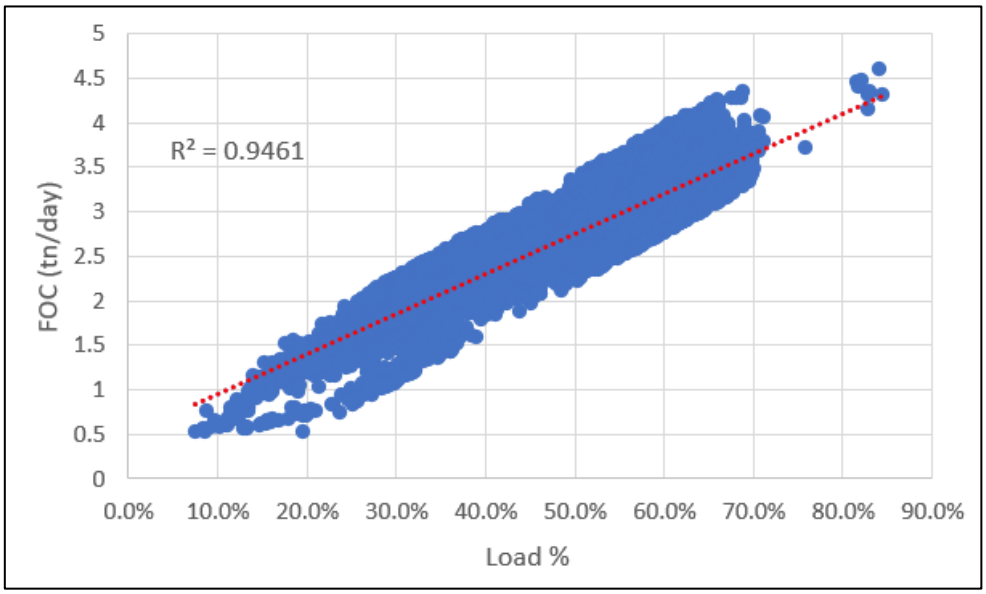
Για σ=0.665 και y=5.8*Load.

Κατά τα άνω θα προχωρήσουμε στην διαγραφή όσων σημείων δεν είναι εντός του εύρους που θέσαμε και θα τα αναγνωρίσουμε με την εντολή *=IF(AND(AW2>=AZ2,AW2<=BA2), AW2, FALSE)* και για τις 3 ηλεκτρογεννήτριες με αποτέλεσμα όσα είναι FALSE να φεύγουν μαζί με όλα τα υπόλοιπα στοιχεία της ηλεκτρογεννήτριας εντελώς από το δείγμα προς μελέτη.

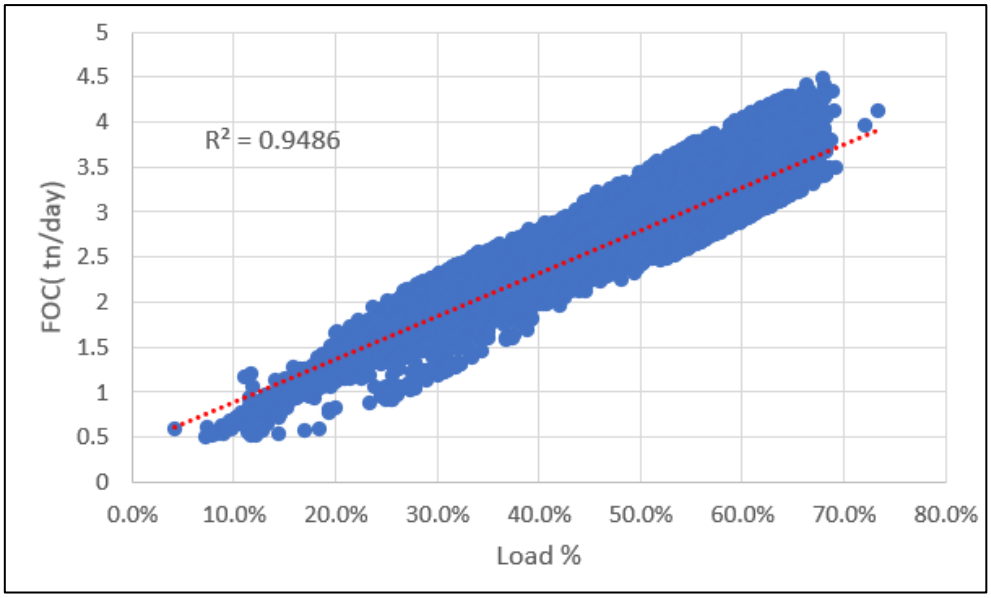
Παρακάτω είναι το τελικό αποτέλεσμα των διαγραμμάτων για την κατανάλωση καυσίμου σε τόνους ανά ημέρα ως προς το ποσοστό του φορτίου της κάθε ηλεκτρογεννήτριας.



Διάγραμμα 8: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG1 ανά ένα λεπτό



Διάγραμμα 9: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG2 ανά ένα λεπτό



Διάγραμμα 10: Κατανάλωσης καυσίμου-Φορτίου DG3 ανά ένα λεπτό

2.4 Ανάλυση του χρόνου και του φορτίου λειτουργίας των ηλεκτρογεννητριών

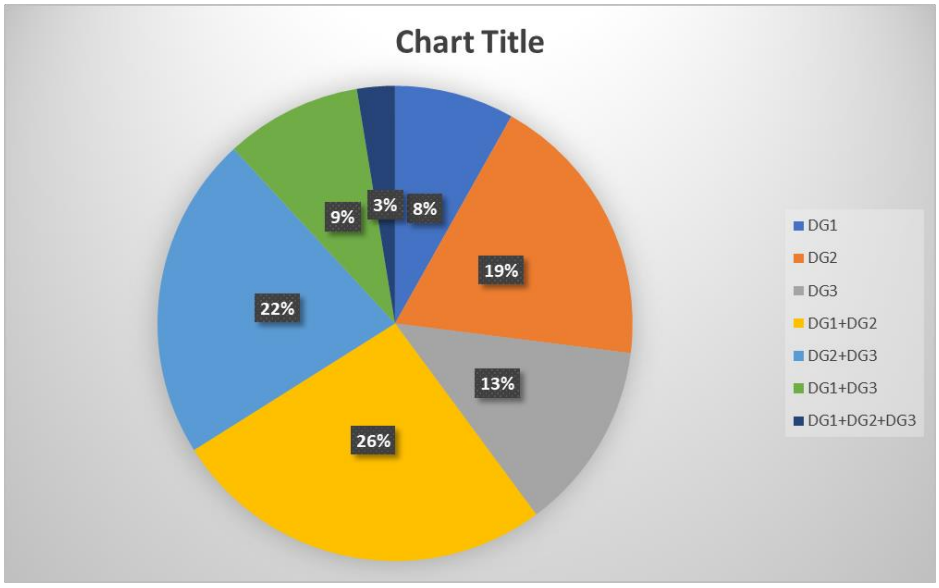
Εφόσον έχει λάβει χώρα το φιλτράρισμα δεδομένων στην προηγούμενη ενότητα, το επόμενο βήμα είναι στην μελέτη να εισαχθεί μια κατάλληλη επισκόπηση των δεδομένων βάση της οποίας θα γίνουν αντιληπτά ζητήματα όπως το πότε λειτουργεί μια γεννήτρια μόνη της ή σε παραλληλία με άλλες, σε τι ποσοστό συμβαίνει αυτό και τον καταμερισμό της συχνότητας των μετρήσεων ανά εύρη. Η επισκόπηση αυτή θα επιτευχθεί με την χρήση διαγραμμάτων whisker box, histograms και δίσκου.

Παρακάτω φαίνεται η λειτουργεία κάθε ηλεκτρογεννήτριας στο χρόνο όταν λειτουργεί η κάθε μία μόνη της, σε παραλληλία ή και οι 3 μαζί. Σαν τελικό αποτέλεσμα ήταν να έχει η μελέτη τα εξής στοιχεία δηλαδή τον συνολικό αριθμό μετρήσεων των στοιχείων DG1, DG2, DG3 για κάθε μέτρηση που αφορά την κατανάλωση της ηλεκτρογεννήτριας δίχως καμία παραλληλία και DG1+DG2, DG2+DG3, DG3+DG1, DG1+DG2+DG3 οι μετρήσεις όταν υπήρξε ταυτόχρονη χρήση των γεννητριών. Εν τέλει το αποτέλεσμα ήταν:

Ηλεκτρογεννήτριες	Αριθμός Δεδομένων	Ποσοστό λειτουργίας
DG1	12145	8%
DG2	28081	19%
DG3	19176	13%
DG1+DG2	39031	26%
DG2+DG3	32882	22%
DG3+DG1	13855	9%
DG1+DG2+DG3	3837	3%

Πίνακας 5: Σύνολο μετρήσεων για κάθε κατηγορία

Με την διαγραμματική αποτύπωση σε δίσκο:



Διάγραμμα 11: Διάγραμμα δίσκος κατά το οποίο αναπαρίσταται η συμμετοχή των ηλεκτρογεννητριών

Παρακάτω ακολουθεί μια παρουσίαση με τα δεδομένα μέσω διαγραμμάτων Whisker box plots για κάθε ηλεκτρογεννήτρια ξεχωριστά αλλά και όταν είναι σε παραλληλία με τις υπόλοιπες. Παρατηρείται ότι κάθε ηλεκτρογεννήτρια ξεχωριστά λειτουργεί σε ένα ποσοστό μικρότερο του 100% MCR του μοντέλου που μελετάται.

2.4.1 Μέσοι όροι για τα δεδομένα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία για να γίνει ένας έλεγχος και αξιολόγηση της λειτουργείας του συστήματος βάση των δεικτών απόδοσης, είναι σημαντικό μετά την ανάπτυξη τους να δημιουργηθούν διαγράμματα που απεικονίζουν την λειτουργεία τους εξαρτώμενοι από διάφορα μεγέθη, όπως ο χρόνος, η κατανάλωση καυσίμου ή το φορτίο μιας μηχανής. Ωστόσο λόγω μεγάλου όγκου των δεδομένων στην κάθε ηλεκτρογεννήτρια τα διαγράμματα αυτά πιθανό να είναι δυσανάγνωστα με αποτέλεσμα να δυσκολεύεται η αξιολόγηση του συστήματος που μελετάται. Η λύση σε αυτό είναι να εισαχθούν μέσοι όροι των δεδομένων αυτών ανά συγκεκριμένη συχνότητα που θα έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή έντονων μεταβολών και την παρουσίαση μίας πιο ομαλής λειτουργείας που θα διευκολύνει τον συγκεκριμένο έλεγχο και αξιολόγηση.

Εφόσον τα δεδομένα έχουν τεθεί σε κατάλληλη αντιστοιχία και έχουν καθαριστεί επιτυχώς από οποιαδήποτε δυσλειτουργία στις μετρήσεις η μελέτη δύναται να συνεχιστεί με την κάθε ηλεκτρογεννήτρια σε ξεχωριστό αρχείο excel. Εκεί κρίθηκε πως είναι εφικτή η συνέχεια της μελέτης με μια μικρότερη συχνότητα των δεδομένων. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιήθηκε η εντολή *AVERAGE(OFFSET(A2,5*(ROW()-ROW(A2)),0,5,1))* η οποία μειώνει την συχνότητα και όγκο των δεδομένων κατά 5 λεπτά. Το ίδιο μπορεί να γίνει για μισή ώρα, μία ώρα και 1 ώρα αντίστοιχα. Επίσης θα ακολουθήσουν διαγράμματα βασισμένα στην κατανάλωση καυσίμου για SFOC=(FOC*10^6)/(POWER*24).

	A	B	C	D	E	F
1	Time repaired	DG1 FOC ( )	DG1 Power kW ( )	Speed Over Ground ( )	Load DG1	SFOC real [gr/kWh]
2	01/01/2018 11:50	1.3	169.59	13.13	20.9%	24)

Εικόνα 6 : Εντολή OFFSET για να δημιουργηθεί αντιπροσωπευτικό δείγμα για μικρότερες συχνότητες

Το πεντάλεπτο μισάωρο και μία ώρα επιλέχθηκαν για την μείωση του όγκου των δεδομένων και συνεπώς την καλύτερη διαχείριση τους. Ωστόσο χρειάζεται να δικαιολογηθεί η εγκυρότητα αυτής της κίνησης με τον υπολογισμό της μέσης τιμής και διασποράς των στοιχείων που μελετώνται, αν συγκλίνουν οι τιμές τότε η συνέχεια της μελέτης με μικρότερο πληθυσμό ως δείγμα καθίσταται δυνατή. Τα στοιχεία δείχνουν:

	Load (%)	**1 min**	**5 min**	**30 min**	**60 min**	**FOC (tn/day)**	**1 min**	**5 min**	**30 min**	**60 min**
DG1	Mean	33.2%	33.2%	33.2%	33.2%	Mean	2.27	2.27	2.27	2.27
	Standard Deviation	10.1%	10%	9.8%	9.7%	Standard Deviation	0.57	0.56	0.55	0.54
DG2	Mean	35.5%	35.5%	35.5%	35.5%	Mean	2.40	2.40	2.40	2.40
	Standard Deviation	10.1%	10.1%	9.9%	9.7%	Standard Deviation	0.57	0.56	0.54	0.53
DG3	Mean	42.1%	42.1%	42.1%	42.1%	Mean	2.42	2.42	2.42	2.42
	Standard Deviation	12.0%	11.9%	11.6%	11.4%	Standard Deviation	0.59	0.58	0.56	0.55

Πίνακας 6: Μέσες τιμές και διασπορές για την εγκυρότητα του δείγματος σε κάθε DG

Και από τα τρία δείγματα παρατηρούμε όχι τεράστιες αποκλείσεις για 5 και 30 λεπτά και 60 λεπτά συνεπώς θα συνεχίσουμε με αυτά τα δεδομένα στην παρουσίαση διαγραμμάτων κατανάλωσης στο χρόνο, στην ισχύ και ως προς οποιοδήποτε άλλο στοιχείο χρειαστεί.

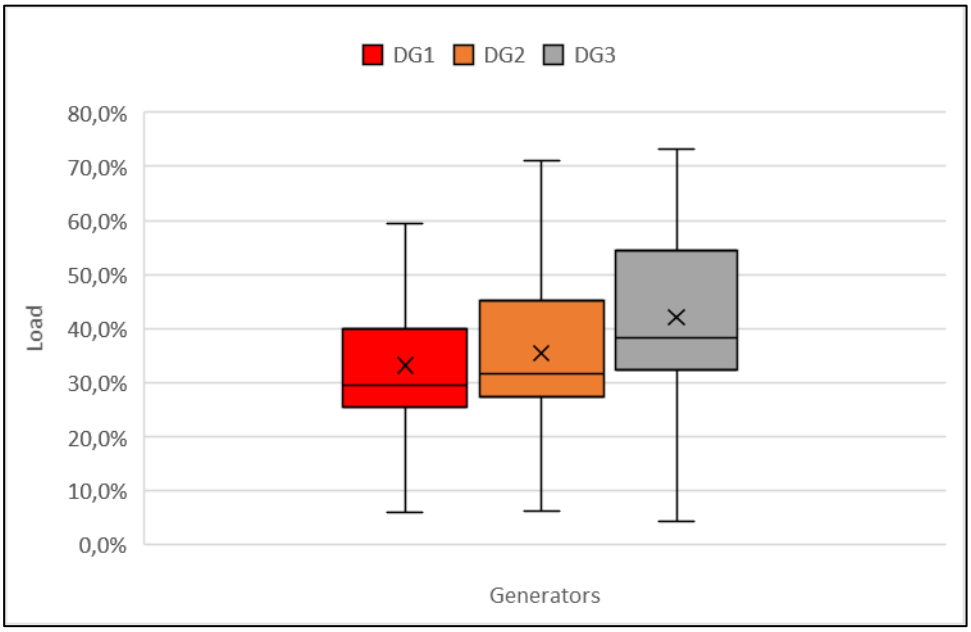
2.4.2 Στατιστική ανάλυση των δεδομένων

Έχοντας αποκτήσει μια εικόνα της συμμετοχής της κάθε γεννήτριας θα γίνει η στατιστική ανάλυση των τριών ηλεκτρογεννητριών μέσω θηκογραμμάτων (whisker box) και ιστογραμμάτων (histograms).

Παρακάτω γίνεται η αναπαράσταση σε whisker boxes των φορτίων των ηλεκτρομηχανών ανεξαρτήτως παραλληλίας μεταξύ τους. Αυτό αναφέρεται διότι οι ηλεκτρομηχανές λειτουργούν σε 3 καταστάσεις :

1. Όταν λειτουργεί αποκλειστικά μια γεννήτρια μόνη της
2. Σε σχέση με μία ακόμη άρα σε παραλληλία
3. Όταν λειτουργούν και οι τρείς μαζί

Τα διάγραμμα αυτά παρουσιάζονται μαζί με τα βασικά στατιστικά στοιχεία τους για την κάθε ηλεκτρομηχανή(μέσος όρος, διάμεσος, πρώτο και τρίτο τεταρτημόριο κτλ.) καθώς και το τι σημαίνει το κάθε κομμάτι του διαγράμματος όπου θα αναλυθεί και περαιτέρω. Η ανάλυση θα λάβει χώρα όταν το δείγμα λαμβανόταν ανά ένα λεπτό όπως λήφθηκε στην αρχή της διπλωματικής.



Διάγραμμα 12: Whisker boxes DG1, DG2, DG3 για τα φορτία των μηχανών τους

Κύρια μεγέθη	DG1	DG2	DG3
Q1	25.5%	27.4%	32.3%
Q3	39.9%	45.1%	54.4%
MEDIAN	29.5%	31.8%	38.3%
Κάτω όριο (min)	6%	6.4%	4.3%
Άνω όριο (max)	59.4%	71%	73.3%
AVERAGE	33.2%	35.5%	42.1%

Πίνακας 7: Στατιστικά μεγέθη του φορτίο της κάθε ηλεκτρογεννήτριας

Σύμφωνα με το διάγραμμα το Q1 και Q3 είναι το πρώτο και τρίτο τεταρτημόριο που αφορούν το Q(0.25) και Q(0.75) αντίστοιχα, ενώ η διάμεσος Median το Q(0.5). Ως Q1 είναι η κάτω γραμμή που ορίζει το κουτί, ως Q3 είναι η άνω γραμμή που ορίζει το κουτί, ως διάμεσος median είναι η γραμμή εντός του κουτιού και ο σταυρός αφορά την μέση τιμή για τον πληθυσμό που υπολογίστηκε το Whisker box. Τα Q(x) ορίζονται ως τα δεδομένα του πληθυσμού τα οποία έχουν διαταχθεί σε αύξουσα σειρά από το μικρότερο στο μεγαλύτερο με πεδίο ορισμού από το 0 έως 1 και μεταβλητή την

$x = \frac{i-0.5}{n}$. Για i το ένα από τα πολλά στοιχεία του πληθυσμού n τα οποία είναι και τα σημεία του διαστήματος 0 έως 1 .

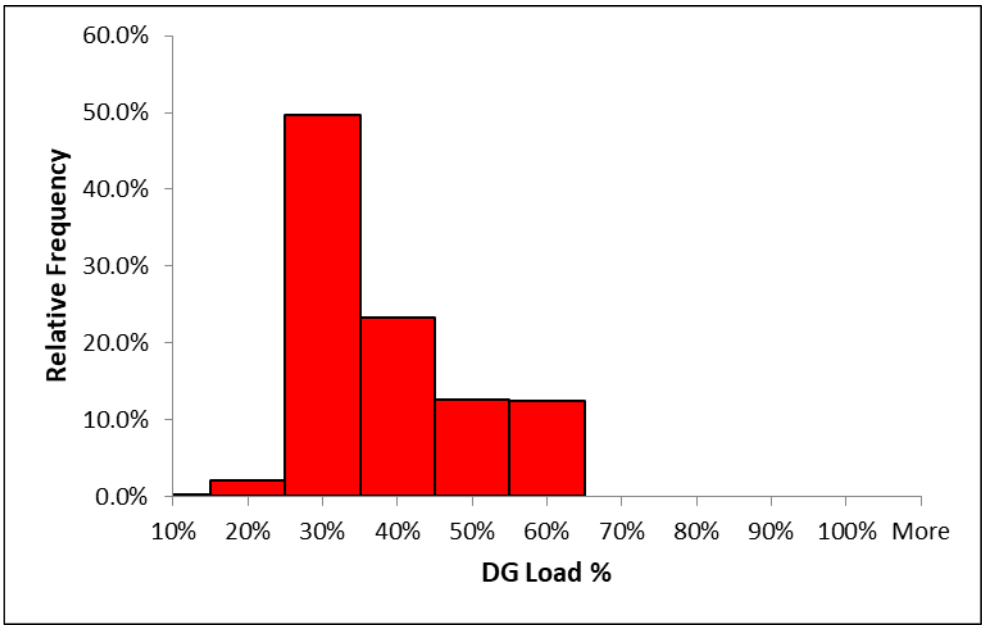
Το κάτω και άνω όριο αφορούν τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές ορισμένες από το excel όπως αυτό έχει ορισμένο τα θηκογράμματα του-whisker box, πρόκειται για την ψηλότερη και χαμηλότερη οριζόντια γραμμή που φαίνεται στο σχήμα για το κάθε whisker box αυτό. Ωστόσο αυτή δεν είναι και η μόνη περίπτωση που αφορά τα θηκογράμματα. Πιο συγκεκριμένα το excel υπολογίζει τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές ενός θηκογράμματος βασιζόμενο στην εξής συνθήκη

$Q_1 - 1.5 * IQR \leq Q(x) \leq Q_3 + 1.5 * IQR,\ IQR = Q3 - Q1$. Αν η συγκεκριμένη συνθήκη πραγματοποιείται τότε το άνω και κάτω όριο είναι η μέγιστη και ελάχιστη τιμή του δείγματος, ενώ αν δεν πραγματοποιείται τότε $min = Q_1 - 1.5 * IQR\ , max = Q_3 + 1.5 * IQR$.

Παρακάτω θα γίνει παρουσίαση της κάθε ηλεκτρογεννήτριας ξεχωριστά ως προς τα ζητήματα που αφορούν σε διαγραμματική αναπαράσταση για τα ιστογράμματα της κάθε ηλεκτρογεννήτριας ως προς το φορτίο της Load καθώς και την παρουσίαση της λειτουργείας κάθε ηλεκτρογεννήτριας εκ νέου σε θηκογράμματα τα οποία θα παρατηρηθεί ότι δεν ικανοποιούν την συγκεκριμένη συνθήκη με αποτέλεσμα να ορίζονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές υπολογιστικά ως άνω. Εν τέλει η συνθήκη για λειτουργία στο λιμάνι και λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών εν πλω είναι όταν το σκάφος βρίσκεται κάτω από τους 3 κόμβους, τότε θεωρείται ότι βρίσκεται σε λιμάνι και αντίθετα.

Πρώτη ηλεκτρογεννήτρια DG1.

Βάση των αποτελεσμάτων του πίνακα παρατηρείται ότι η συγκεκριμένη γεννήτρια οριακά φτάνει στο 70% του MCR καθώς παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο πλήθος των τιμών κυμαίνονται έως το 50%. Επίσης στην μελέτη αυτή υπολογίστηκαν και τα ιστογράμματα κάθε γεννήτριας ώστε ανά συγκεκριμένα εύρη του φορτίου να είναι γνωστή η κατανομή της πιθανότητας. Με το Histogram σύμφωνα με το οποίο παρατηρείται το πλήθος των τιμών ανά 10% εύρος καθώς και σε πίνακα τα στοιχεία των αποτελεσμάτων.



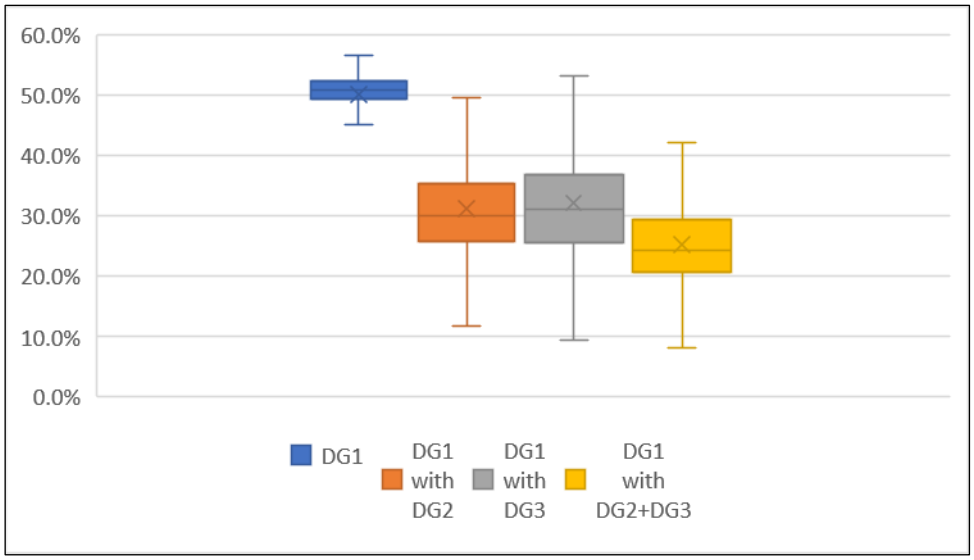
Διάγραμμα 13: Ιστόγραμμα για DG1 Load

Bin	*Frequency*	*Relative Frequency*
10%	31	0.0%
20%	1464	2.1%
30%	34205	49.7%
40%	16014	23.3%
50%	8640	12.5%
60%	8514	12.4%
70%	0	0.0%
80%	0	0.0%
90%	0	0.0%
100%	0	0.0%
More	0	0.0%
Sum	68868	100%

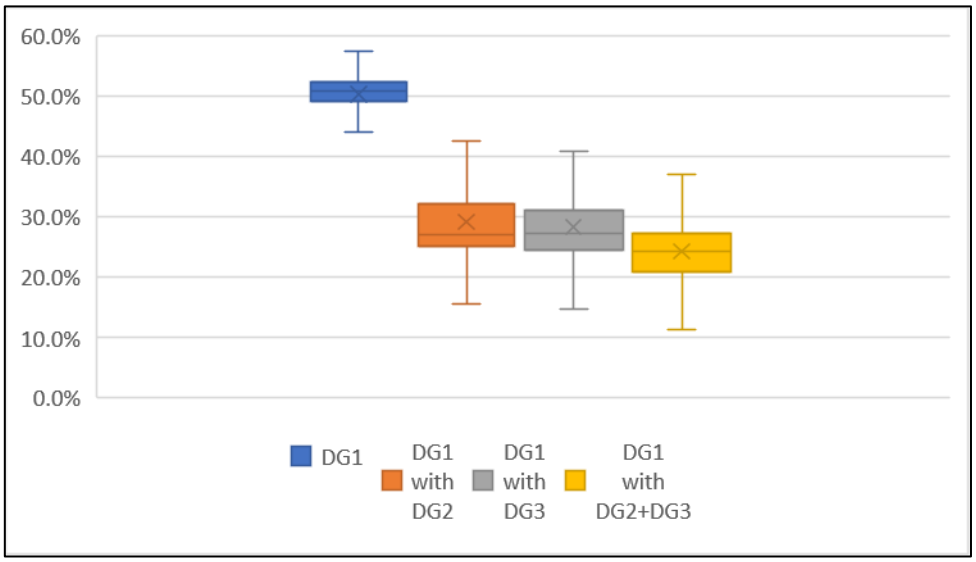
Πίνακας 8: Αριθμός σημείων ανά 10% εύρος του φορτίου που λειτούργησε η μηχανή

Σύμφωνα με τον πίνακα και το ιστόγραμμά φαίνεται ότι η DG1 λειτουργούσε κατά το μεγαλύτερο διάστημα για φορτία μικρότερα του 50% και το μισό χρονικό διάστημα μεταξύ 20 και 30%. Παρακάτω ακολουθούν τα Box plots ισχύος όταν η ηλεκτρογεννήτρια λειτουργεί μόνη της και σε

παραλληλία με τις υπόλοιπες. Οι συνδυασμοί από ότι φαίνεται είναι οι όλοι πιθανά δυνατοί και εκφράζουν τα εύρη που έχει η γεννήτρια 1 σε σχέση με τις υπόλοιπες περιπτώσεις. Αυτές είναι όταν μια γεννήτρια λειτουργεί αποκλειστικά μόνη της, σε παραλληλία και εν τέλει όλες μαζί. Τα συγκεκριμένα διαγράμματα αναπαρίστανται για εν πλω και όταν είναι το σκάφος στο λιμάνι.



Διάγραμμα 14 : Whisker boxes της DG1 σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες στο λιμάνι



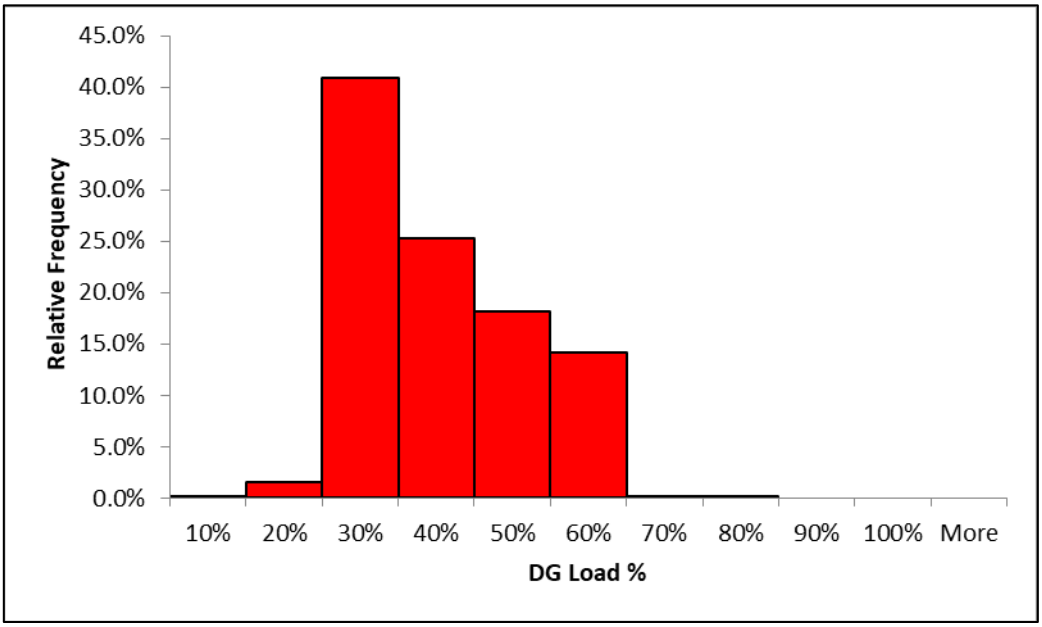
Διάγραμμα 15 : Whisker boxes της DG1 σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες στη θάλασσα

Κύρια μεγέθη	DG1		DG1+DG2		DG1+DG3		DG1+DG2+DG3	
	Port	Sea	Port	Sea	Port	Sea	Port	Sea
Q1	49.5%	49.1%	25.8%	25.1%	25.5%	24.4%	20.7%	20.8%
Q3	52.4%	52.5%	35.3%	32.1%	36.8%	31%	29.4%	27.3%
MEDIAN	51%	50.9%	30%	27%	31.1%	27.2%	24.3%	24.3%
Q1-1.5*IQR	45.2%	44.1%	11.7%	15.6%	9.3%	14.6%	8.1%	11.2%
Q3+1.5*IQR	56.6%	57.4%	49.6%	42.6%	53.2%	40.9%	42.2%	37.1%
AVERAGE	50.1%	50.3%	31.2%	29.1%	32.2%	28.3%	25.2%	24.2%

Πίνακας 9 Στατιστικά μεγέθη του φορτίου της DG1 σε σχέση με τις άλλες δύο DG

Δεύτερη ηλεκτρογεννήτρια.

Σύμφωνα με την δεύτερη ηλεκτρογεννήτρια κατά το διάγραμμα του whisker box που έχει τα όρια της είναι και αυτή στα ίδια μεγέθη περίπου όσον αφορά το κάτω όριο καθώς και το πρώτο τεταρτημόριο Q1 σε σχέση με την DG1 ωστόσο το άνω όριο και το τρίτο τεταρτημόριο είναι εμφανώς μεγαλύτερα πράμα που σημαίνει ότι η DG2 παρουσιάζει λειτουργεία με φορτία σχετικά υψηλά ανά χρονικές στιγμές. Παρακάτω είναι και το Histogram της DG2 με εύρη ανά βήμα 10%, όπου παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο πλήθος συσσωρεύεται στο 30%.

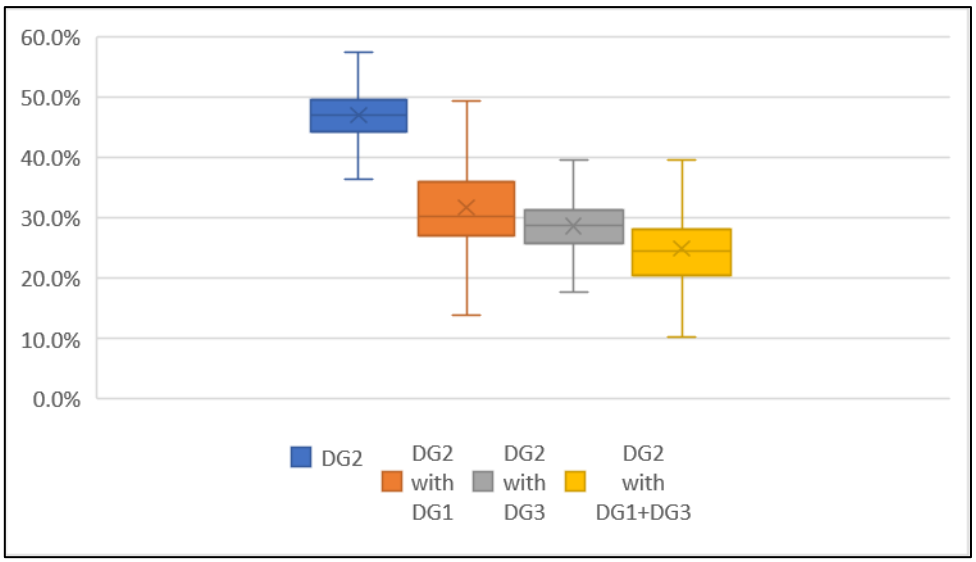


Διάγραμμα 16 : Ιστόγραμμα για DG2 Load

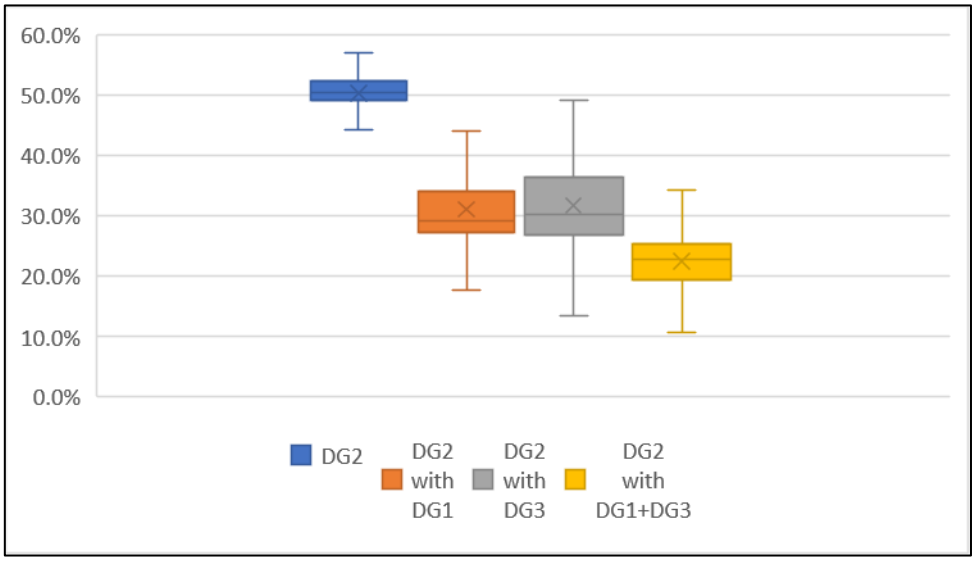
Bin	*Frequency*	*Relative Frequency*
10%	20	0.0%
20%	1548	1.5%
30%	42529	41.0%
40%	26197	25.2%
50%	18821	18.1%
60%	14710	14.2%
70%	5	0.0%
80%	1	0.0%
90%	0	0.0%
100%	0	0.0%
More	0	0.0%
SUM	103831	100%

Πίνακας 10: Αριθμός σημείων ανά 10% εύρος του φορτίου που λειτούργησε η μηχανή

Σύμφωνα με τον πίνακα και το ιστόγραμμά φαίνεται ότι η DG2 λειτουργούσε κατά το μεγαλύτερο διάστημα για φορτία έως 60% και στο μεγαλύτερο μέρος της και αυτή για το εύρος μεταξύ 20 και 30%, όπως η DG1. Παρακάτω ακολουθεί και το Box plot ισχύος όταν η ηλεκτρογεννήτρια λειτουργεί πλήρως μόνης της και σε παραλληλία ακριβώς όπως η DG1 .



Διάγραμμα 17 : Whisker boxes της DG2 σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες στο λιμάνι



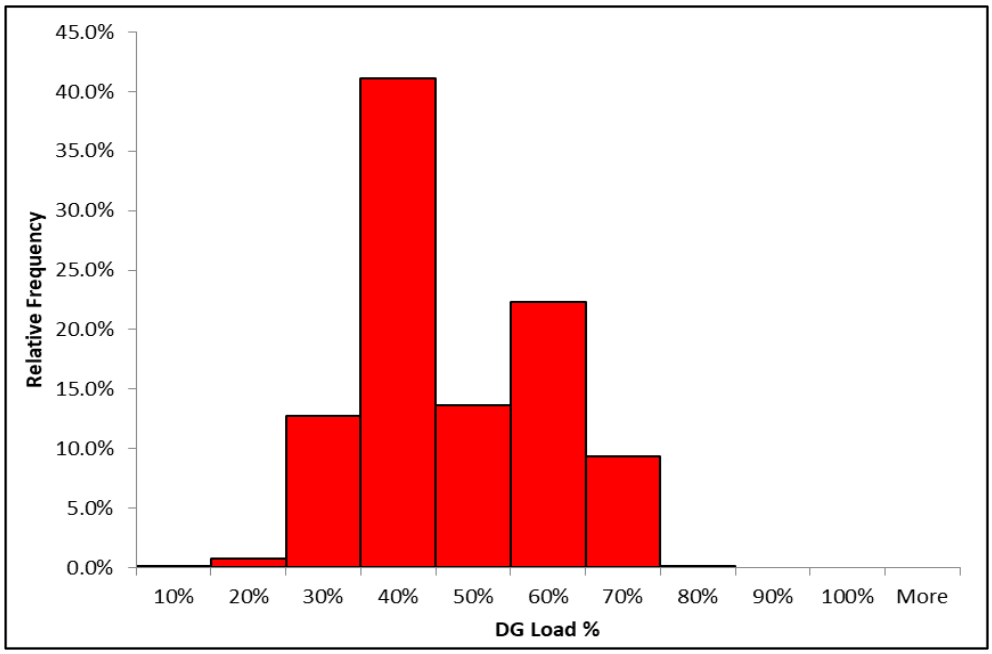
Διάγραμμα 18 : Whisker boxes της DG2 σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες εν πλω

Κύρια μεγέθη	DG2		DG2+DG1		DG2+DG3		DG1+DG2+DG3	
	Port	Sea	Port	Sea	Port	Sea	Port	Sea
Q1	44.3%	49.1.%	27%	27.3%	25.7%	27.6%	20.5%	19.4%
Q3	49.6%	52.3%	35.9%	34%	31.3%	36.3%	28.2%	25.3%
MEDIAN	47.1%	50.6%	30.1%	29.1%	28.7%	30.3%	24.4%	22.8%
Q1-1.5*IQR	36.4%	44.3%	13.7%	17.7%	17.7%	13.3%	10.3%	10.7%
Q3+1.5*IQR	57.5%	57.2%	49.4%	44%	39.6%	49.2%	39.6%	34.2%
AVERAGE	47.1%	50.4%	31.7%	31.1%	28.7%	31.7%	24.9%	22.4%

Πίνακας 11 : Στατιστικά μεγέθη του φορτίου της DG2 σε σχέση με τις άλλες δύο DG

Για την τρίτη ηλεκτρογεννήτρια

Στην συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται ότι η DG3 έχει άνω και κάτω όριο περίπου κοινά με την DG2 ωστόσο για τα Q1, Q3 παρουσιάζεται μια προσαύξηση στο 5% και 10% περίπου αντίστοιχα. Συνεπώς και η DG3 λειτουργεί στα υψηλότερα φορτία σε σχέση με τις άλλες δύο

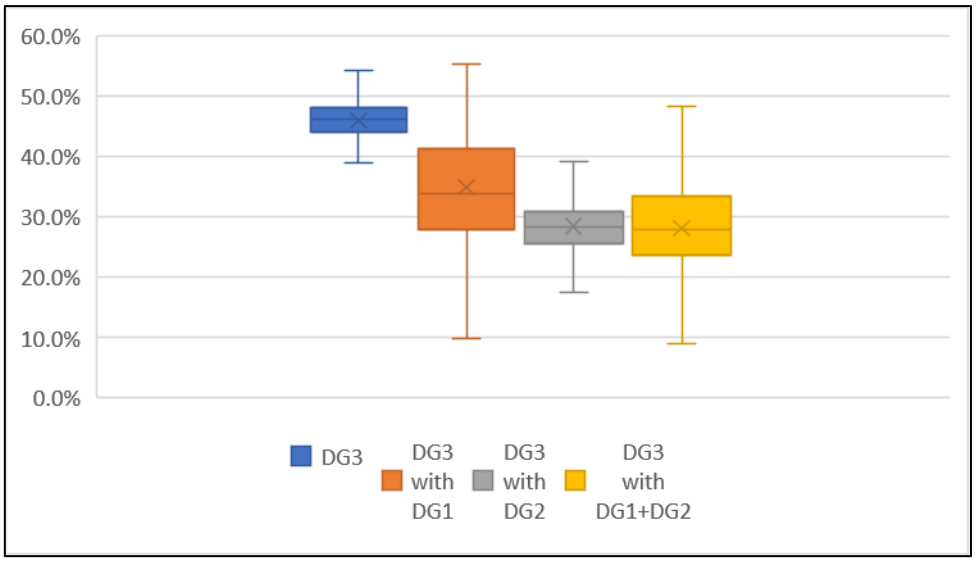


Διάγραμμα 19 : Ιστόγραμμα για DG3 Load

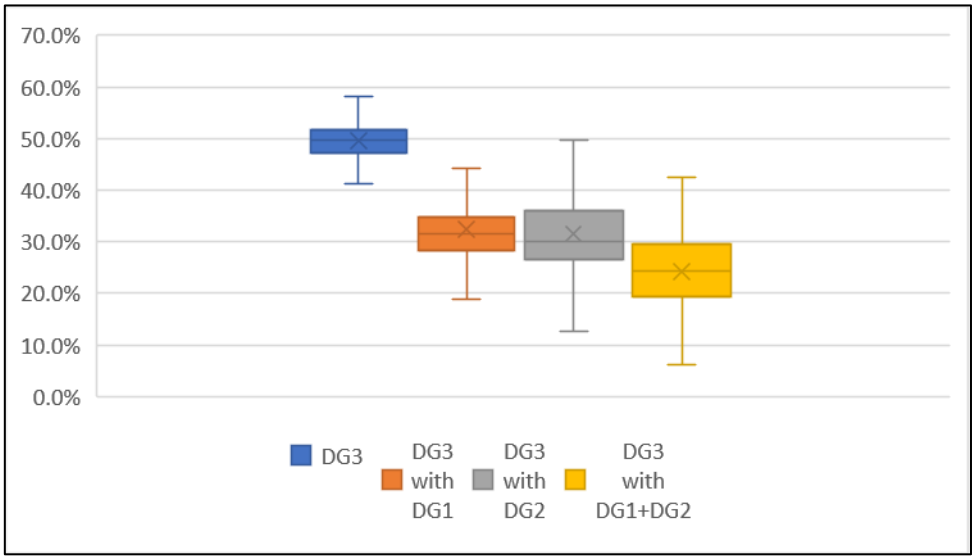
Bin	*Frequency*	*Relative Frequency*
10%	12	0.0%
20%	519	0.7%
30%	8915	12.8%
40%	28707	41.2%
50%	9510	13.6%
60%	15553	22.3%
70%	6532	9.4%
80%	2	0.0%
90%	0	0.0%
100%	0	0.0%
More	0	0.0%
Sum	69750	100.0%

Πίνακας 12: Αριθμός σημείων ανά 10% εύρος του φορτίου που λειτούργησε η μηχανή

Σύμφωνα με τον πίνακα και το ιστόγραμμά φαίνεται ότι η DG3 λειτουργούσε για φορτία διαφορετικά των άλλων δύο, πιο συγκεκριμένα αντί ανά εύρος 10% να παρατηρείται προοδευτική μείωση στην συχνότητα του ιστογράμματος (από το 20% και μετά) η DG3 αυξάνει την συχνότητα στο 30 με 40% καθώς και στο 50 με 60% όσον αφορά το φορτίο της μηχανής, ενώ στο 20 με 30% φαίνεται να έχει μικρή συχνότητα σε σχέση με τις άλλες δύο.



Διάγραμμα 20 : Whisker boxes της DG3 σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες στο λιμάνι



Διάγραμμα 21 : Whisker boxes της DG3 σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες εν πλω

Κύρια μεγέθη	DG3		DG3+DG1		DG3+DG2		DG1+DG2+DG3	
	Port	Sea	Port	Sea	Port	Sea	Port	Sea
Q1	44.1%	47.2%	27.9%	28.4%	25.5%	26.6%	23.6%	19.3%
Q3	48.2%	51.7%	41.3%	34.8%	31%	36.1%	33.5%	29.6%
MEDIAN	46.2%	49.7%	33.9%	31.6%	28.4%	30.1%	28%	24.2%
Q1-1.5*IQR	38.9%	41.3%	9.7%	18.8%	17.3%	12.6%	8.9%	6.2%
Q3+1.5*IQR	54.3%	58.3%	55.3%	44.3%	39.2%	49.8%	48.3%	42.6%
AVERAGE	46.1%	49.5%	34.9%	32.4%	28.4%	31.6%	28.1%	24.2%

Πίνακας 13 : Στατιστικά μεγέθη του φορτίου της DG1 σε σχέση με τις άλλες δύο DG

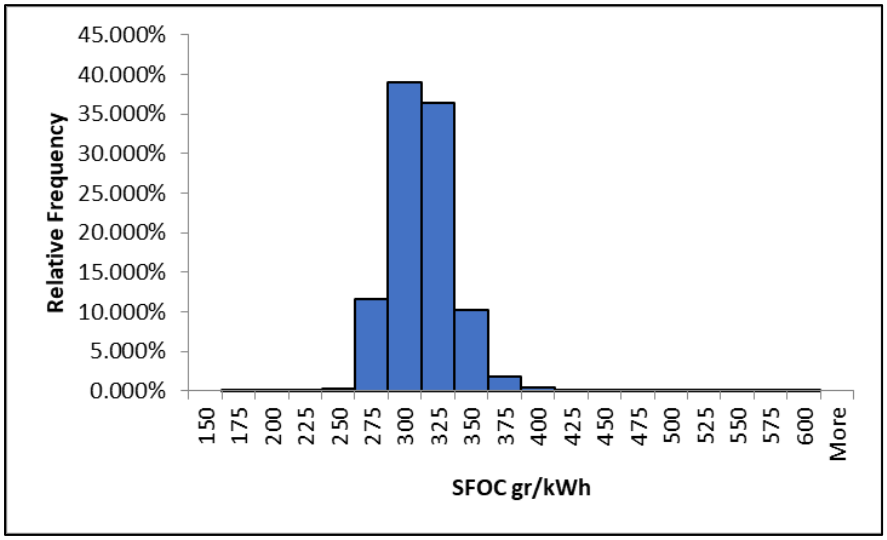
◊ Κεφάλαιο 3 ◊

Εξέταση της ενεργειακής απόδοσης βάση την ειδική κατανάλωση

Στην ενότητα αυτή θα γίνει η ιστορική καταγραφή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και των τριών ηλεκτρογεννητριών έτσι ώστε να συγκριθούν μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα η ειδική κατανάλωση καυσίμου θα αναπαρασταθεί σε ιστόγραμμα, σε διάγραμμα με συχνότητα ανά πέντε λεπτά καθώς και σε συνάρτηση του φορτίου της κάθε ηλεκτρογεννήτριας, ώστε να διεξαχθούν παρατηρήσεις.

Ηλεκτρογεννήτρια 1 DG1 Ιστόγραμμα, (SFOC,Time), (SFOC,Load) (FOC,Load)

Αναπαρίσταται η ειδική κατανάλωση καυσίμου σε ιστόγραμμα με τον πίνακα των στοιχείων με βήμα 25 gr/kWh, όπου η μέγιστη τιμή των δεδομένων είναι στα 592 gr/kWh.



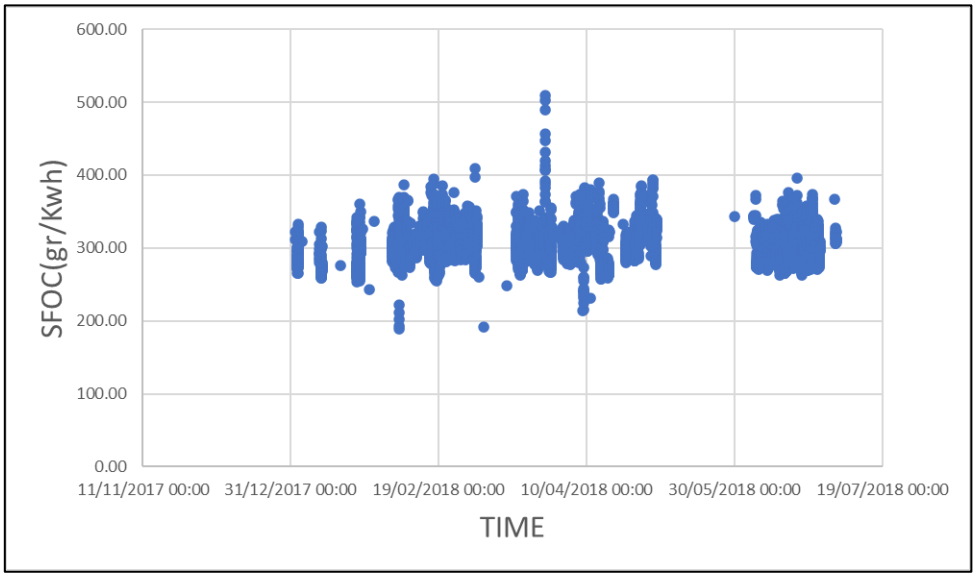
Διάγραμμα 22 : Ιστόγραμμα για DG1 SFOC

SFOC (gr/kWh)	*Relative Frequency*
150	0.000%
175	0.003%
200	0.033%
225	0.049%
250	0.302%
275	11.664%
300	38.991%
325	36.343%
350	10.254%
375	1.756%
400	0.482%
425	0.070%
450	0.019%
475	0.010%
500	0.010%
525	0.004%
550	0.004%
575	0.003%
600	0.001%

Πίνακας 14: Αριθμός σημείων ανά εύρος 25 gr/kWh του φορτίου

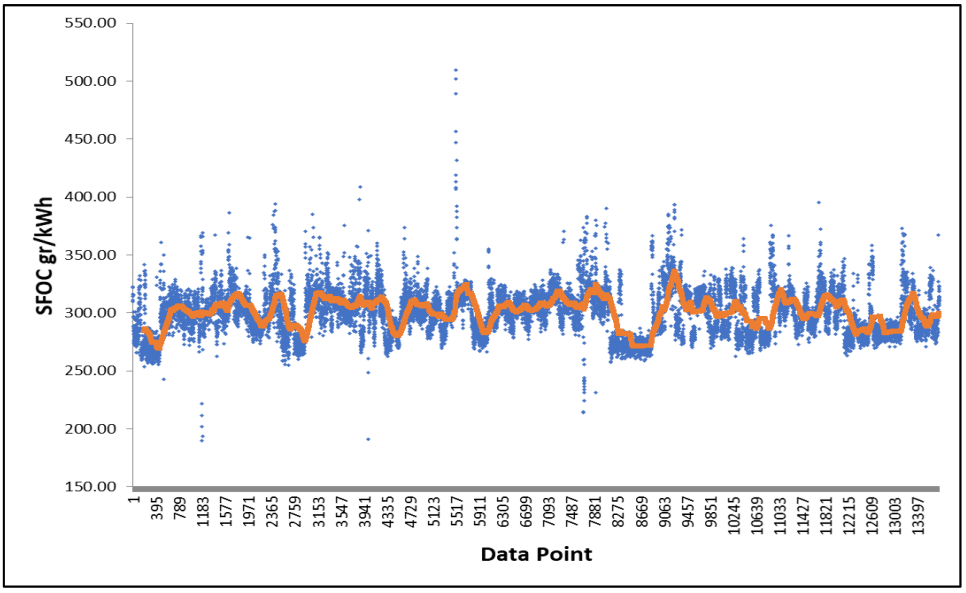
Σύμφωνα με το ιστόγραμμα και τον πίνακα της ηλεκτρογεννήτριας 1 ως προς την κατανάλωση καυσίμου, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο κομμάτι της κυμαίνεται από τα 250 έως 350 gr/kWh με ελάχιστες ακραίες τιμές.

Στην συνέχεια ακολουθεί ο μέσος όρος τιμών ανά 5 λεπτά (30 και 60 λεπτά στο παράρτημα) για το διάγραμμα SFOC/TIME κατά το οποίο γίνεται η απαραίτητη παρακολούθηση για την απόδοση στον χρόνο.

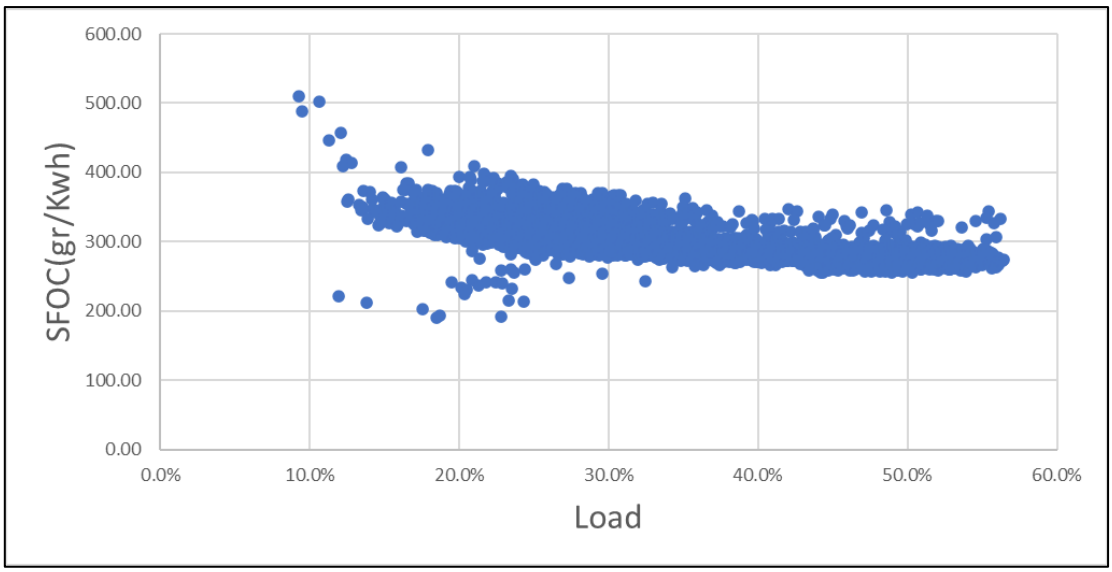


Διάγραμμα 23 : Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG1

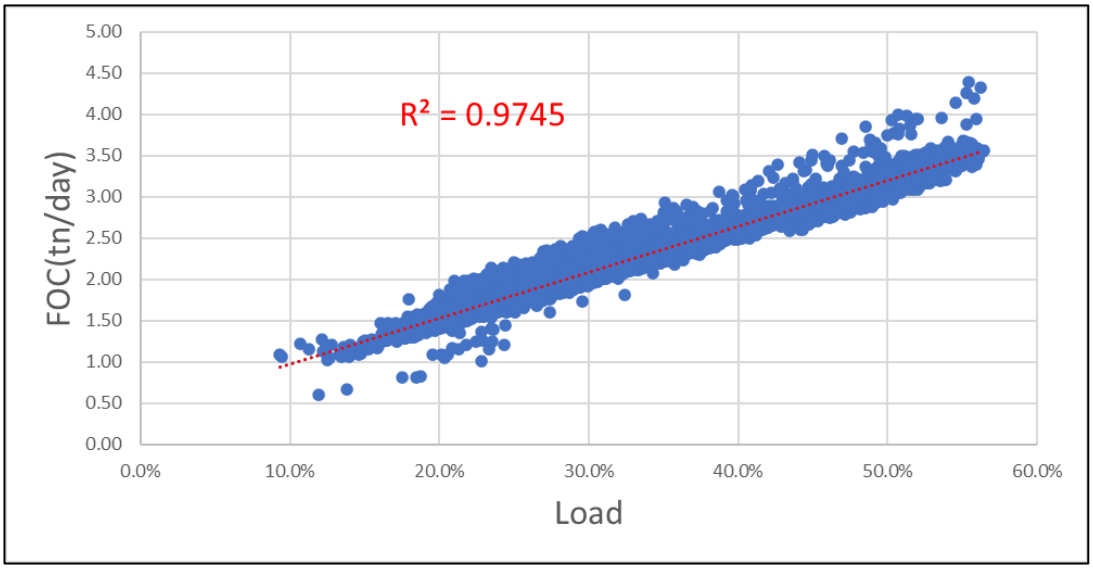
Στα παραρτήματα με την εντολή AVERAGE(OFFSET(A2,30*(ROW()-ROW(A2)),0,30,1)) και AVERAGE(OFFSET(A2,60*(ROW()-ROW(A2)),0,60,1)) έγινε η ανάρτηση των αντίστοιχων ακριβώς διαγραμμάτων με μικρότερη δηλαδή συχνότητα και για τις τρείς ηλεκτρογεννήτριες. Εν τέλει για την DG1 ακολουθούν τα διαγράμματα ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και κατανάλωσης καυσίμου ανά ημέρα ως προς το φορτίο της μηχανής. Παρακάτω παρουσιάζεται και ο κυλιόμενος μέσος της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου ανά 200 σημεία των δεδομένων.



Διάγραμμα 24: Κυλιόμενος μέσος όρος για την ειδική κατανάλωση καυσίμου DG1 (πορτοκαλί)



Διάγραμμα 25 : Κατανάλωση καυσίμου ως προς φορτίο για DG1

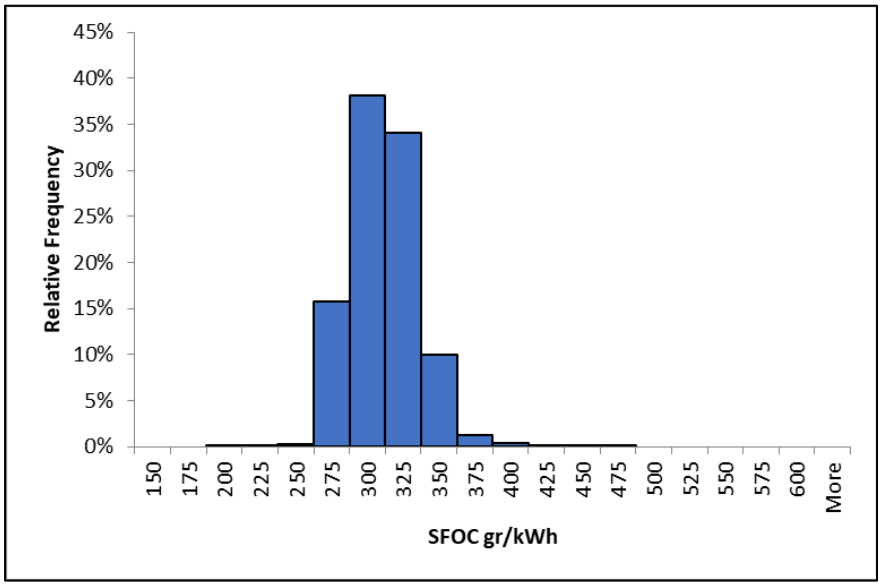


Διάγραμμα 26 : Κατανάλωση καυσίμου ανά ημέρα ως προς φορτίο για DG1

Από τα ιστογράμματα ειδικής κατανάλωσης επαληθεύεται και εδώ ότι οι ηλεκτρογεννήτριες λειτουργούν στο εύρος 200 έως 400 gr/kWh στην DG1 επίσης καθώς αυξάνεται το φορτίο παρατηρείται μια σύγκλιση των τιμών στα 250 gr/kWh.

Ηλεκτρογεννήτρια 2 DG2 Ιστόγραμμα, (SFOC,Time), (SFOC,Load) (FOC,Load)

Στη συνέχεια αποδίδεται η ειδική κατανάλωση καυσίμου σε ιστόγραμμα της δεύτερης ηλεκτρογεννήτριας, όπου η μέγιστη τιμή των δεδομένων είναι στα 453 gr/kWh.



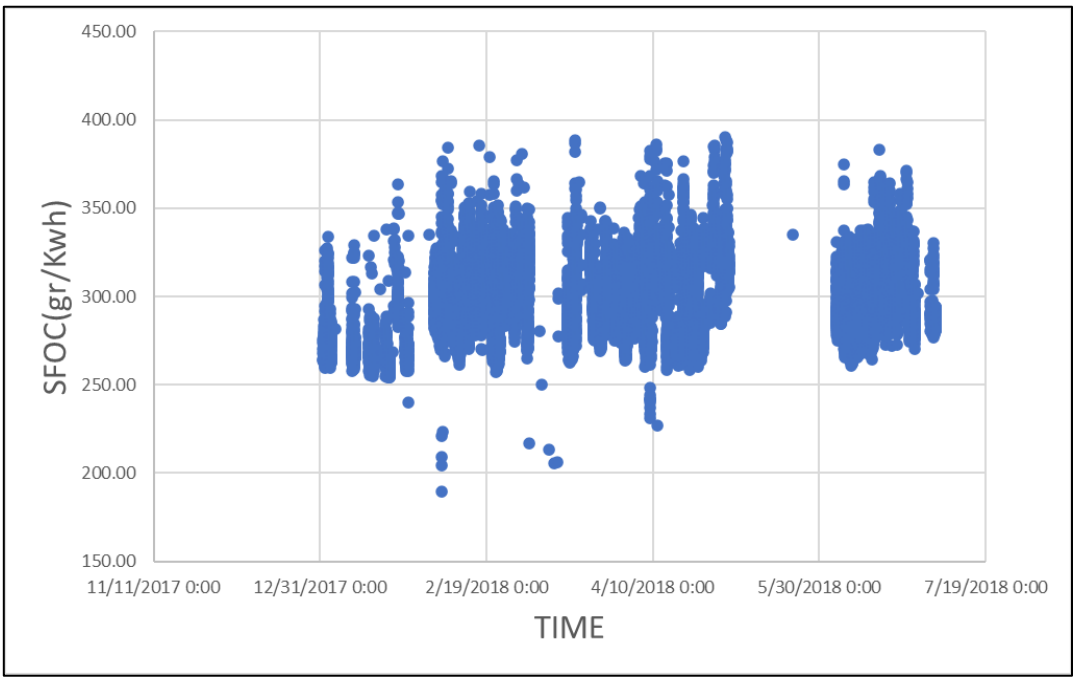
Διάγραμμα 27 : Ιστόγραμμα για DG2 SFOC

SFOC (gr/kWh)	*Relative Frequency*
150	0.000%
175	0.000%
200	0.016%
225	0.037%
250	0.242%
275	15.759%
300	38.200%
325	34.114%
350	10.001%
375	1.280%
400	0.322%
425	0.023%
450	0.006%
475	0.001%
500	0.000%
525	0.000%
550	0.000%
575	0.000%
600	0.000%

Πίνακας 15: Αριθμός σημείων ανά εύρος 25 gr/kWh του φορτίου

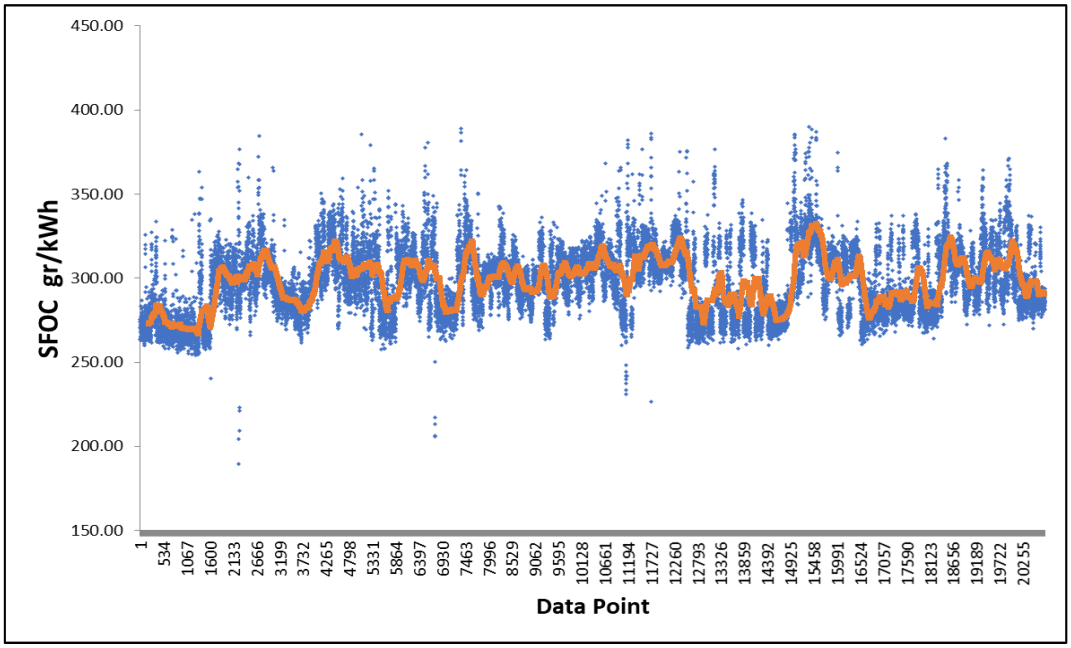
Από το ιστόγραμμα της κατανάλωσης καυσίμου παρατηρείται ότι όπως η DG1 έτσι και DG2 καταναλώνει καύσιμο κυρίως για το εύρος των 250 έως 350 gr/kWh ακριβώς με την ίδια τάση όπως της DG1.

Μέσος όρος τιμών ανά 5 (30 και 60 λεπτά στο παράρτημα) για διάγραμμα κατανάλωσης καυσίμου στο χρόνο SFOC/TIME.



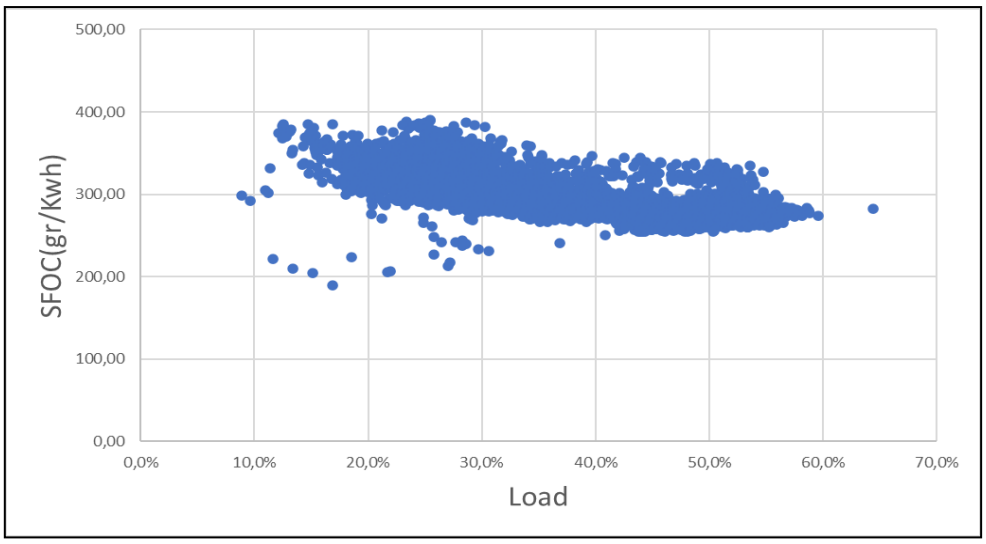
Διάγραμμα 28 : Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG2

Με τον κυλιόμενο μέσο όρο

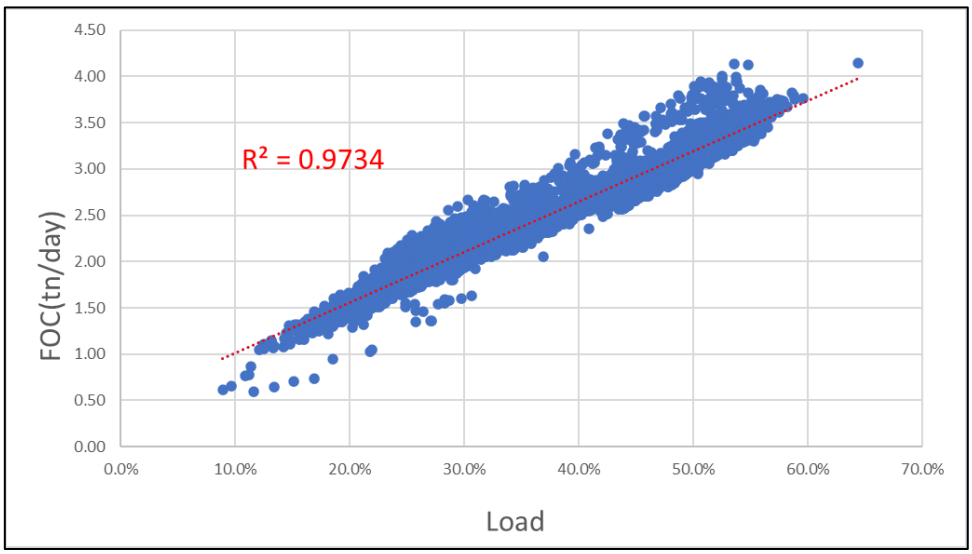


Διάγραμμα 29 : Κυλιόμενος μέσος όρος για την ειδική κατανάλωση καυσίμου DG2 (πορτοκαλί)

Και εν τέλει για την DG2 ακολουθούν τα διαγράμματα ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και κατανάλωσης καυσίμου ανά ημέρα ως προς το φορτίο της μηχανής.



Διάγραμμα 30 : Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG2

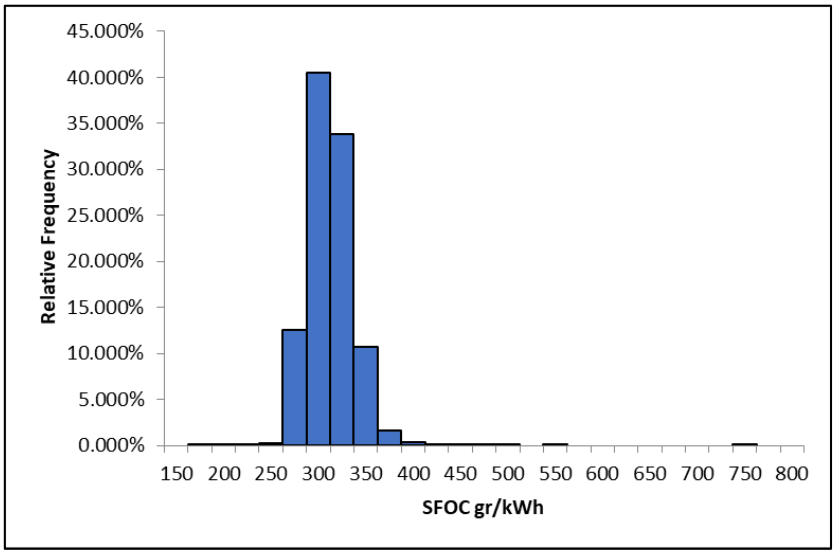


Διάγραμμα 31 : Κατανάλωση καυσίμου ανά ημέρα ως προς φορτίο για DG2

Για την γεννήτρια 2 παρατηρείται ότι λειτουργεί περίπου με τον ίδιο τρόπο όπως η DG1 πιο συγκεκριμένα και αυτή συγκλίνει στα 250 gr/kWh χωρίς ιδιαίτερη διαφορά με την μόνη ότι γενικά η DG2 χρονικά για τους 6 μήνες που μελετάται έχει λειτουργήσει περισσότερο από όλες. Συνεπώς παρατηρείται ότι η DG2 λειτουργεί στα ίδια φορτία και έχεις τι ίδιες καταναλώσεις για υψηλότερη συχνότητα. Αυτό επαληθεύεται και στο προηγούμενο κεφάλαιο όπου παρατηρήθηκε από το ιστόγραμμα του φορτίου η ίδια περίπου τάση λειτουργίας και των δύο DG.

Ηλεκτρογεννήτρια 3 DG3 Ιστόγραμμα, (SFOC,Time), (SFOC,Load) (FOC,Load)

Στη συνέχεια αποδίδεται και η ειδική κατανάλωση καυσίμου σε ιστόγραμμα, όπου η μέγιστη τιμή των δεδομένων είναι στα 725 gr/kWh.



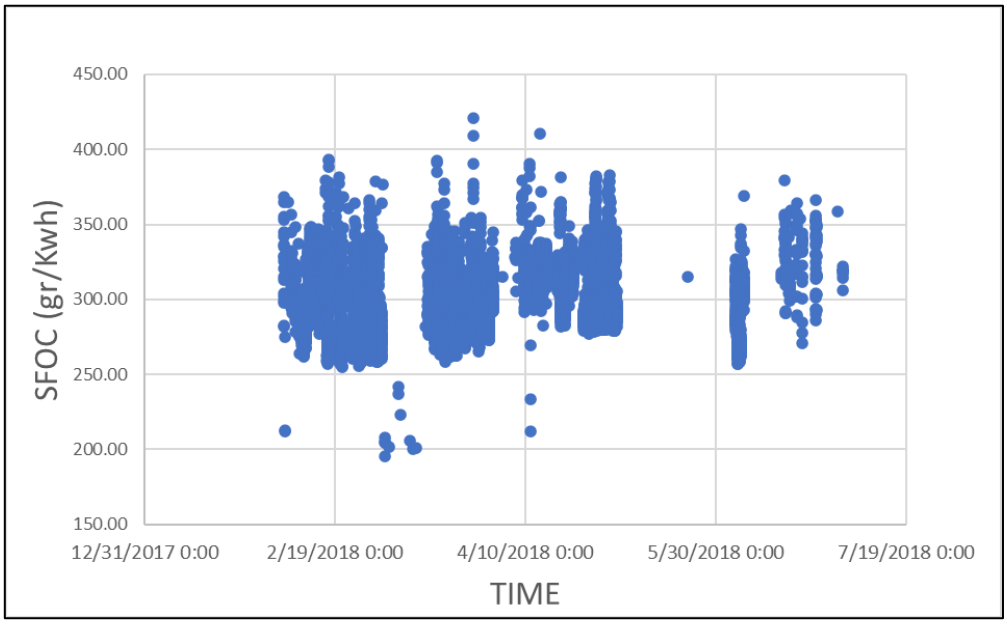
Διάγραμμα 32 : Ιστόγραμμα για DG3 SFOC

SFOC (gr/kWh)	*Relative Frequency*
150	0.000%
175	0.001%
200	0.027%
225	0.075%
250	0.239%
275	12.591%
300	40.505%
325	33.884%
350	10.658%
375	1.577%
400	0.370%
425	0.057%
450	0.006%
475	0.003%
500	0.001%
525	0.000%
550	0.004%
575	0.000%
600	0.000%
625	0.000%
650	0.000%
675	0.000%
700	0.000%
725	0.000%
750	0.001%
775	0.000%
800	0.000%

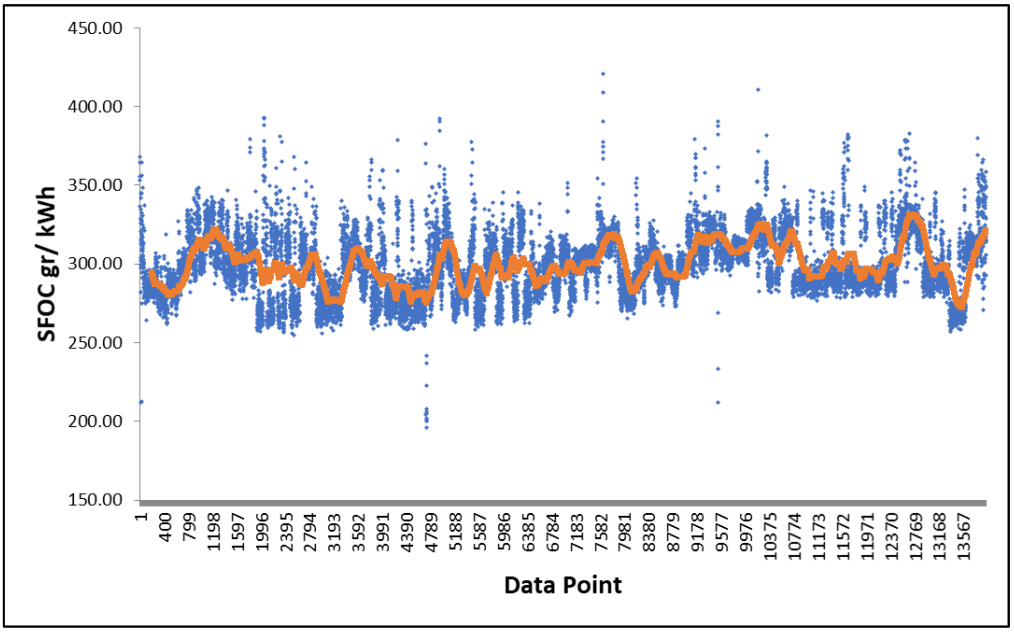
Πίνακας 16: Αριθμός σημείων ανά εύρος 25 gr/kWh του φορτίου

Από το τελευταίο ιστόγραμμα κατανάλωσης καυσίμου της DG3 γίνεται κατανοητό ότι και οι 3 ηλεκτρογεννήτριες λειτουργούν κυρίως στο εύρος 250 έως 375 gr/kWh. Μετέπειτα το Box plot ισχύος όταν η ηλεκτρογεννήτρια λειτουργεί πλήρως μόνης της και σε παραλληλία καθώς και το διάγραμμα κατανάλωσης καυσίμου ως προς το χρόνο.

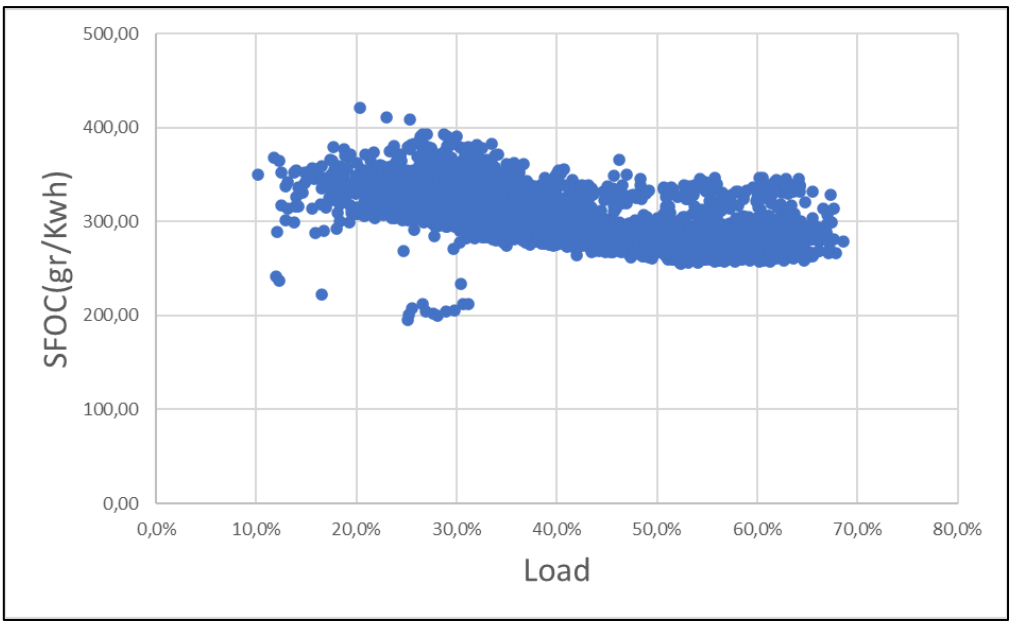
Μέσος όρος τιμών ανά 5 και 30 λεπτά για διαγράμματα κατανάλωσης καυσίμου στο χρόνο SFOC/TIME FOC/LOAD και SFOC/LOAD.



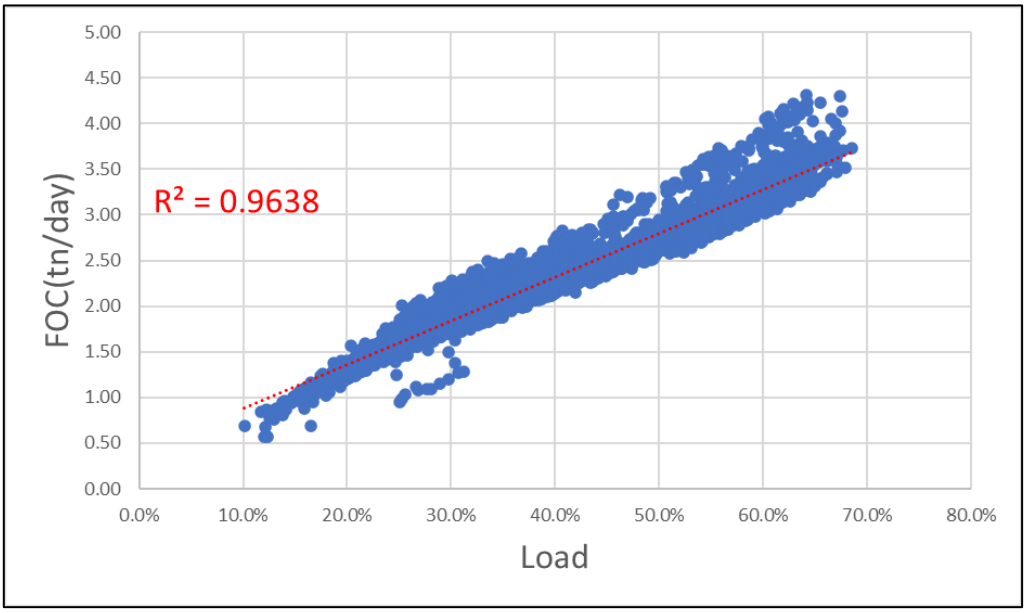
Διάγραμμα 33 : Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG3



Διάγραμμα 34: Κυλιόμενος μέσος όρος για την ειδική κατανάλωση καυσίμου DG2 (πορτοκαλί)



Διάγραμμα 35 : Κατανάλωση καυσίμου ως προς φορτίο για DG3



Διάγραμμα 36 : Κατανάλωση καυσίμου ανά ημέρα ως προς φορτίο για DG3

Στην DG3 όπως και στο ιστόγραμμα του φορτίου της παρατηρείται η σύγκλιση να έχει διαφορετικές τιμές πιο συγκεκριμένα παρατηρείται μια μικρή προσαύξηση στα 280 gr/kWh. Αυτό δείχνει ότι αν μια DG όπως η 3 λειτουργεί πιο συχνά σε υψηλότερα φορτία είναι και αναμενόμενο να φθείρονται κάποια μηχανικά μέρη της γεννήτριας και να οδηγεί αυτό σε προοδευτική αύξηση της κατανάλωσης.

◊ Κεφάλαιο 4 ◊

Επιλογή φυσικών παραμέτρων για τους δείκτες παρακολούθησης

4.1 Έλεγχος για δείκτες απόδοσης και πραγματικό performance των ηλεκτρομηχανών

Στο συγκεκριμένο εδάφιο θα παρουσιαστούν οι παράμετροι μέσων των οποίων θα γίνει εμφανές ένα μέρος της λειτουργείας των ηλεκτρογεννητριών βάση των πραγματικών τους τιμών και συνεπώς θα μπορούν από εκεί να διεξαχθούν συμπεράσματα. Παρακάτω θα γίνει παρουσίαση της μεθοδολογίας κατά την οποία επιλέχθηκαν δύο παράμετροι που αφορούν την μέση θερμοκρασία των καυσαερίων από όλους τους κυλίνδρους κατά την έξοδο τους μετά την καύση και την θερμοκρασία των καυσαερίων κατά την εισαγωγή τους στον στροβιλοσυμπιεστή. Και οι δύο παράμετροι θα χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστεί ο παρακάτω τύπος και θα τους αποδώσουμε σε διαγράμματα ως προς τον χρόνο:

$$KPI = \frac{Πραγματική - Αναμενόμενη}{Αναμενόμενη}$$

Ο συγκεκριμένος τύπος θα ελέγξει την απόδοση των ηλεκτρογεννητριών ως προς τα άνω φυσικά μεγέθη που ορίστηκαν. Οι υπολογισμοί καθώς και οι αντίστοιχες διαγραμματικές αναπαραστάσεις των δεικτών απόδοσης θα γίνουν ομοίως για 5 λεπτά, 30 λεπτά και 60 λεπτά.

Οι παράμετροι επιλέχθηκαν κατά το κριτήριο του γραμμικού συντελεστή συσχέτισης Pearson και αργότερα θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των δεικτών απόδοσης. Αυτό συνέβη για την διερεύνηση του ποιοι παράμετροι σχετίζονται μεταξύ τους, έτσι ώστε να ενταχθούν σε ένα δείκτη απόδοσης. Πιο συγκεκριμένα ο παρακάτω πίνακας εκφράζει τις σχέσεις αυτές και ποιες μεταβλητές επιλέξαμε μετά την εφαρμογή του τύπου.

$$\rho_{xy} = \frac{COVARIANCE(X,Y)}{St.dex(X) * St.dev(Y)}$$

όπου X,Y οι μεταβλητές προς ανάλυση για κάποιο ενδεχόμενο δείκτη απόδοσης.

Μετά από πράξεις για τις μεταβλητές (όπως είναι στην εικόνα) Cooling air temperature,Την μέση τιμή της θερμοκρασίας στην έξοδο των κυλίνδρων (Tav Cylinder exhaust gas), FOC, Lo inlet pressure, Lo inlet temp, T/C exhaust gas inlet temp και Load παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας ο οποίος προέκυψε από τις μετρήσεις των αισθητήρων με τις πραγματικές-actual τιμές. Ο συγκεκριμένος πίνακας αφορά την ηλεκτρογεννήτρια 1 και βάση αυτού επεξηγείται ο λόγος που επιλέχθηκαν τα συγκεκριμένα φυσικά μεγέθη για τους δείκτες απόδοσης, παρακάτω θα παρουσιαστούν και τα αντίστοιχα ρ_{xy} για τις ηλεκτρογεννήτριες 2 και 3 ως προς τα φυσικά μεγέθη που προτιμήθηκαν. Ο πίνακας έγινε στο excel με τις εντολές COVARIANCE.P και St.DEVP που υπολογίζει τα συγκεκριμένα μεγέθη για τον ολόκληρο πληθυσμό των ορισμάτων.

	Cooling air temp	Tav cylinder temp	FOC	Lo inlet press	Lo inlet temp	T/C exhaust gas temp	Load
Cooling air temp		0.71	0.64	0.15	0.72	0.74	0.64
Tav cylinder temp			0.84	0.04	0.46	0.93	0.84
FOC				0.02	0.31	0.84	0.99
Lo inlet press					0.03	-0.02	0.00
Lo inlet temp						0.44	0.30
T/C exhaust gas temp							0.85
Load							1

Πίνακας 17: Εφαρμογή του συντελεστή Pearson για έρευνα δεικτών απόδοσης

Σύμφωνα με τον πίνακα οι μεταβλητές Tav cylinder temp , T/C exhaust gas temp ως προς το φορτίο load των μηχανών κρίθηκαν ως συνδυασμοί ικανοποιητικοί για να προχωρήσει η μελέτη της λειτουργείας των ηλεκτρογεννητριών. Οι τιμές αυτές επειδή έχουν υπολογιστεί από τα shop tests των ηλεκτρογεννητριών προσφέροντας έγκυρα θεωρητικά δεδομένα, προτιμήθηκαν μιας και μπορούν να συγκριθούν ως σημεία αναφοράς θεωρητικά-reference έναντι των πραγματικών-actual τιμών. Παρακάτω θα γίνει παρουσίαση του κάθε δείκτη απόδοσης ξεχωριστά σε κάθε κεφάλαιο καθώς και το πως υπολογίστηκε από τον υπολογισμό του φυσικού το μεγέθους έως το KPI του.

Οι δείκτες αυτοί θα χρειαστούν στον έλεγχο και την αξιολόγηση του συστήματος των τριών ηλεκτρομηχανών ως προς την λειτουργεία τους. Η ενεργειακή απόδοση των ηλεκτρομηχανών είναι ένα σημαντικό κομμάτι της αξιολόγησης αυτής και οι δείκτες θα χρησιμεύσουν ώστε σε περίπτωση που παρατηρηθεί κάποια δυσλειτουργία ή μη αναμενόμενη συμπεριφορά στο σύστημα να ελέγχεται αναδρομικά από τους δείκτες άμεσα και αποδοτικά ο εντοπισμός του προβλήματος καθώς και η ίδια του η λύση.

◊ Κεφάλαιο 5 ◊

Δείκτης απόδοσης της μέσης θερμοκρασίας καυσαερίων T_{av}

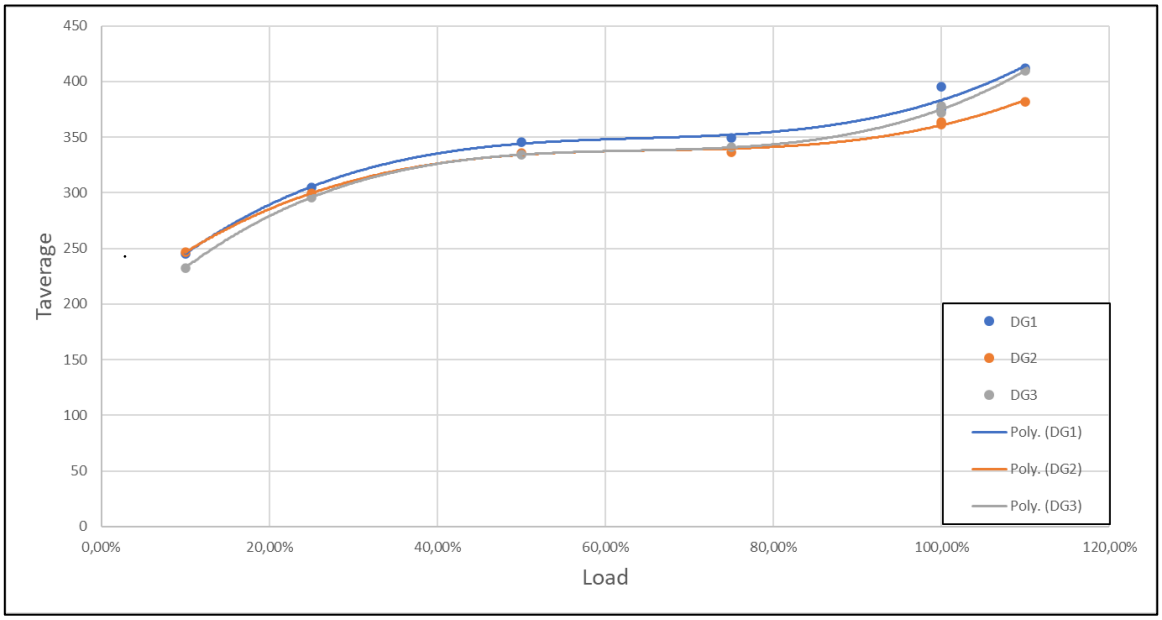
Από τα δεδομένα που είχαν ληφθεί κατά την εκπόνηση της διπλωματικής, κάποια από αυτά αφορούσαν την θερμοκρασία των καυσαερίων μετά την καύση σε κάθε κύλινδρο, έχοντας όλα τα απαραίτητα στοιχεία από τα shop tests δύναται να γίνει ένας έλεγχος της απόδοσης των ηλεκτρογεννητριών με γνώμονα τα στοιχεία κατά του πίνακα 14. Η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι ένα σημαντικό ζήτημα για την καλή λειτουργεία και απόδοση του συστήματος των ηλεκτρογεννητριών, διότι αυτές αποτελούνται ουσιαστικά από μηχανικά μέρη που αναπτύσσουν υψηλές ταχύτητες (γραμμικές και γωνιακές) αλλά και από μηχανισμούς και υδραυλικά συστήματα που είναι απαραίτητο να λειτουργούν και αυτά συγχρόνως αποτελεσματικά στο μικρό χρονικό περιθώριο που τους δίνεται λόγω αυτών των υψηλών ταχυτήτων. Συνεπώς η δημιουργία ενός δείκτη που να ελέγχει την θερμοκρασία των καυσαερίων κρίθηκε απαραίτητη, διότι με την επιτυχή εισαγωγή ενός σαν αυτού δύναται να περιοριστεί και επιταχυνθεί ο έλεγχος και αξιολόγηση μιας ηλεκτρογεννήτριας σε περίπτωση που παρουσιάζει μια απόκλιση από τα shop tests για σημαντικούς λόγους, όπως ένα σύστημα εισαγωγής καυσίμου που θα μπορούσε να παρουσιάσει κάποια δυσλειτουργία (όπως πρόωρη ή καθυστερημένη έγχυση καυσίμου λόγω κάποιου μηχανικού σφάλματος), ένα σύστημα εισαγωγής λαδιού ή νερού (servo oil, cooling water system) για την λίπανση και ψύξη των χιτωνίων και εμβόλων όπου εκεί πιθανά κάποια διαρροή-leakage να επηρέαζε αρκετά τις αναμενόμενες τιμές καθώς και την ενδεχόμενη αστοχία πιο μικρών εξαρτημάτων της γεννήτριας όπως των δαχτυλιδιών που βοηθούν το έμβολο να κινείται επί του χιτωνίου ή των βαλβίδων από τις οποίες γίνεται η εξαγωγή των καυσαερίων για τον κάθε κύλινδρο. Γίνεται κατανοητό ότι για την αντιμετώπιση αυτής της φύσης ζητημάτων η εισαγωγή ενός δείκτη όπως αυτού θα βοηθούσε στην αξιολόγηση και έλεγχο της απόδοσης των τριών ηλεκτρογεννητριών.

4.1 Ορισμός μεταβλητής T_{AV} για το μέγεθος της μέσης θερμοκρασίας των καυσαερίων από όλους τους κυλίνδρους κατά την έξοδο τους μετά την καύση.

Προκειμένου να γίνει ο έλεγχος αυτός χρειάζεται πρώτα να δημιουργηθεί μία συνάρτηση που να μπορεί να προβλέπει τις αναμενόμενες τιμές της μέσης θερμοκρασίας των καυσαερίων. Μετά από την εισαγωγή δεδομένων και δοκιμών αποφασίστηκε η δημιουργία ενός πολυωνύμου τρίτου βαθμού το οποίο λειτουργεί αρκετά καλά και προσεγγίζει με ακρίβεια τις τιμές των shop tests για τα φορτία που τρέχει μια ηλεκτρογεννήτρια. Σύμφωνα με τα πραγματικά δεδομένα τα ιστογράμματα των φορτίων δείχνουν ότι οι ηλεκτρογεννήτριες λειτουργούν μέχρι και το 70% , όπου το πολυώνυμο που αναπτύχθηκε έχει αρκετά καλή προσέγγιση προσφέροντας την δυνατότητα σύγκρισης των πραγματικών μέσων θερμοκρασιών όπως υπολογίστηκε στο excel με αυτό των αναμενόμενων για τα αντίστοιχα φορτία που λειτούργησαν οι ηλεκτρογεννήτριες. Σύμφωνα με αυτά παρατίθεται η εξίσωση με τις εντολές που χρησιμοποιήθηκαν στο excel για τον υπολογισμό των πραγματικών και αναμενόμενων μέσων τιμών.

$$AVERAGE = \begin{cases} \text{Cylinder 1 exhaust temp} \\ \text{Cylinder 2 exhaust temp} \\ \text{Cylinder 3 exhaust temp} \\ \text{Cylinder 4 exhaust temp} \\ \text{Cylinder 5 exhaust temp} \\ \text{Cylinder 6 exhaust temp} \end{cases}$$

Μετά τον υπολογισμό αυτό δημιουργήθηκαν και οι best fit καμπύλες για το συγκεκριμένο μέγεθος σύμφωνα με τα test records, έτσι ώστε να υπάρχει και ένα διάγραμμα που να προσφέρει ένα μέτρο σύγκρισης σε σχέση με τις πραγματικές τιμές. Το διάγραμμα αφορά την μέση θερμοκρασία των καυσαερίων από όλους τους κυλίνδρους κατά την έξοδο τους από αυτούς αμέσως μετά την καύση και θα παρουσιαστεί και μετέπειτα σε σχέση με τις πραγματικές για κάθε DG.



Διάγραμμα 37 : Αναπαράσταση των τιμών των test records και των τριών DG για Taverage

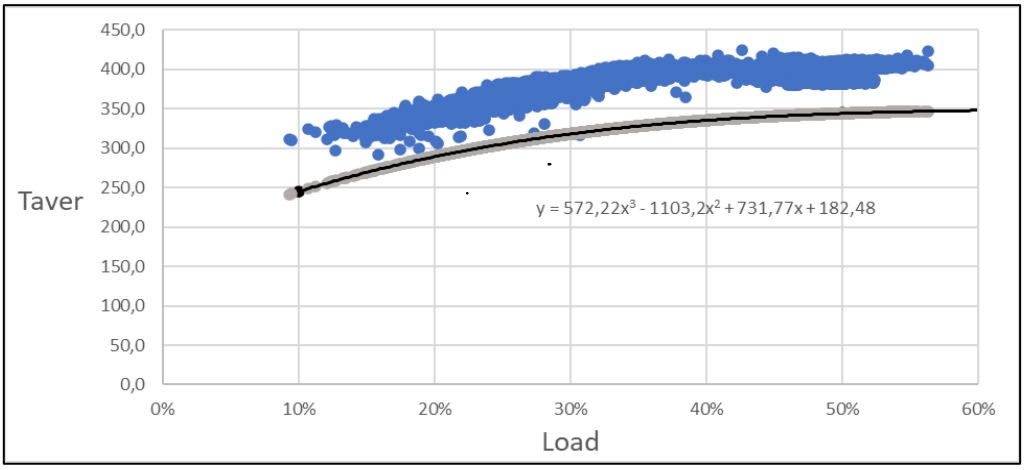
Όπως παρατηρείται για φορτία έως και 70% έχει καλή προσέγγιση των τιμών από τα test records συνεπώς θα συνεχιστεί ο υπολογισμός των δεικτών απόδοσης με αυτές τις καμπύλες.

4.2 Παρουσίαση της μεταβλητής T_{AV} και του KPI για τα πραγματικά και αναμενόμενα δεδομένα με διαγραμματικές αναπαραστάσεις.

Λόγω μεγάλου όγκου δεδομένων η παρουσίαση της μεταβλητής και του δείκτη απόδοσης της θα γίνει με την συχνότητα των 5 λεπτών, όπως και στην παρουσίαση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Για τις μεγαλύτερες συχνότητες των 30 και 60 λεπτών τα διαγράμματα βρίσκονται στο παράρτημα.

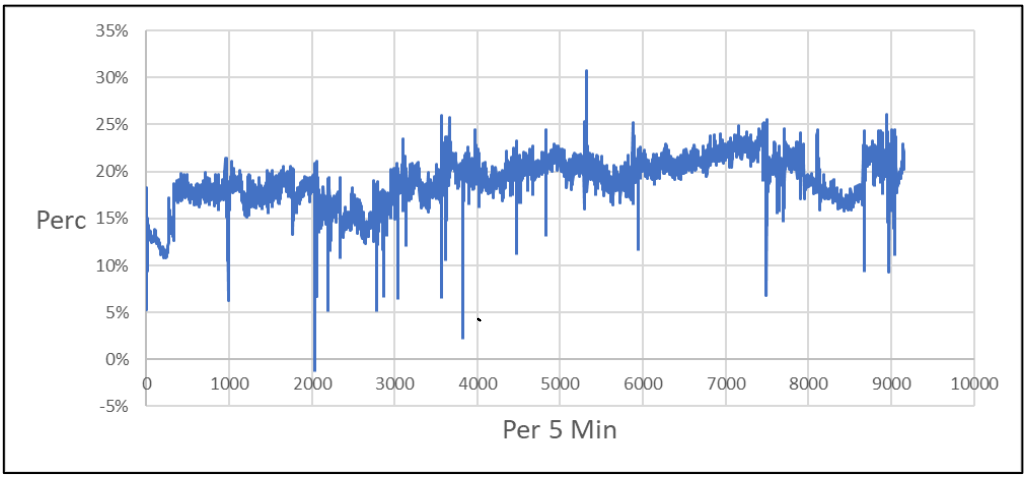
<u>Πρώτη ηλεκτρογεννήτρια DG1.</u>

Δείκτης για T_{AV} με πολυώνυμο $572 * x^3 - 1103.2 * x^2 + 731 * x + 182.48$



Διάγραμμα 38 : Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του TAV DG1

Και αντίστοιχο συντελεστή απόδοσης $KPI = \frac{T_{AV\ ACT} - T_{AV\ EXP}}{T_{AV\ EXP}}$ κατά το οποίο παράγεται αντίστοιχο διάγραμμα.



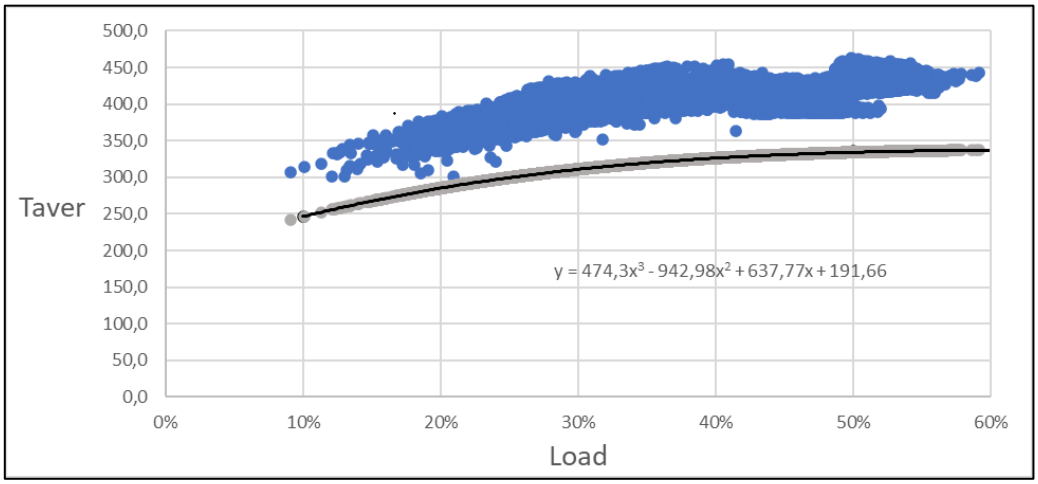
Διάγραμμα 39 : Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του TAV DG

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα υπάρχει μια αύξουσα τάση του δείκτη περίπου από το 15% έως 25% με λίγες και έντονες αποκλίσεις καθώς περνάει ο χρόνος. Αυτό μπορεί να δικαιολογείται στο

γεγονός ότι τα test records έλαβαν χώρα σε ιδανικές συνθήκες σε σχέση με την λειτουργεία της DG1 σε λειτουργεία κατά την ώρα υπηρεσίας στην θάλασσα ή σε κάποιο λιμάνι.

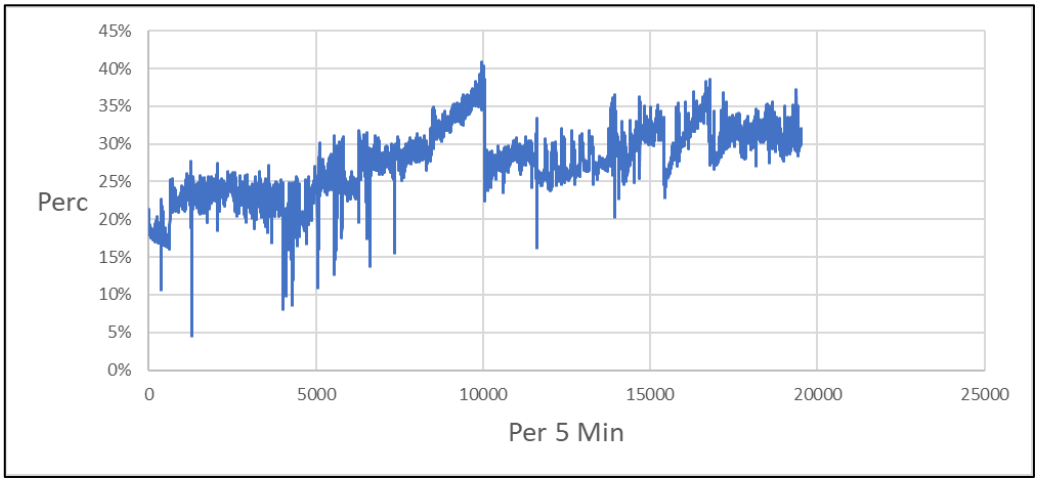
Δεύτερη ηλεκτρογεννήτρια DG2.

Δείκτης για T_{AV} με πολυώνυμο $473.3 * x^3 - 942.98 * x^2 + 637.77 * x + 191.66$



Διάγραμμα 40 : Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του TAV DG2

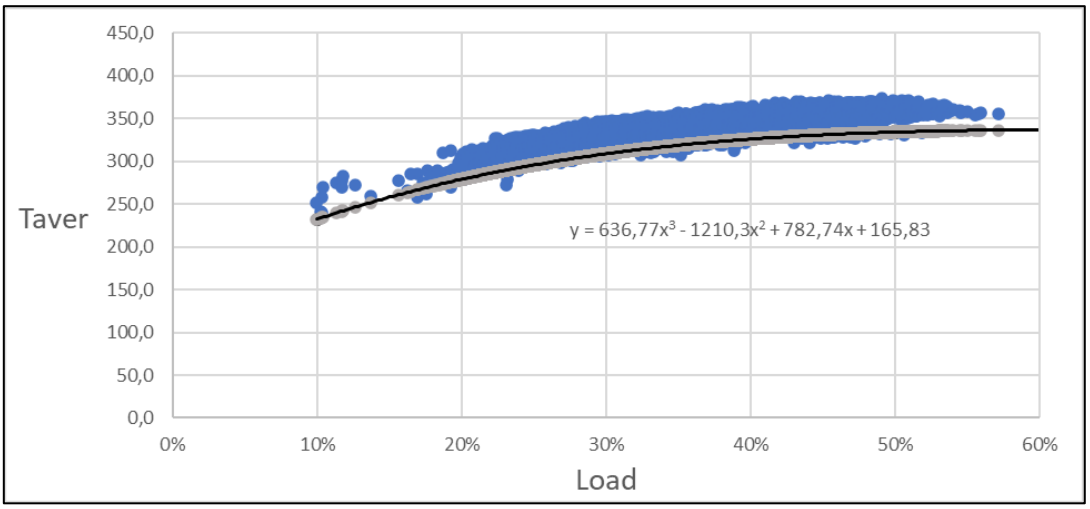
Εδώ παρατηρείται σε σχέση με την DG1 μια μεγαλύτερη μετατόπιση των πραγματικών τιμών έναντι των αναμενόμενων και πράγματι με την διαγραμματική αναπαράσταση του δείκτη απόδοσης της δεύτερης ηλεκτρογεννήτριας φαίνεται να ξεκινάει όπως η DG1 στο 15% και μετά να έχει έντονη ανοδική τάση στο 40% για να πέσει απότομα στο 25% και να αρχίσει πάλι μια αύξουσα συμπεριφορά προς το 30% με 35%. Παρατηρείται και εδώ μια σταθερή μετατόπιση η οποία συνοδεύεται ενδιάμεσα με μια έντονη απόκλιση.



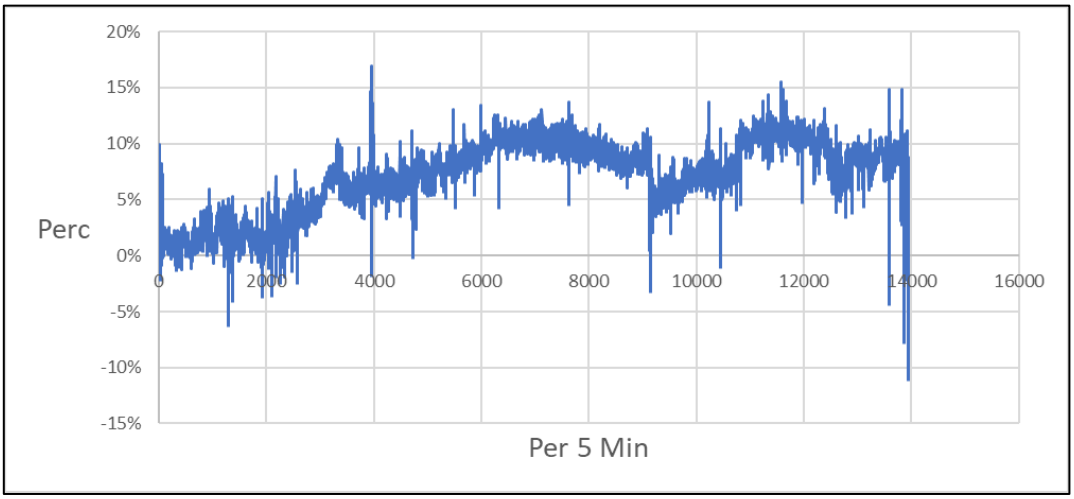
Διάγραμμα 41 : Δείκτης απόδοσης του TAV DG2

Τρίτη ηλεκτρογεννήτρια DG3.

Δείκτης για T_{AV} με πολυώνυμο $636.77 * x^3 - 1210.32 * x^2 + 782.74 * x + 165.83$



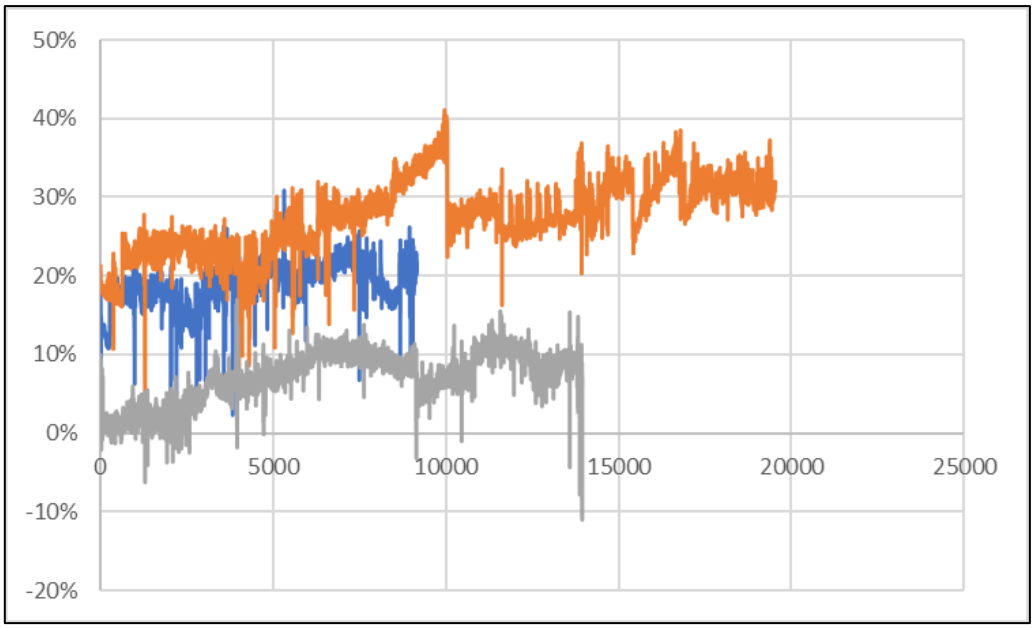
Διάγραμμα 42 : Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του TAV DG3



Διάγραμμα 43 : Δείκτης απόδοσης του TAV DG3

Παρατηρείται μια τάση όπως της DG2 όπου υπάρχει άνοδος στην μέση του χρονικού διαστήματος λειτουργίας, ωστόσο για πολύ μικρότερη απόκλιση και καλή συμπεριφορά με όρια που ξεκινούν περίπου στο εύρος 0 έως 5% και μέγιστα στο εύρος 10 έως 15% με λίγες έντονες αποκλίσεις.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά σε ένα ενιαίο διάγραμμα και οι τρείς ηλεκτρογεννήτριες με τα KPI τους.

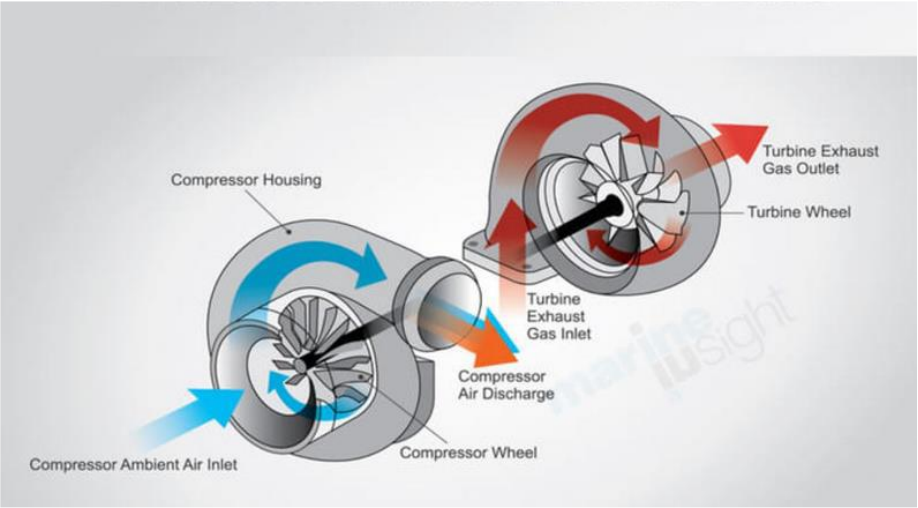


Διάγραμμα 44 : Δείκτες απόδοσης του TAV των DG μπλε 1, πορτοκαλί 2 , γκρι 3

◊ Κεφάλαιο 6 ◊

Δείκτης απόδοσης της θερμοκρασίας καυσαερίων στον στροβιλοσυμπιεστή T/C TEMP

Στην παρούσα διπλωματική θα εισαχθεί ένας ακόμα δείκτης απόδοσης και είναι αυτός που υπολογίστηκε από την ενότητα 3 με την βοήθεια του Pearson correlation factor κατά τον οποίο βρέθηκε ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας των καυσαερίων κατά την εισαγωγή τους στον στροβιλοσυμπιεστή ως προς το φορτίο της μηχανής εκείνη την χρονική στιγμή. Ο στροβιλοσυμπιεστής είναι ένα σημαντικό μέρος των ηλεκτρογεννητριών που βοηθάει στην διαδικασία της αναπνοής κατά την καύση μιας και δίνει την κατάλληλη παροχή αέρα ώστε να εξασφαλιστεί μια ικανοποιητική καύση. Οι ηλεκτρογεννήτριες που μελετώνται χρειάζονται για την σωστή καύση καλή παροχή αέρα η οποία δίνεται με την εκμετάλλευση της ενέργειας της από την θερμοκρασία των καυσαερίων που έχουν ως αποτέλεσμα την κίνηση των πτερυγίων της τουρμπίνας. Αυτό ως αποτέλεσμα έχει την κίνηση των πτερυγίων του συμπιεστή η οποία δημιουργεί διαφορά πίεσης και εισάγει τον αέρα με υψηλότερη πίεση.



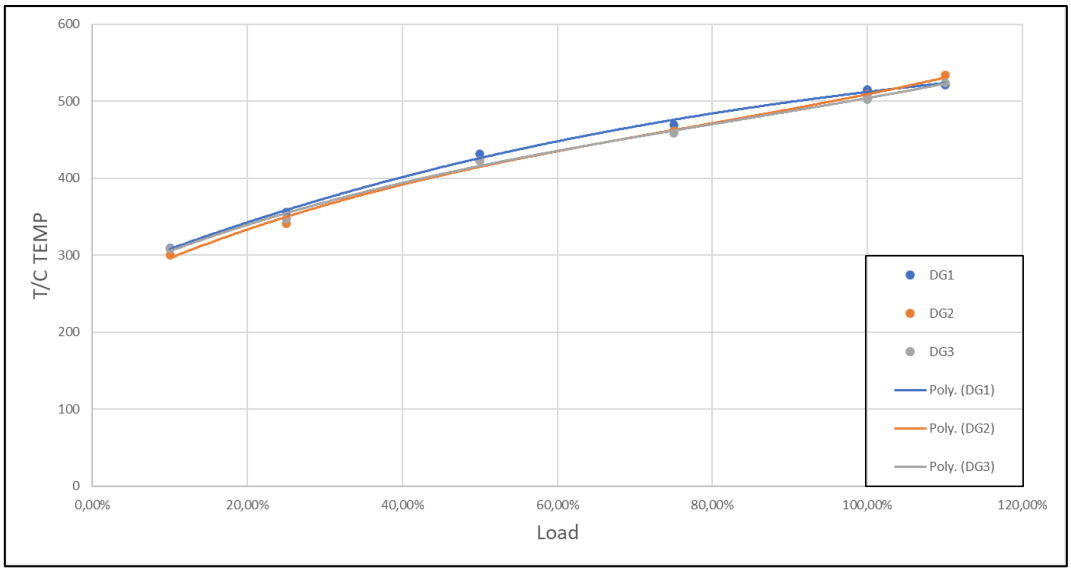
Εικόνα 7 : Δείκτες απόδοσης του TAV των DG από την διπλωματική του Φώτη Κόντη

Στην συγκεκριμένη περίπτωση θα εξεταστεί ο δείκτης απόδοσης για την θερμοκρασία των καυσαερίων στην είσοδο της τουρμπίνας που θα δώσει την έναρξη στην διαδικασία που μόλις περιεγράφηκε. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω των πραγματικών δεδομένων που έχουν ληφθεί από τους αισθητήρες και των αναμενόμενων με την βοήθεια των πινάκων (2,3,4) από τους οποίους θα δημιουργηθούν τα κατάλληλα πολυώνυμα που θα βρίσκουν το αντίστοιχο Common Exhaust ως προς το φορτίο. Έτσι θα μπορέσει να γίνει μια αξιολόγηση αν τα καυσαέρια εισέρχονται με την κατάλληλη θερμοκρασία στην τουρμπίνα, ώστε να συμπιεστεί ο αέρας και να γίνει μια σωστή καύση. Αν παρατηρηθεί κάποια δυσλειτουργία μέσω του δείκτη τότε μπορεί να ελεγχθεί το κομμάτι της ηλεκτρογεννήτριας, το οποίο να είναι υπεύθυνο για κάποια μη αναμενόμενη πτώση ή αύξηση της θερμοκρασίας αμέσως μετά την καύση πριν την εισαγωγή των καυσαερίων στον στροβιλοσυμπιεστή.

5.1 Ορισμός μεταβλητής T/C TEMP για το μέγεθος θερμοκρασία των καυσαερίων κατά την εισαγωγή τους στον στροβιλοσυμπιεστή

Σε αυτήν την περίπτωση χάρη στην μεταβλητή Common Exhaust Temperature από τα shop tests γίνεται άμεσα εφικτό να υπολογιστούν οι δείκτες απόδοσης ως προς το φυσικό μέγεθος TC EXH GAS INLET TEMP ώστε να λάβει χώρα έλεγχος και έρευνα για συμπεράσματα. Και εδώ στόχος ήταν να παραχθούν πρώτα πολυώνυμα δευτέρου βαθμού προκειμένου να προσεγγίσουν τις τιμές αναφοράς με ικανοποιητική ακρίβεια. Μετέπειτα για τις αντίστοιχες τιμές φορτίου των πραγματικών τιμών υπολογίστηκαν οι θεωρητικές αναμενόμενες που θα είχε η κάθε ηλεκτρογεννήτρια βάση των shop tests και μετά αυτές συγκρίθηκαν με τις πραγματικές actual που μέτρησαν οι αισθητήρες για να βρεθούν τα KPI.

Επίσης παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα από τα test records και των τριών ηλεκτρογεννητριών. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα έγινε η εισαγωγή των best fit καμπυλών δευτέρου βαθμού ως προς τα σημεία που αφορούν το Common Exhaust temperature ή αλλιώς την θερμοκρασία των καυσαερίων από όλους τους κυλίνδρους



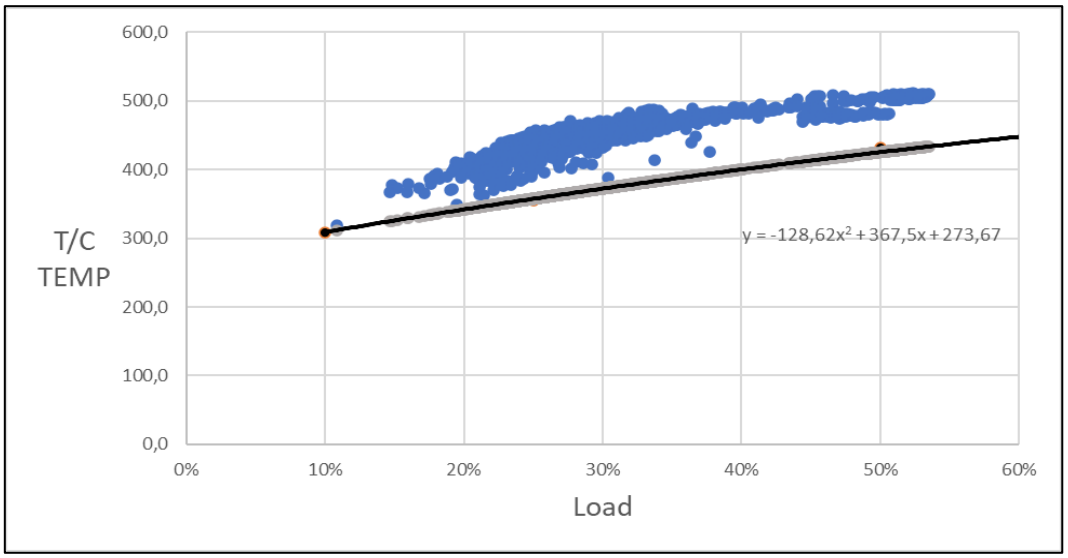
Διάγραμμα 45 : Αναπαράσταση των τιμών των test records και των τριών DG για T/C Temp την θερμοκρασία εισόδου στον στροβιλοσυμπιεστή

Και εδώ παρατηρείται ότι η προσέγγιση με το πολυώνυμο είναι ικανοποιητική για τα φορτία που λειτουργούν οι ηλεκτρογεννήτριες όπως και στον προηγούμενο δείκτη.

5.2 Παρουσίαση της μεταβλητής T/C TEMP και του KPI για τα πραγματικά και αναμενόμενα δεδομένα με διαγραμματικές αναπαραστάσεις.

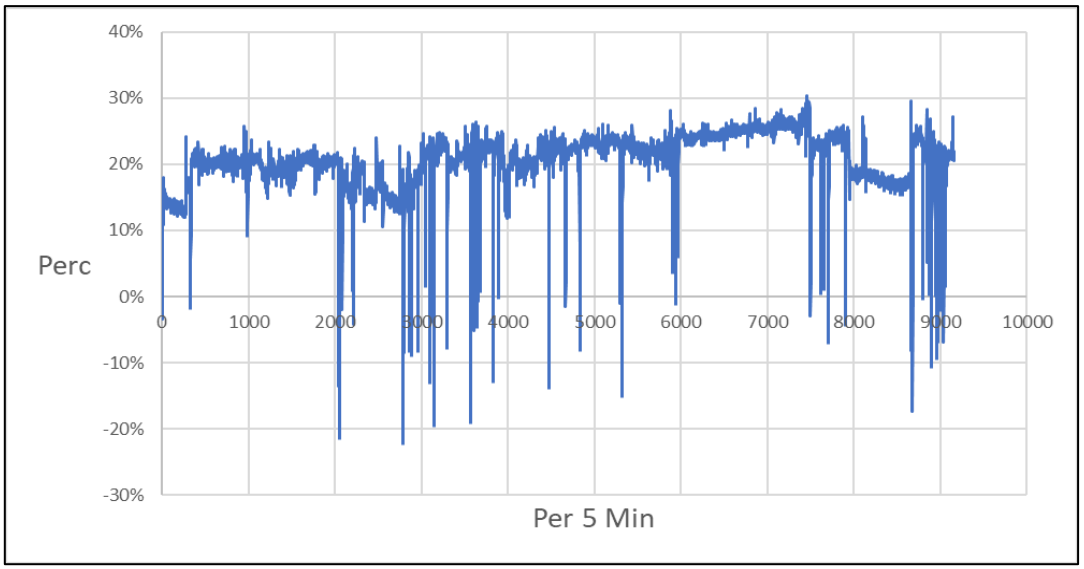
Πρώτη ηλεκτρογεννήτρια DG1.

Δείκτης για T/C TEMP με πολυώνυμο $-128.62 * x^2 + 367.5 * x + 273.67$



Διάγραμμα 46 : Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του T/C TEMP DG1

Και αντίστοιχο συντελεστή απόδοσης $KPI = \frac{T/C\ TEMP_{ACT} - T/C\ TEMP_{EXP}}{T/C\ TEMP_{EXP}}$ κατά το οποίο παράγεται αντίστοιχο διάγραμμα.

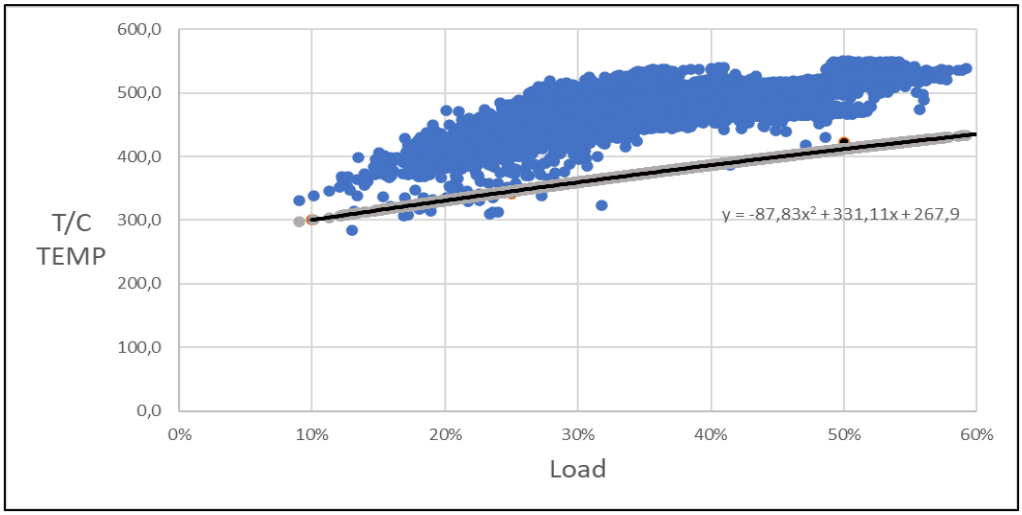


Διάγραμμα 47 : Δείκτης απόδοσης του T/C TEMP DG1

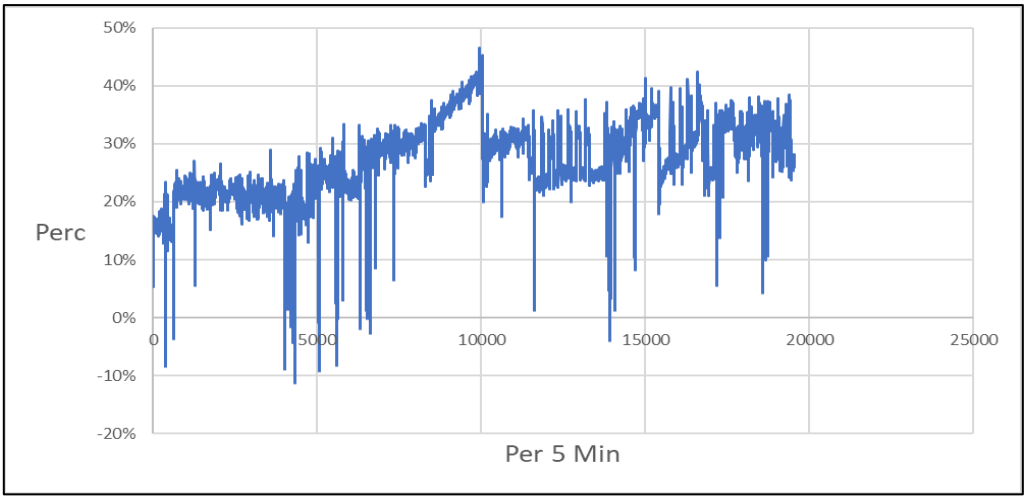
Σύμφωνα με τα διαγράμματα παρατηρείται μια σταθερή τάση που ξεκινάει προσεγγιστικά από το 15% και φτάνει έως το 30% με λίγες έντονες μεταβολές.

Δεύτερη ηλεκτρογεννήτρια DG2.

Δείκτης για T/C TEMP με πολυώνυμο $-87.83 * x^2 + 331.11 * x + 267.9$



Διάγραμμα 48 : Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του T/C TEMP DG2



Διάγραμμα 49 : Δείκτης απόδοσης του T/C TEMP DG2

Για το διαγράμματα που αφορούν την μεταβλητή και τον δείκτη απόδοσης φαίνεται ότι η DG2 όταν ξεπερνά τα 5000 πεντάλεπτα λειτουργίας να σημειώνει πολύ έντονη αύξηση. Μέχρι τότε η DG2 λειτουργεί με τον δείκτη απόδοσης όσον αφορά την απόκλιση του μέσα στο διάστημα 10 με 30 % , ενώ μετά αυξάνεται μέχρι και άνω του 40% στα 10000 πεντάλεπτα, ώστε μετά να πέσει στο διάστημα 20 με 40% σταθερά. Καθ' όλη την λειτουργεία αυτή παρατηρούνται έντονες αποκλίσεις και φαίνεται ότι σταθεροποιείται σε υψηλότερες τιμές του δείκτη απόδοσης η λειτουργεία της DG2. Συμπερασματικά η DG2 δείχνει ήδη να παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις από τα test records όσον αφορά την εισαγωγή των καυσαερίων στην τουρμπίνα .

◊ Κεφάλαιο 7 ◊

Αξιολόγηση των ηλεκτρογεννητριών

Στην παρούσα διπλωματική όπως έγινε γνωστό παρατηρήθηκε η ανάγκη για την σωστή οργάνωση και στατιστική ανάλυση των δεδομένων προκειμένου να δημιουργηθούν οι κατάλληλοι δείκτες απόδοσης. Το τελικό στάδιο της μελέτης είναι και η αξιολόγηση τους βάση των αποτελεσμάτων μέχρι τώρα, ώστε να βγουν τα κατάλληλα συμπεράσματα και να δοθεί ένα ολοκληρωμένος επίλογος. Στην περίπτωση αυτή ενδιαφέρον παρουσίασε η τάση των δεικτών απόδοσης να αυξάνεται η απόκλιση τους με την αύξηση της ειδικής κατανάλωσης SFOC η οποία αναλύθηκε στο performance των ηλεκτρογεννητριών στο κεφάλαιο 3. Η συγκεκριμένη αύξηση μπορεί να οφείλεται σε μηχανικές δυσλειτουργίες, υποβάθμιση των αισθητήρων, καύσιμο που να μην εκπληρώνει τις προδιαγραφές, ή να βρίσκονται οι ηλεκτρομηχανές προς το τέλος της περιόδου τους για ένα overhaul, όπου να χρειαστεί κάποιο έλεγχο και συντήρηση η ηλεκτρομηχανή γενικότερα. Εν τέλει το γεγονός ότι οι ηλεκτρομηχανές λειτουργούσαν εν ώρα υπηρεσίας και όχι στις ιδανικές συνθήκες των test records οδηγούν σε αυξήσεις των δεικτών απόδοσης με την αύξηση της ειδικής κατανάλωσης.

Η αξιολόγηση της συνολικής επίδοσης του συστήματος κάθε ηλεκτρογεννήτριας ξεχωριστά κρίθηκε να αναλυθεί μέσω της εξίσωσης $F_i = 0{,}5 * KPI_{Tav} + 0{,}5 * KPI_{T/C\ TEMP}$, $i = 1{,}2{,}3$, όπου κάθε δείκτης αντιστοιχεί από τη γεννήτρια 1 έως 3 για τους μέσους όρους των συντελεστών απόδοσης καθώς και το τρίτο τεταρτημόριο τους.

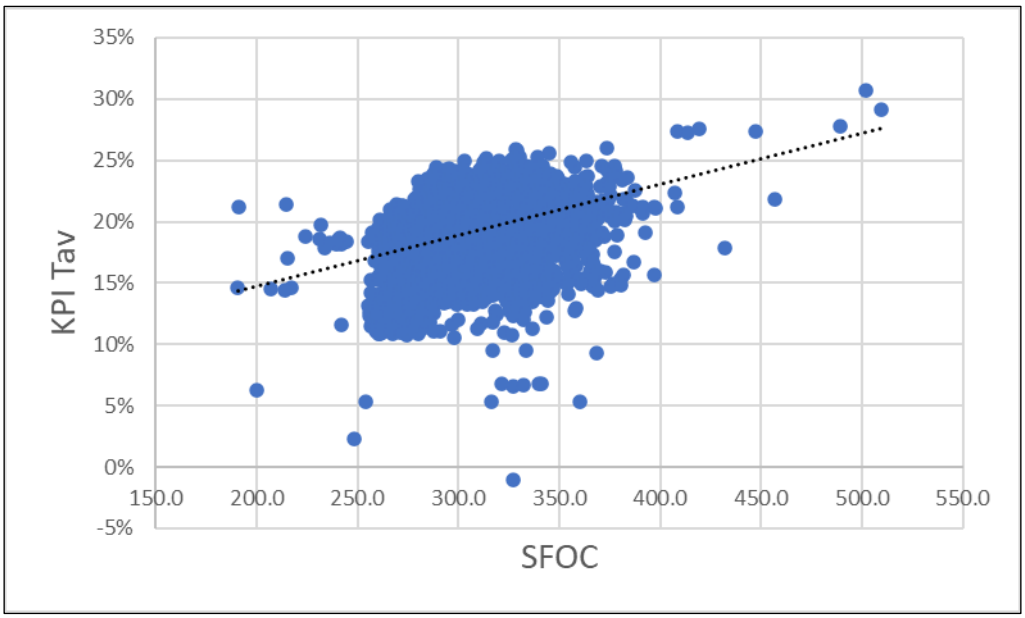
	DG1		DG2		DG3	
KPI Tav Average	19%		27,6%		7,1%	
KPI T/C TEMP Average	20,6%		27,5%			
KPI Tav 75% Percentile	20,8%		31%		10%	
KPI T/C TEMP 75% Percentile	23,5%		32%			
F_i Average/75% Perc	19,8%	22,1%	27,6%	31,2%	7.1%	10%

Πίνακας 18: Μέσοι όροι και τρίτα τεταρτημόρια των DG για την κατηγοριοποίηση τους

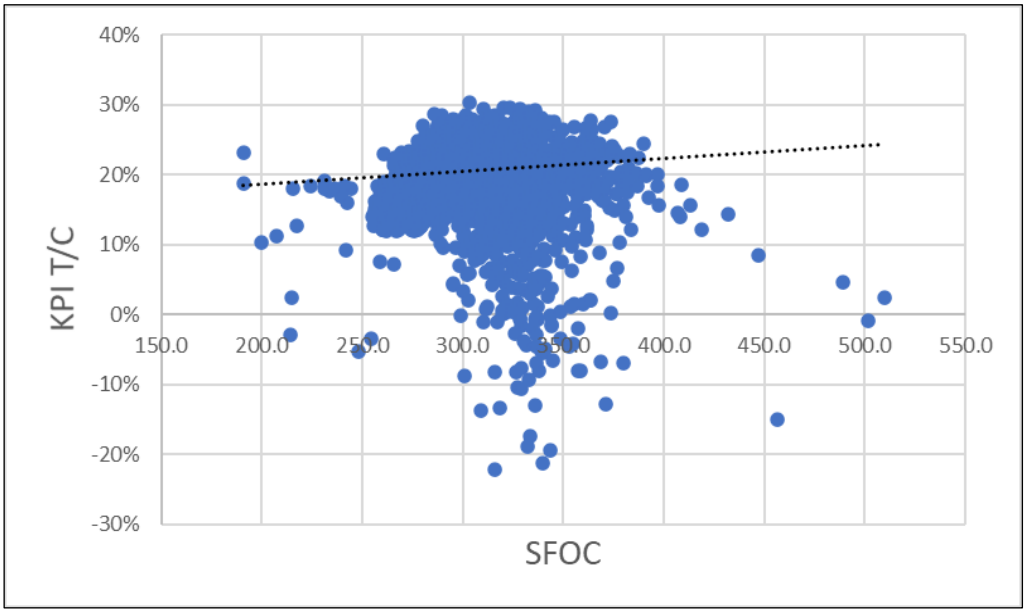
Σύμφωνα με την ανάλυση αυτή η γεννήτρια 3 έχει το μικρότερο F και για αυτόν τον λόγο αποκτά και την πρώτη θέση ως προς την απόδοση σε σχέση με τις υπόλοιπες ηλεκτρογεννήτριες, μετά ακολουθεί η γεννήτρια 1 και τέλος η γεννήτρια 2. Στόχος ήταν να βρεθεί η σχέση με την μικρότερη δυνατή απόκλιση των δεικτών απόδοσης κατά το απόλυτο και επειδή η γεννήτρια 3 σύμφωνα με τα προηγούμενα κεφάλαια είχε την καλύτερη απόδοση λόγω μικρότερων αποκλίσεων πήρε και την πρώτη θέση.

Ωστόσο μια σχέση που να σχετίζει την αύξηση της απόκλισης αυτής σε σχέση με κάποιο μέγεθος ήταν θεμιτή και το μέγεθος αυτό είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου. Πιο συγκεκριμένα μέσω γραμμικών trendlines αποδεικνύεται ότι καθώς αυξάνεται η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται και η απόκλιση των KPI.

Ηλεκτρογεννήτρια 1

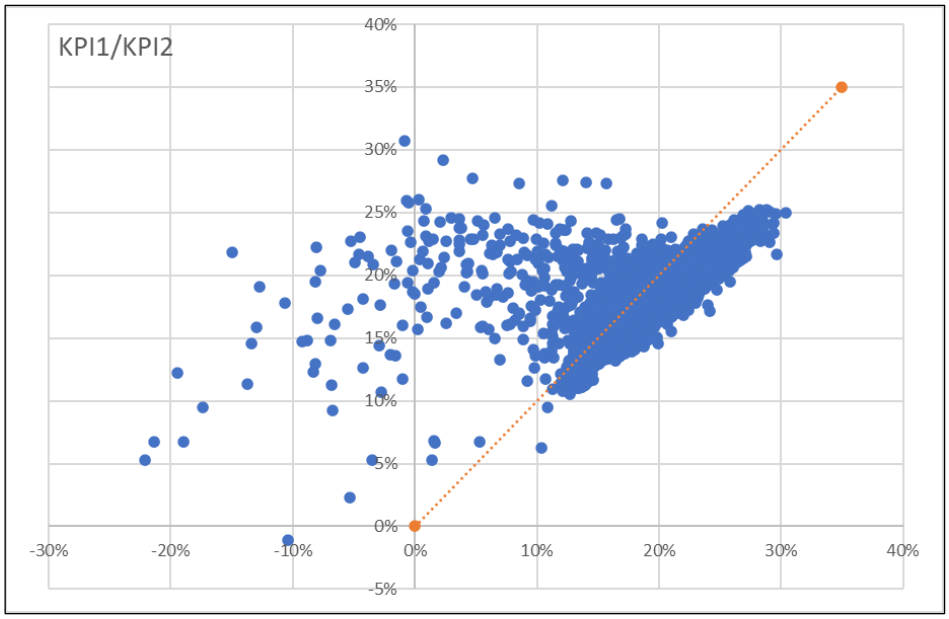


Διάγραμμα 50: KPI Tav-SFOC της DG1



Διάγραμμα 51: KPI T/C TEMP-SFOC της DG1

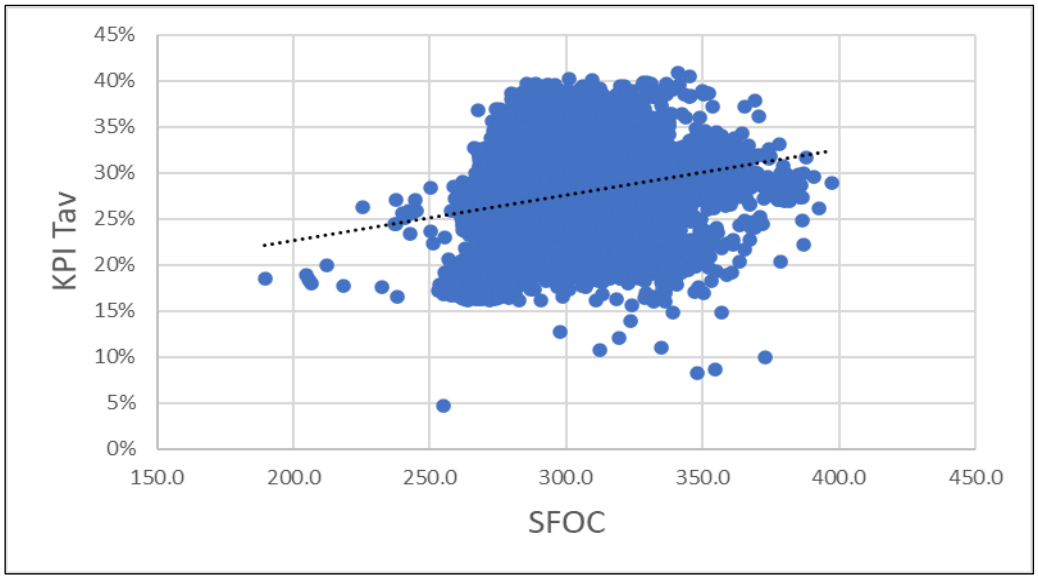
Σύμφωνα με τα διαγράμματα παρατηρείται αύξηση των συντελεστών με την αύξηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Αυτό επιβεβαιώνει το γεγονός ότι η DG1 παρουσιάζει αποκλίσεις του 25% και άνω, καθώς το SFOC ξεπερνά τα 300 gr/kWh. Παρακάτω γίνεται και η σύγκριση των δύο συντελεστών απόδοσης ως προς την εξίσωση y=x σύμφωνα με την οποία παρατηρείται η απόκλιση του κάθε συντελεστή συναρτήση του άλλου. Αυτό είναι σημαντικό από την σκοπιά της αποκλίσεως του κάθε KPI διότι αν ήταν αποδοτικοί και με υψηλή ακρίβεια τότε θα ακολουθούσαν την πορεία της πορτοκαλί καμπύλης y=x και θα έδειχναν την συνέργεια μεταξύ τους, ωστόσο τώρα δύναται να βγουν συμπεράσματα για την συμπεριφορά του κάθε δείκτη ως προς την απόκλιση του σε σχέση με τον άλλο.



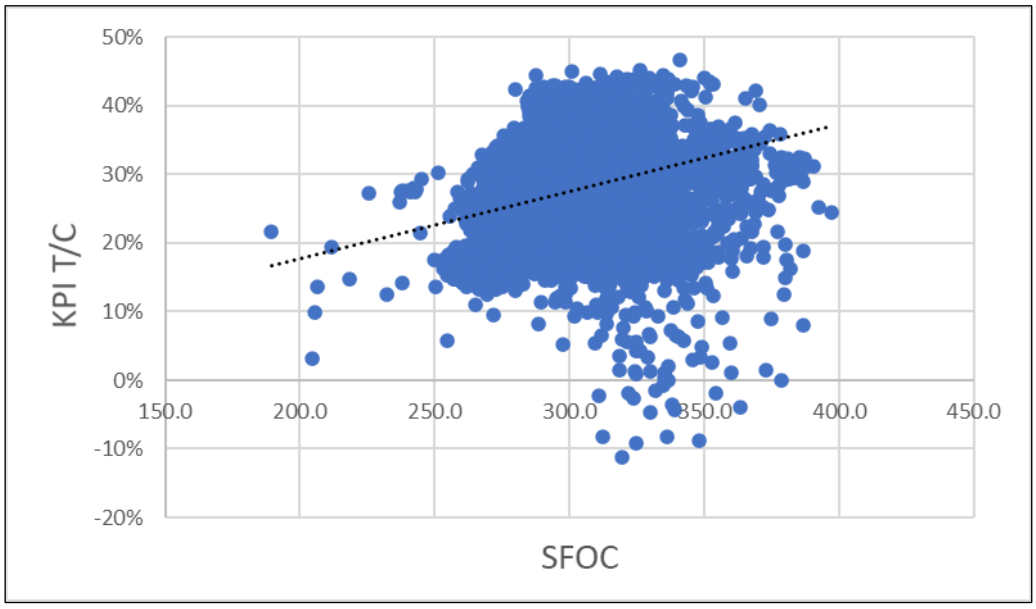
Διάγραμμα 52 Σύγκριση των δύο συντελεστών απόδοσης ως προς την ακρίβεια τους για DG1

Σύμφωνα με το διάγραμμα παρατηρείται ότι τα δεδομένα αναρτώνται για y>15% δεξιά της καμπύλης. Αυτό δίνει την παρατήρηση πως όταν ο δεύτερος συντελεστής απόδοσης ξεπεράσει την απόκλιση του 15% ότι η απόκλιση του πρώτου αυξάνεται αλλά με φθίνουσα τάση, ενώ για μικρότερες τιμές παρατηρείται ότι ο πρώτος συντελεστής παρουσιάζει αρκετά μεγάλες αποκλίσεις.

Ηλεκτρογεννήτρια 2

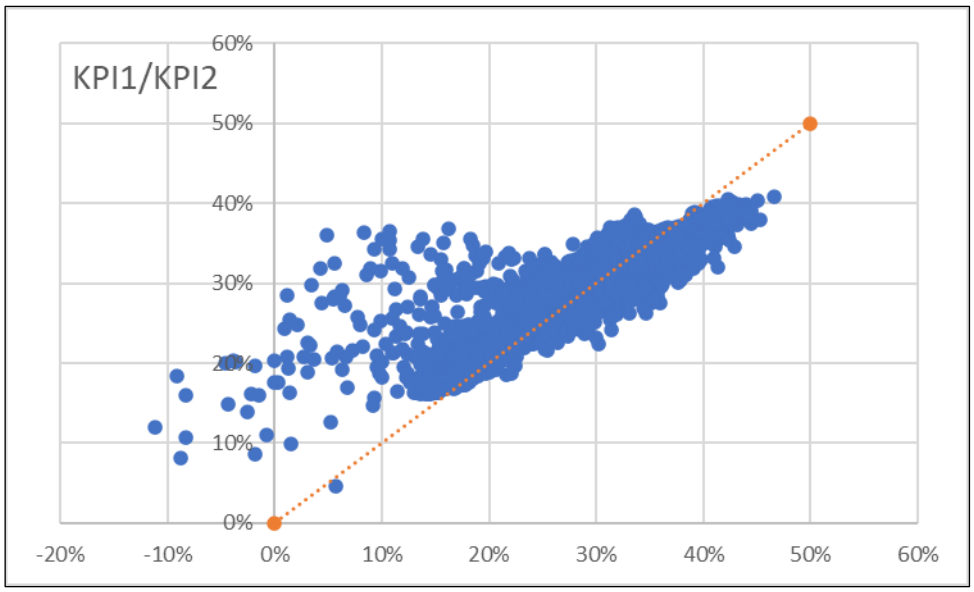


Διάγραμμα 53: KPI Tav-SFOC της DG2



Διάγραμμα 54: KPI T/C TEMP-SFOC της DG2

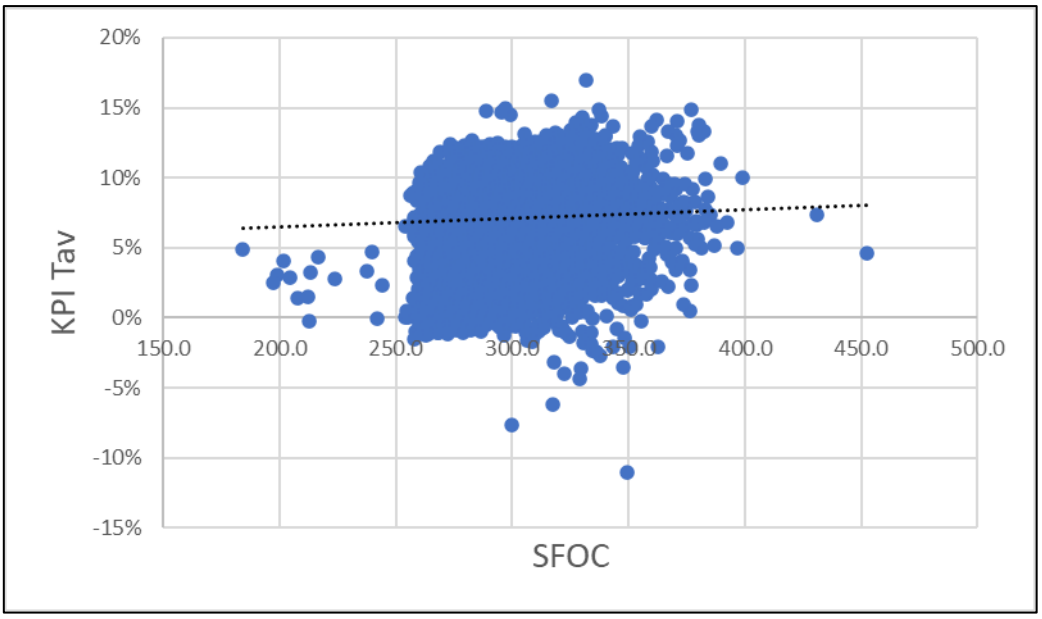
Για την DG2 παρατηρούνται ακόμα μεγαλύτερές αποκλίσεις για SFOC των 300gr/kWh, οι οποίες φτάνουν μέχρι και τα 40 % και 45 % για τους δύο συντελεστές αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η DG2 λειτουργούσε τον περισσότερο χρόνο και από τις 3 DG που σημαίνει ότι πιθανόν αν η DG1 λειτουργούσε στην ίδια συχνότητα πιθανό να παρουσίαζε αντίστοιχα αποτελέσματα. Ένα συμπέρασμα εδώ θα μπορούσε να είναι ότι μια πιθανή μείωση της λειτουργίας της DG2 για τα φορτία γύρω από τα 300 gr/kWh να ωφελούσε το σύστημα στο ζήτημα της κατανάλωσης με την αύξηση της συμμέτοχης των άλλων δύο DG σε αυτό το εύρος. Αυτό έχει αποδειχθεί και από τα διαγράμματα(35,43) όπου η DG2 μετά από ένα χρονικό όριο αυξάνει την απόκλιση των KPI της.



Διάγραμμα 55: Σύγκριση των δύο συντελεστών απόδοσης ως προς την ακρίβεια τους για DG2

Αντίστοιχα εδώ παρατηρείται η ίδια τάση όπως με την πρώτη ηλεκτρογεννήτρια μόνο που μεγαλώνει το γ. Συγκεκριμένα φτάνει για μεγαλύτερο του 30% για να περάσουν τα δεδομένα δεξιά της καμπύλης έτσι ώστε να αυξάνεται με φθίνουσα τάση ο πρώτος συντελεστής απόδοσης.

Ηλεκτρογεννήτρια 3



Διάγραμμα 56: KPI Tav-SFOC της DG3

Σύμφωνα με τα προηγούμενα κεφάλαια έτσι και εδώ φαίνεται η καλύτερη λειτουργία της DG3 όσον αφορά τις αποκλίσεις για τον πρώτο δείκτη απόδοσης. Ο δείκτης απόδοσης όσον αφορά τον δείκτη μέσης θερμοκρασίας κατά την καύση έχει την μικρότερη αυξητική τάση. Οι αποκλίσεις είναι μικρότερες από τις άλλες δύο DG καθιερώνοντας την DG3 ως την πιο αποδοτική. Συμπερασματικά εφόσον παρατηρείται μικρή αυξητική τάση των KPI καθώς αυξάνεται των SFOC, μια πιθανή λύση θα ήταν να λειτουργεί η DG3 πιο συχνά σε υψηλά φορτία παραλαμβάνοντας ένα κομμάτι του φορτίου της DG2 που δείχνει να δυσλειτουργεί για SFOC 300 και άνω, ενώ έτσι θα λαμβάνει και λιγότερες αρνητικές τιμές ο KPI T/C TEMP.

8.Συμπεράσματα

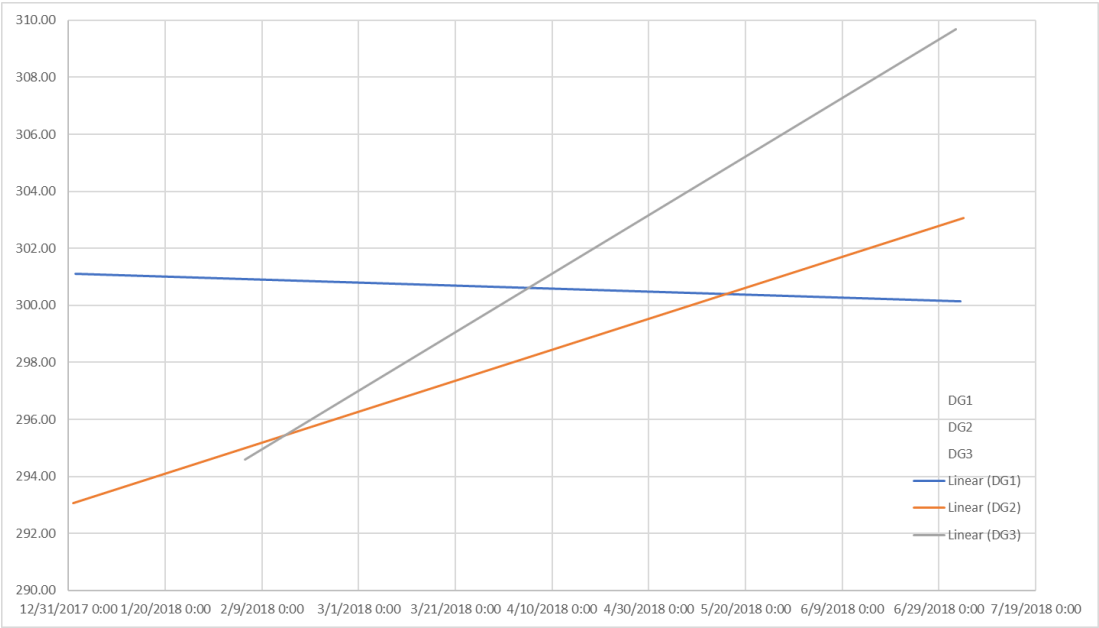
Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο να εξετάσει την απόδοση των ηλεκτρογεννητριών με χρήση δεδομένων υψηλής συχνότητας. Στην αρχή ήταν απαραίτητο να γίνει ένας καθαρισμός των δεδομένων βασισμένος σε μη αποδεκτές και έντονα αποκλίνουσες τιμές, μετέπειτα μια στατιστική ανάλυση και παρουσίαση της λειτουργείας έλαβε χώρα και για τις τρείς ηλεκτρογεννήτριες βασισμένη στο φορτίο μηχανής της κάθε μίας και στην κατανάλωση καυσίμου αντίστοιχα. Εφόσον ολοκληρωθήκαν τα βήματα αυτά η μελέτη προχώρησε στην εύρεση των δύο δεικτών απόδοσης καθώς και στην αξιολόγηση των ηλεκτρογεννητριών βάση αυτών. Κάθε μέρος της διπλωματικής είχε κατά την ανάλυση της παρατηρήσεις που απορρέουν από τα δεδομένα που λήφθηκαν από τους αισθητήρες και ως αποτέλεσμα οδηγούν σε μερικά συμπεράσματα για την λειτουργία των ηλεκτρομηχανών.

1) Συμπεράσματα για το φορτίο των ηλεκτρομηχανών

Κάποια βασικές παρατηρήσεις που απορρέουν από την στατιστική ανάλυση των ηλεκτρογεννητριών ως προς το φορτίο αφορούν τα ποσοστά λειτουργείας. Σύμφωνα με αυτά παρατηρήθηκε ότι η ηλεκτρογεννήτρια 1 καθολικά λειτουργεί στα μικρότερα ποσοστά από τις άλλες δύο, μετά ακολουθεί η γεννήτρια 2 και 3. Κάθε γεννήτρια όταν λειτουργεί ξεχωριστά χρειάζεται να βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερα ποσοστά του φορτίου (44% -52 % περίπου) και αυτό γιατί μια DG μόνη της απαιτείται να βγάλει τις ανάγκες του σκάφους σε ενέργεια χωρίς την συνέργεια κάποιας άλλης. Όταν λειτουργούν σε παραλληλία τα ποσοστά αυτά μειώνονται μιας και λειτουργούν δύο και πιο σπάνια και οι τρείς μαζί ρίχνοντας τα φορτία της κάθε μηχανής. Το συμπέρασμα είναι πως όταν λειτουργεί κάθε DG μόνης της τα ποσοστά λειτουργείας τους είναι κοινά που σημαίνει πως υπάρχουν συγκεκριμένες ενεργειακές ανάγκες του σκάφους εν πλω και στο λιμάνι για την λειτουργεία αυτή και απλώς μοιράζεται χρονικά η υπηρεσία σε κάθε ηλεκτρογεννήτρια για να μην φθείρεται μόνο μία. Επίσης μια ακόμα τάση που παρατηρήθηκε είναι πως όταν κάθε DG λειτουργεί σε παραλληλία τα φορτία είναι συνήθως μεγαλύτερα στο λιμάνι παρά εν πλω. Συμπερασματικά οι ενεργειακές απαιτήσεις του σκάφους είναι πολύ πιθανό να είναι μεγαλύτερες στο λιμάνι από ότι εν πλω ή κάθε φορά που λειτουργούν σε παραλληλία να επιλέγει ο χειριστής τότε μεγαλύτερα ποσοστά φορτίου.

2) Ειδική κατανάλωση καυσίμου

Στην εξέταση της ενεργειακής απόδοσης η μελέτη έδωσε βάση στην ειδική κατανάλωση καυσίμου. Ένα από τα αρχικά συμπεράσματα που βγαίνουν από τα ιστογράμματα 22,27 και 32 είναι ότι και οι τρεις λειτουργούν στο ίδιο περίπου εύρος των 250 έως 350 gr/kWh όσον αφορά το μεγαλύτερο κομμάτι των μετρήσεων. Αυτό στα διαγράμματα ειδικής κατανάλωσης καυσίμου 25,30 και 35 αποδίδεται με μια σύγκλιση των μετρήσεων στα 275 gr/kWh καθώς αυξάνεται το φορτίο. Επίσης η ειδική κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο δείχνει να μένει με ένα γραμμικό trendline σε αυτά τα όρια και για τις τρεις ηλεκτρογεννήτριες όπως θα φανεί στο παρακάτω διάγραμμα 52. Σύμφωνα με αυτό η κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο για κάθε ηλεκτρογεννήτρια είναι σχεδόν κοινή σύμφωνα με το γραμμικό trendline των διαγραμμάτων 23,27 και 31 με μικρή καθοδική τάση της DG1, μικρή ανοδική της DG2 και μικρή ανοδική της DG3.



Διάγραμμα 57 Γραμμικά trendlines SFOC-Time της κάθε DG

3) Δείκτες απόδοσης

Σύμφωνα με τις άνω αναλύσεις η μελέτη προχώρησε πλέον στην εύρεση και δημιουργία δεικτών απόδοσης για την καλύτερη παρακολούθηση του συστήματος των τριών ηλεκτρογεννητριών. Τα συμπεράσματα που διεξάχθηκαν μετά τις παρατηρήσεις αναρτώνται για κάθε DG ξεχωριστά μιας και διαφορετικά αποτελέσματα σε κάθε μια ξεχωριστά.

KPI 1

Της ηλεκτρογεννήτριας 1

Σύμφωνα με το διάγραμμα 35 και 36 υπάρχουν αποκλίσεις από τις αναμενόμενες τιμές, όπως προαναφέρθηκε λόγω του ότι η ηλεκτρογεννήτρια πλέον δεν εξετάζεται στις ιδανικές συνθήκες των test records. Επίσης η φθορά και υποβάθμιση των αισθητήρων με το χρόνο μπορεί να προκαλέσει ανακριβείς και λανθασμένες ενδείξεις οι οποίες οδηγούν σε μια μετατόπιση των πραγματικών αποτελεσμάτων σε σχέση με των αναμενόμενων όπως φαίνεται στο διάγραμμα 35. Συνεπώς μια συνεχή βαθμονόμηση των αισθητήρων καθώς και η γνώση ότι οι φυσικές ιδιότητες και τα υλικά του αισθητήρα υποβαθμίζονται με τον καιρό στις εξωτερικές συνθήκες είναι κάτι που χρειάζεται να ληφθεί υπόψιν σε μια μελέτη και αξιολόγηση ενός συστήματος όπως αυτό των ηλεκτρογεννητριών που αναπτύσσουν υψηλές ταχύτητες.

Της ηλεκτρογεννήτριας 2

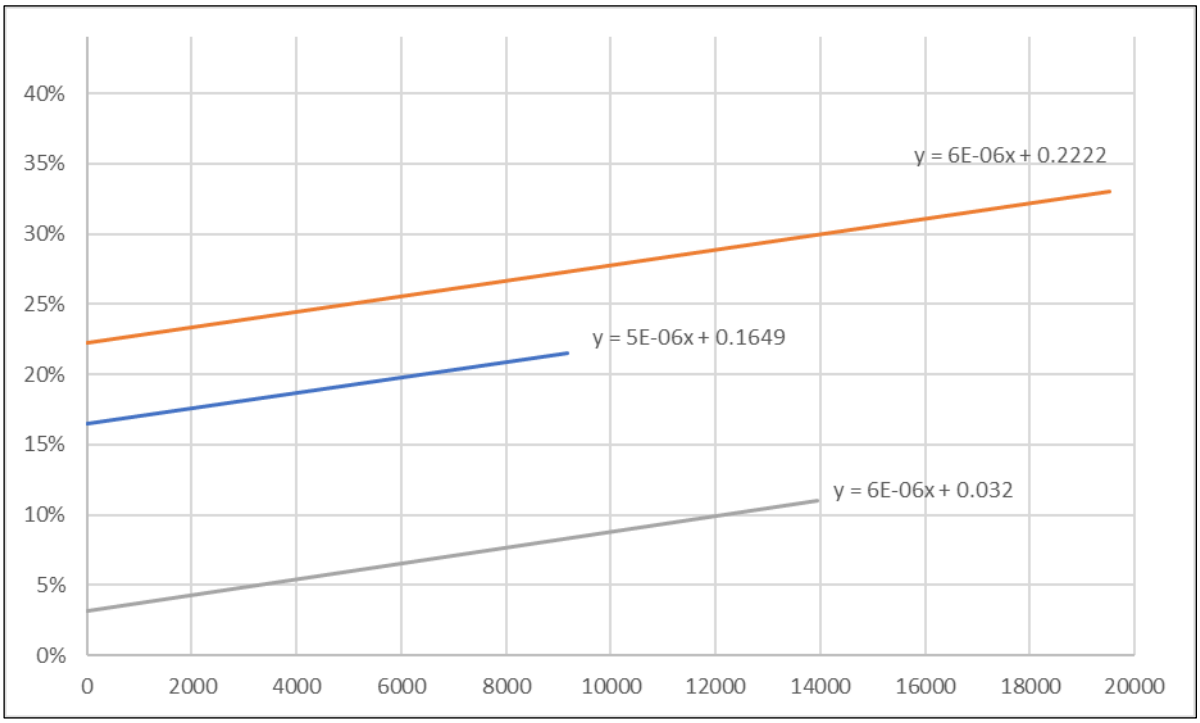
Η μεγαλύτερη απόκλιση των τιμών σε σχέση με την ηλεκτρογεννήτρια ένα μπορεί να οφείλεται αρχικά στο γεγονός ότι λειτουργεί για πολύ μεγαλύτερο χρόνο σε σχέση με τις άλλες δύο. Η άμεση πτωτική τάση αργότερα στα 10000 πεντάλεπτα πιθανό να οφείλεται σε ένα overhaul της ηλεκτρογεννήτριας άμεσης ανάγκης με το που παρατηρείται η απόδοση της μηχανής να χειροτερεύει επιταχυνόμενα. Όπως ειπώθηκε πριν για την ηλεκτρογεννήτρια 1 έτσι ισχύει για την 2 και 3, δηλαδή μηχανικές βλάβες εντός της ηλεκτρογεννήτριας που οδηγούν σε μη αποδοτικές και

σωστά χρονισμένες καύσεις καθώς και την σωστή εκμετάλλευση των καυσαερίων αργότερα μπορεί να οδήγησαν στην ηλεκτρογεννήτρια δύο σε αυτές τις έντονες αποκλίσεις. Επίσης οι αποκλίσεις αυτές δείχνουν να λαμβάνουν χώρα για το 28 με 35% του φορτίου συνεπώς ίσως καλό να ήταν να αποφευχθούν αυτά τα εύρη μέχρι να επισκευαστεί η ηλεκτρογεννήτρια επιτυχώς. Εν τέλει η μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργείας της DG2 πιθανό να έπαιξε ρόλο στη προοδευτική άνοδο των αποκλίσεων μίας και λειτουργεί στο διπλάσιο χρονικό διάστημα σε σχέση με την 1 και αρκετά περισσότερο επίσης με την 3. Έτσι μια μείωση του χρόνου λειτουργίας της 2 και κάλυψης των αναγκών από την 1 ή 3 θα μπορούσε να είναι μια ρεαλιστική πρόταση.

Της ηλεκτρογεννήτριας 3

Πρόκειται για την ηλεκτρογεννήτρια με την καλύτερη απόδοση σε σχέση με τις άλλες δύο και προτείνεται η επέκταση του χρόνου λειτουργίας της και μείωση των πιο προβληματικών για αύξηση της απόδοσής, ως προς το φορτίο της μηχανής και εξοικονόμηση καυσίμου. Από τον πρώτο δείκτη απόδοσης δείχνει να προσεγγίζει τα test records ιδανικά και με υψηλή ακρίβεια. Αυτό οφείλεται στο ότι μηχανικά η DG3 είναι καλά συντηρημένη και με αισθητήρες βαθμονομημένους και με υλικά που δεν έχουν διαβρωθεί στο χρόνο. Σημαντικό θα ήταν να διεξαχθεί ο λόγος που είναι η DG3 αποδοτική ώστε να γίνουν οι κατάλληλες διορθώσεις στις άλλες δύο.

Παρακάτω τίθεται η ανοδική τάση των γεννητριών ως προς τον πρώτο δείκτη απόδοσης με γραμμικά trendlines που προκύπτουν από το διάγραμμα 44. Παρατηρείται ότι η γεννήτρια 2 έχει την μεγαλύτερη τάση και η DG3 την αμέσως μικρότερη που επαληθεύει και την πιο αποδοτική λειτουργεία της σε σχέση με τις άλλες δύο. Μελλοντικά η ακριβής αποτύπωση της απόδοσης των γεννητριών μέσω ενός παρόμοιου trendline θα μπορούσε να εισάγει στην ανάλυση δεδομένων έναν νέο δείκτη απόδοσης που θα προβλέπει την απόκλιση της μιας γεννήτριας μέσω της άλλης κρίνοντας από την ανοδική τάση που έχουν από τα δεδομένα.



Διάγραμμα 58 Γραμμικά trendlines και των τριών ηλεκτρογεννητριών μπλε DG1, πορτοκαλί DG2, γκρι DG3

KPI 2

Της ηλεκτρογεννήτριας 1

Και εδώ είναι πολύ πιθανό ότι οι ηλεκτρογεννήτριες δεν λειτουργούν στις ιδανικές συνθήκες όπως αυτές κατά τα test records με αποτέλεσμα κατά την ώρα υπηρεσίας ακαθαρσίες, μη επαρκής ψύξη του συστήματος, ανεπαρκής λίπανση και οποιαδήποτε φθορά πριν τον στροβιλοσυμπιεστή να οδήγησε σε αυτήν την προσαύξηση.

Της ηλεκτρογεννήτριας 2

Πρόκειται ουσιαστικά για τα ίδια ζητήματα που τέθηκαν και στον πρώτο συντελεστή απόδοσης. Μηχανικές ή υλικές βλάβες στην διαδρομή μέχρι το στροβιλοσυμπιεστή καθώς και η πιθανότητα ένας αισθητήρας να μην έχει βαθμονομηθεί ή ανανεωθεί στα υλικά του, να οδηγούν σε αυτήν την έντονη προσαύξηση.

4) Αξιολόγηση των ηλεκτρογεννητριών

Μετά την ανάλυση των δεδομένων βάση τους δείκτες απόδοσης η μελέτη προχώρησε εν τέλει στην αξιολόγηση του συστήματος των τριών ηλεκτρογεννητριών μέσω αυτών. Πιο συγκεκριμένα ο πίνακας 18 αποδίδει την αξιολόγηση του συστήματος με την γεννήτρια ένα να φέρει την πρώτη θέση. Αυτό αποδεικνύεται και στο διάγραμμα 51 σύμφωνα με το οποίο ο δείκτης έχει και την μικρότερη προσαύξηση σε σχέση με τις άλλες δύο. Η συγκεκριμένη παρατήρηση αποδίδεται στο ότι για τα διαγράμματα 47 έως 51 η αύξηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου οδηγεί στην αύξηση της απόκλισης του δείκτη. Συμπερασματικά καθώς αυξάνεται η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται και η απόκλιση των πραγματικών τιμών από τις αναμενόμενες τιμές βάση των test records. Την απόκλιση αυτή η DG3 την έχει μικρότερη από όλες αφού το γραμμικό trendline του διαγράμματος 51 έχει και την μικρότερη κλίση σε σχέση με τα υπόλοιπα, καθιερώνοντας έτσι σύμφωνα με την εξίσωση $F_i = 0{,}5 * KPI_{Tav} + 0{,}5 * KPI_{T/C\ TEMP}$, $i = 1{,}2{,}3$ την DG3 στην πρώτη θέση.

Πηγές

1. Testing and Calibration Laboratory of Vibration and Noise of SMDERI (Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute)
2. http://www.skylineships.com/man-bw-l-23-30-h/
3. https://www.industrialmarinepower.com/man-bw-6-l-2330-h--8-l-2330-h-for-sale/
4. Auxiliary Engines 1,2,3 TEST RECORDS from ZJMD MAN
5. Θεμελής, Ν., 2021, "Αξιολόγηση συμπεροφοράς και απόδοσης πλοίων", Σημειώσεις, http://mycourses.ntua.gr/course_description/index.php?cidReq=NAVAL1099
6. Κόντης, Φ., 2021, ''Ανάπτυξη δεικτών απόδοσης για την παρακολούθηση της κατάστασης λειτουργίας των ναυτικών κινητήρων diesel'', Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων, ΕΜΠ
7. Μουρτζίνος, 2021 ''Αξιολόγηση και βελτιστοποίηση λειτουργείας ηλεκτρογεννητριών εμπορικού πλοίου'', Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.
8. Themelis, N., Spandonidis, C. C., & Giordamlis, C., 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

Παράρτημα

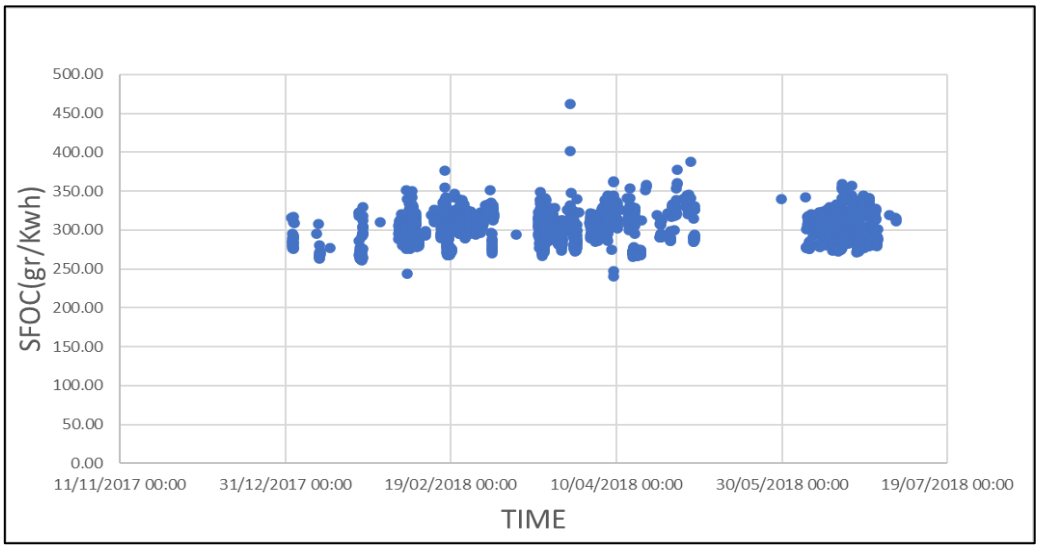
Στο συγκεκριμένο μέρος της διπλωματικής θα παρουσιαστούν τα αντίστοιχα διαγράμματα για όσα αναρτήθηκαν ως προς το βήμα των 5 λεπτών για 30 και 60 λεπτά αντίστοιχα. Πρόκειται για την ίδια προσέγγιση των μεθόδων που παρουσιάστηκαν αλλά με μικρότερη συχνότητα δίνοντας έτσι μια εικόνα και με μικρότερο πληθυσμό στο δείγμα. Οι συγκεκριμένες γραφικές παραστάσεις αφορούν τα διαγράμματα του SFOC TIME αλλά και συνολικά όλων των δεικτών απόδοσης που υπολογίστηκαν έως τώρα.

Τα πρώτα διαγράμματα αφορούν αυτά του εδαφίου 4.4 κατά το οποίο έγινε η παρουσίαση για τη περίπτωση των SFOC/TIME και μετέπειτα τα επόμενα διαγράμματα αφορούν τους δείκτες απόδοσης που υπολογίστηκαν για την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πάλι για μικρότερο δείγμα των 30 και 60 λεπτών.

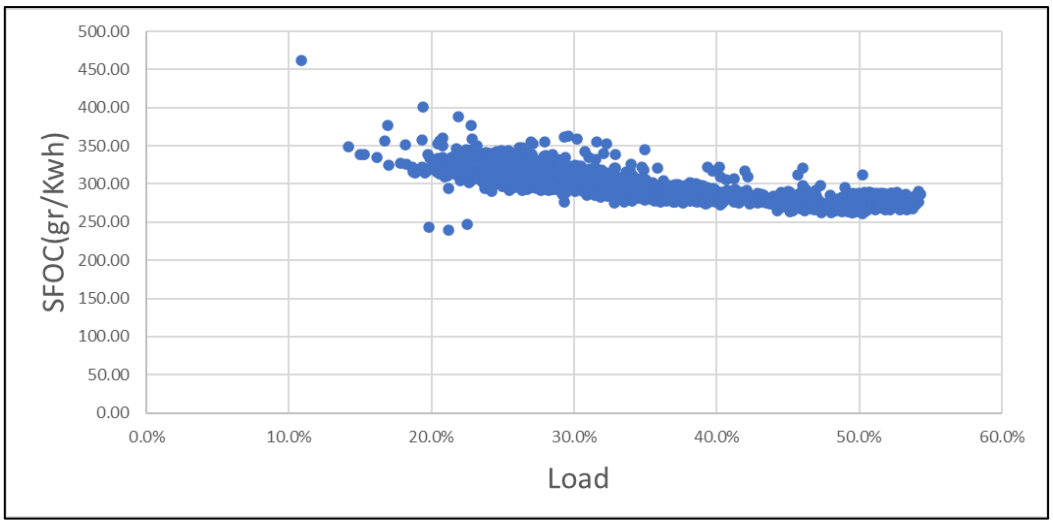
Για την πρώτη ηλεκτρογεννήτρια

DG1: SFOC TIME, SFOC LOAD, FOC LOAD

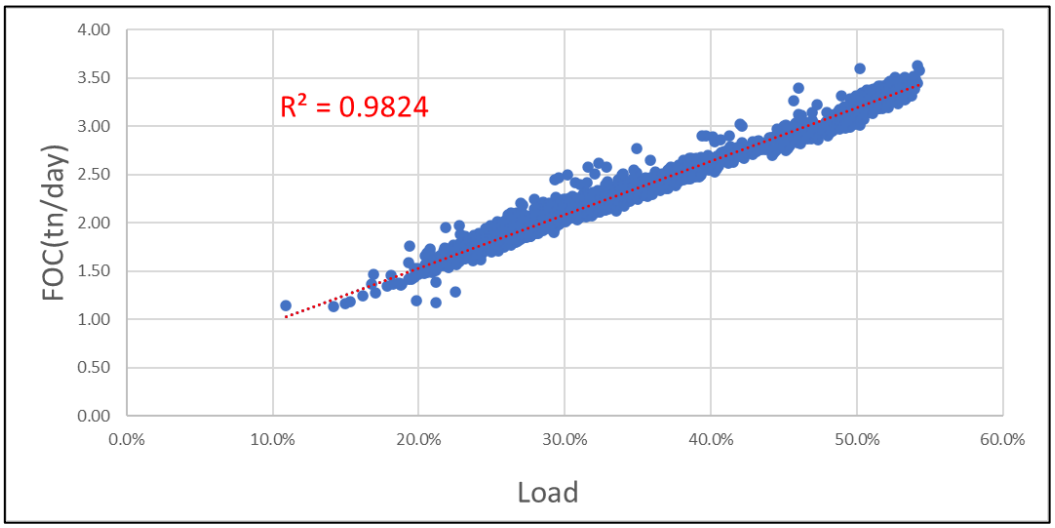
Ανά 30 λεπτά



Διάγραμμα 59: Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG1

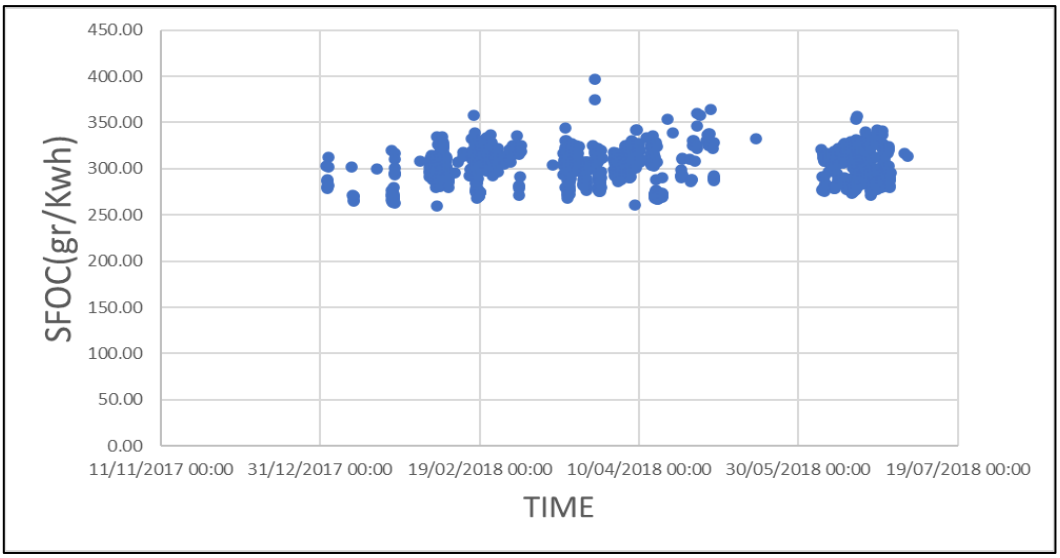


Διάγραμμα 60: Κατανάλωση καυσίμου ως προς φορτίο για DG1

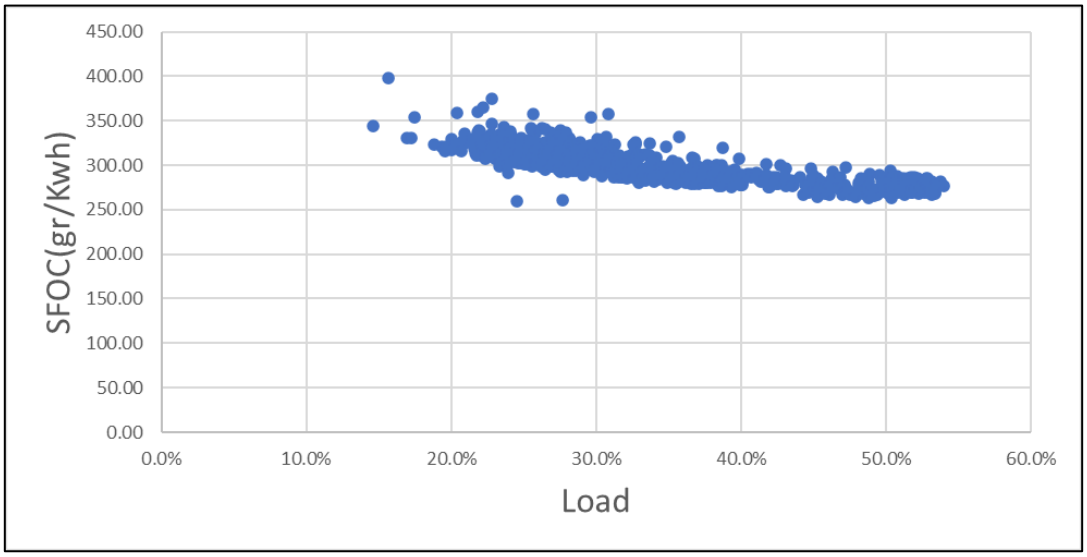


Διάγραμμα 61: Κατανάλωση καυσίμου ανά ημέρα ως προς φορτίο για DG1

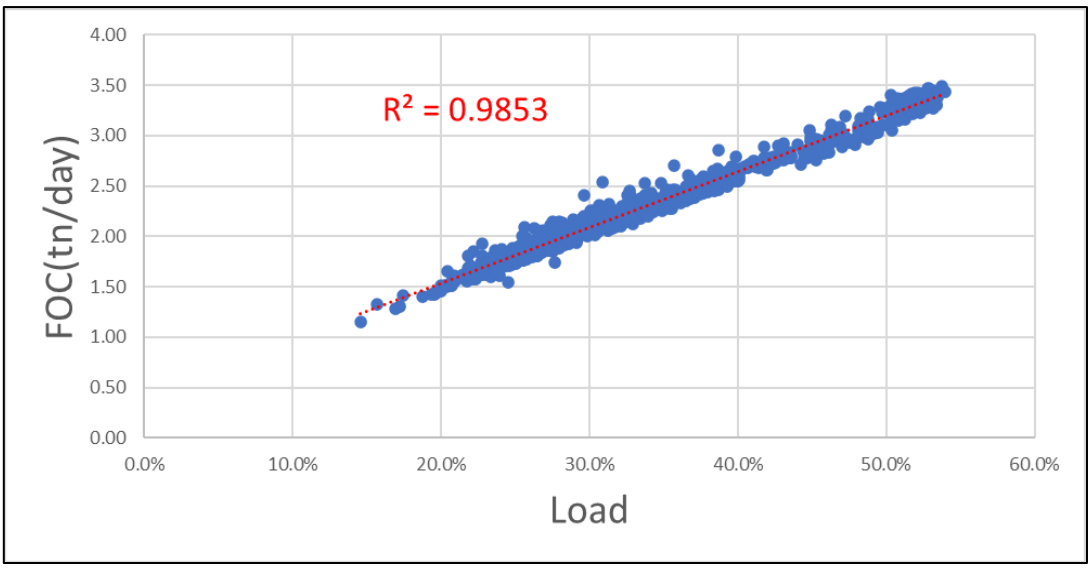
Ανά 60 λεπτά



Διάγραμμα 62: Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG1



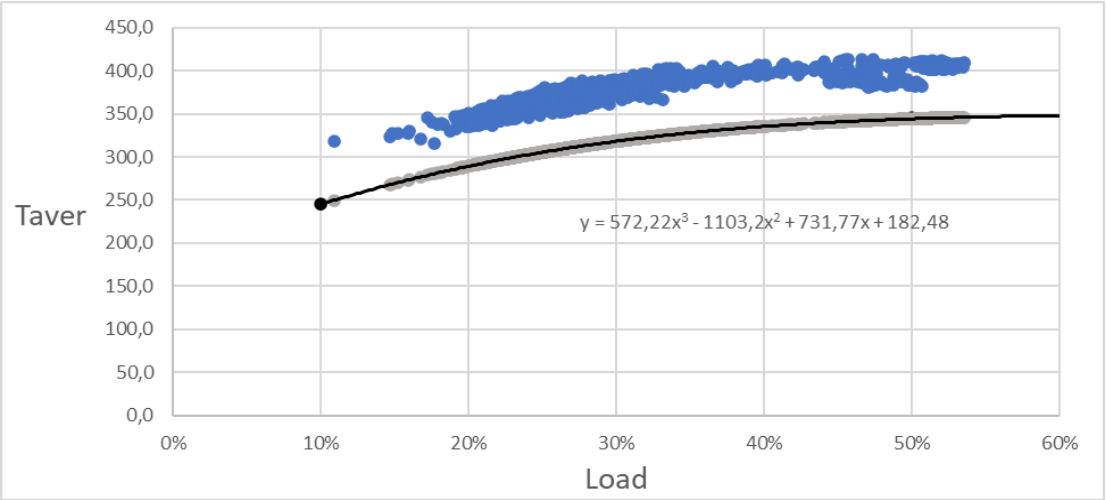
Διάγραμμα 63: Κατανάλωση καυσίμου ως προς φορτίο για DG1



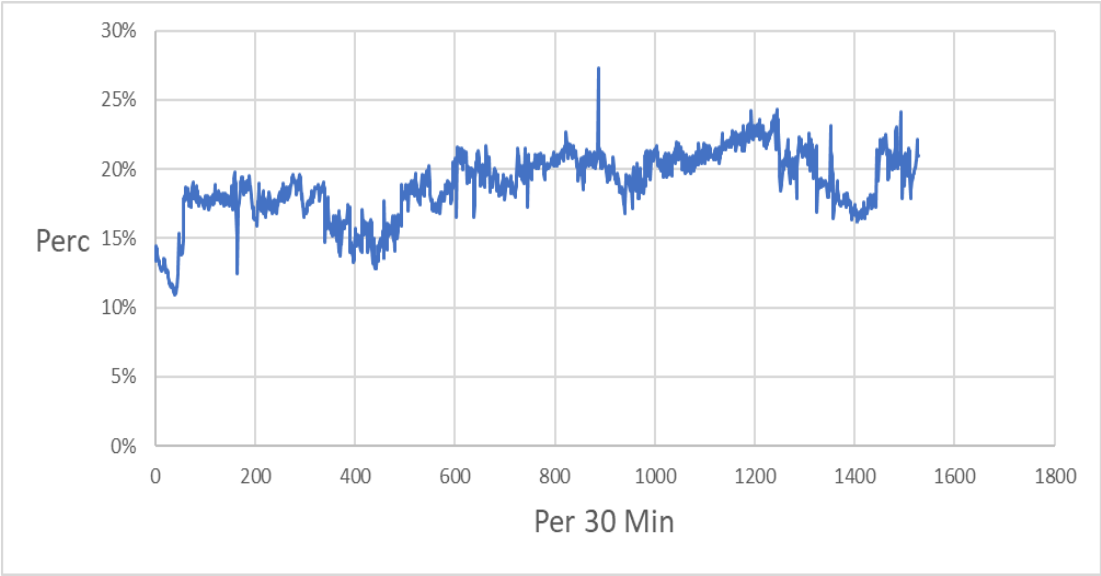
Διάγραμμα 64: Κατανάλωση καυσίμου ανά ημέρα ως προς φορτίο για DG1

DG1: T_{aver}, KPI του T_{aver}

<u>30 ΛΕΠΤΆ</u>

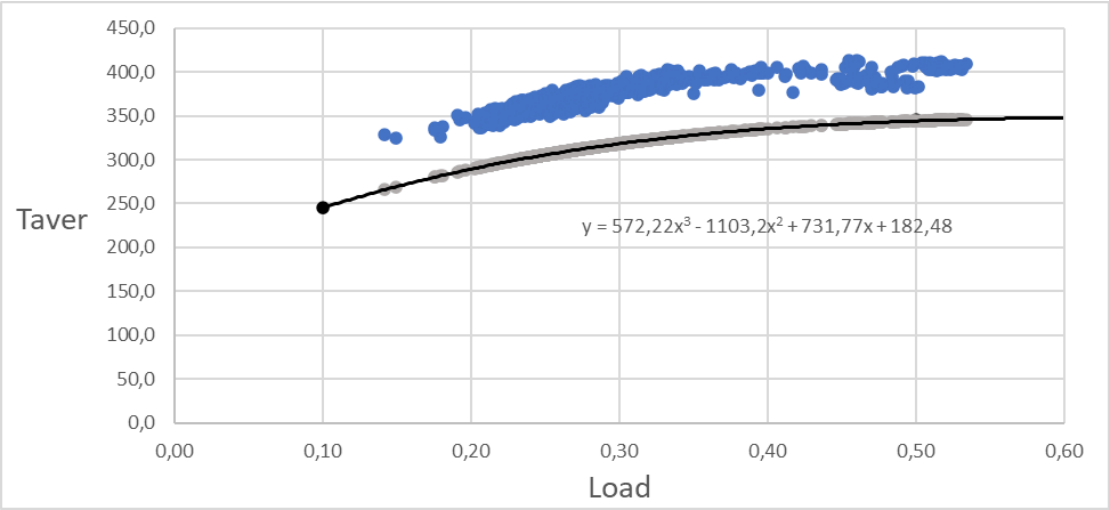


Διάγραμμα 65: Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του T_{AV} DG1

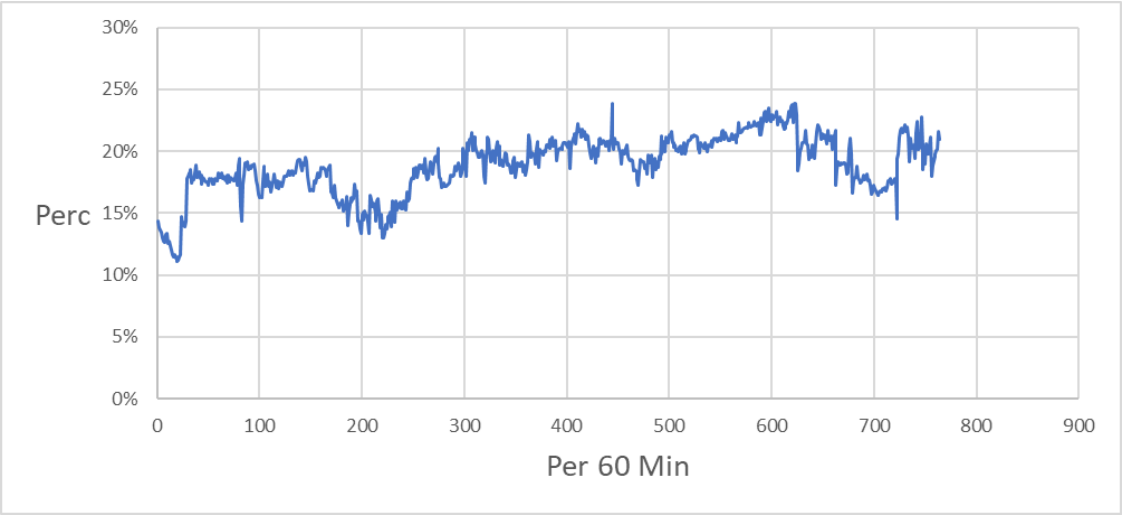


Διάγραμμα 66: Δείκτης απόδοσης του T_{AV} DG1

60 ΛΕΠΤΆ



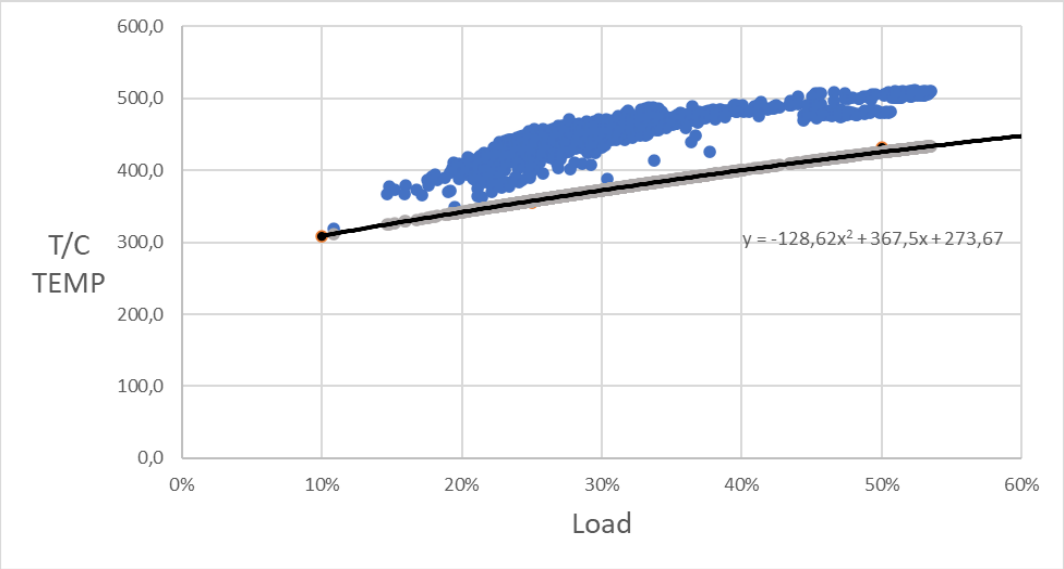
Διάγραμμα 67: Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του Tav DG1



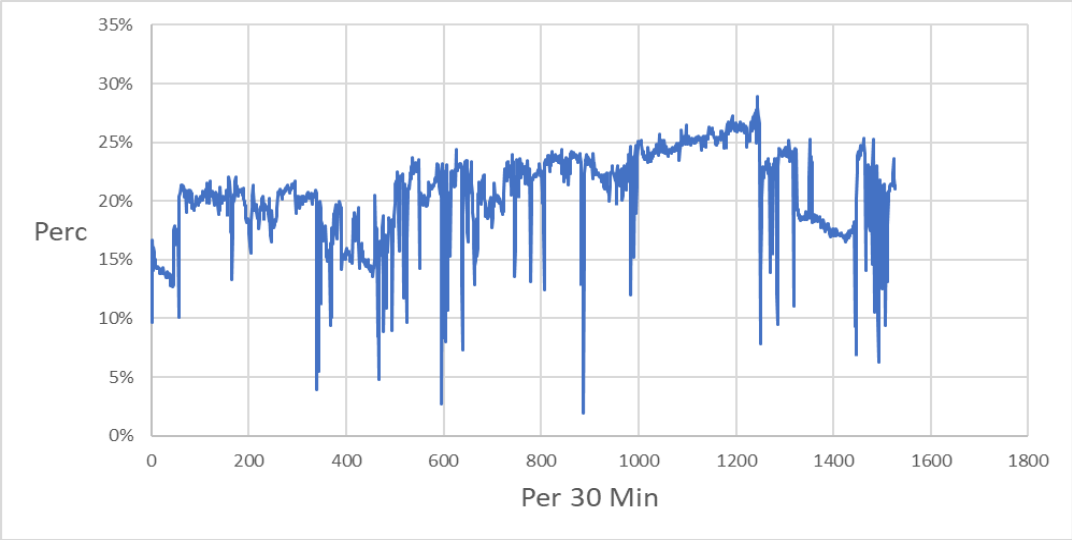
Διάγραμμα 68: Δείκτης απόδοσης του Tav DG1

DG1: T/C TEMP, KPI του T/C TEMP

<u>30 ΛΕΠΤΆ</u>

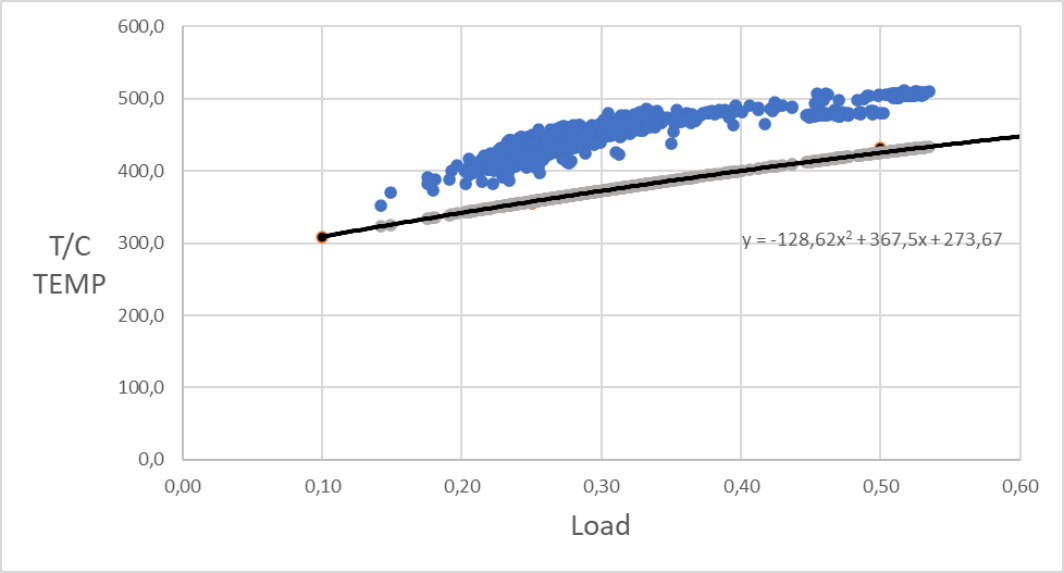


Διάγραμμα 69: Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του T/C TEMP DG1

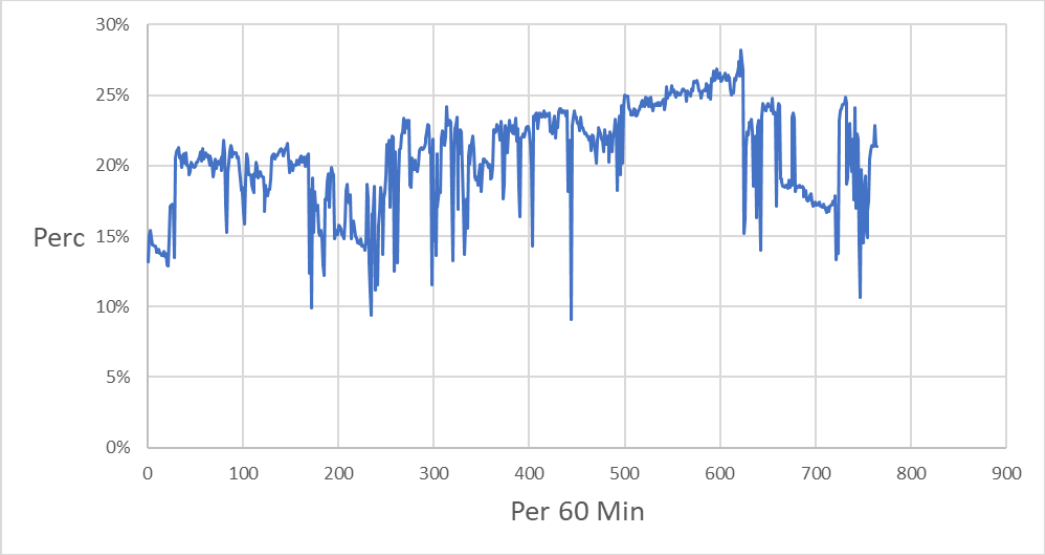


Διάγραμμα 70: Δείκτης απόδοσης του T/C TEMP DG1

60 ΛΕΠΤΆ



Διάγραμμα 71: Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του T/C TEMP DG1

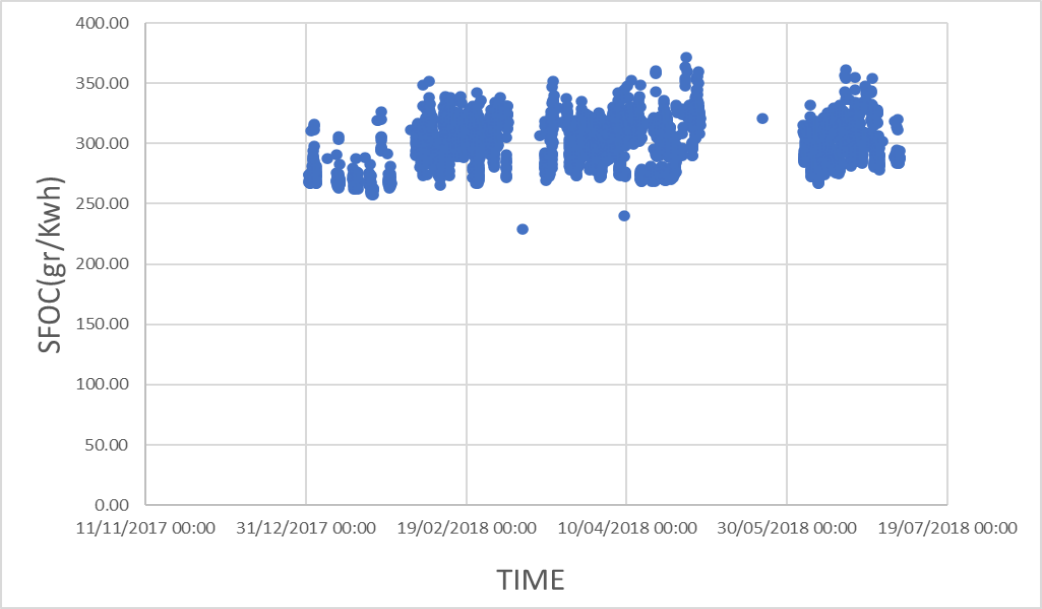


Διάγραμμα 72: Δείκτης απόδοσης του T/C TEMP DG1

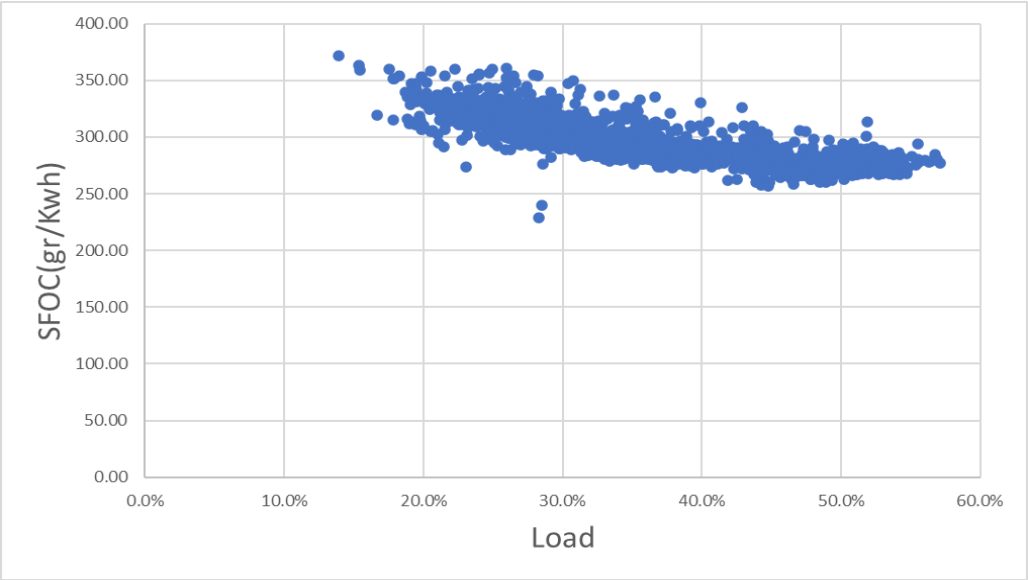
Για την δεύτερη ηλεκτρογεννήτρια

DG2: SFOC TIME, SFOC LOAD, FOC LOAD

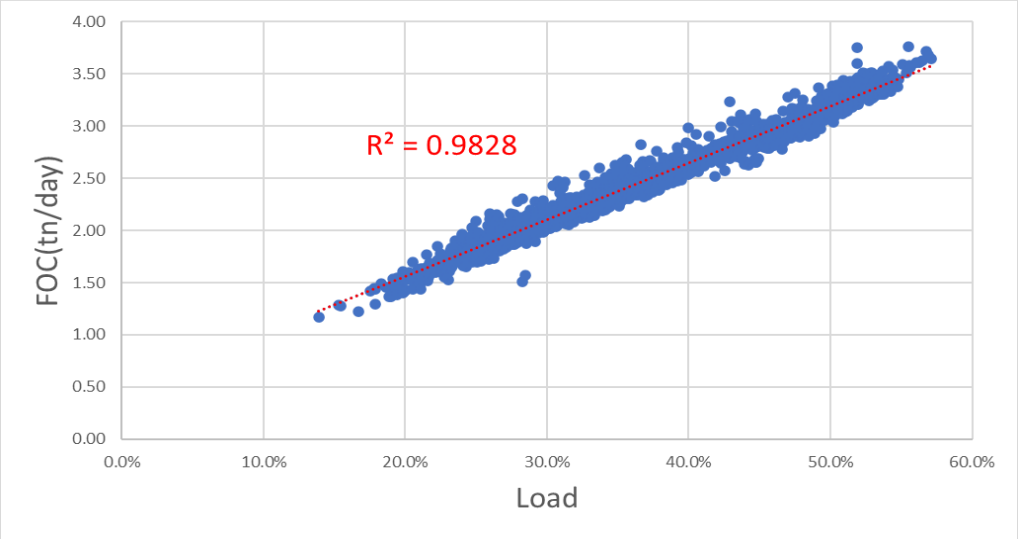
Ανά 30 λεπτά



Διάγραμμα 73: Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG2

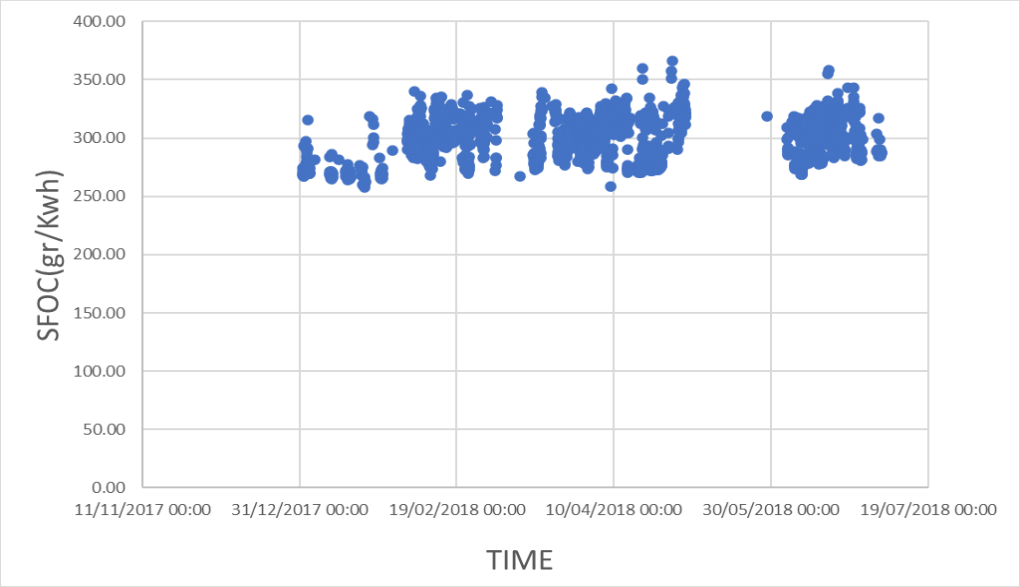


Διάγραμμα 74: Κατανάλωση καυσίμου ως προς φορτίο για DG2

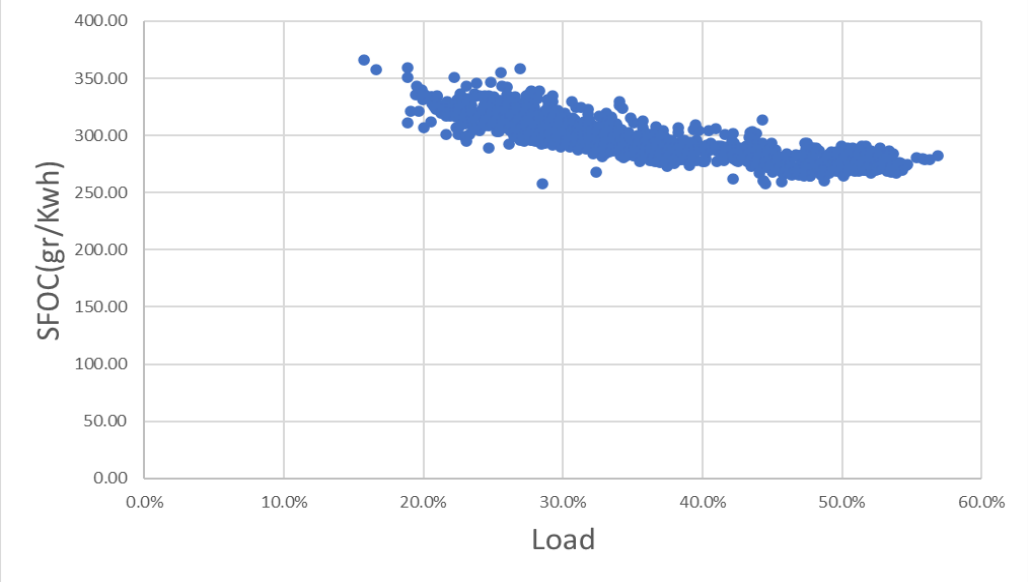


Διάγραμμα 75: Κατανάλωση καυσίμου ανά ημέρα ως προς φορτίο για DG2

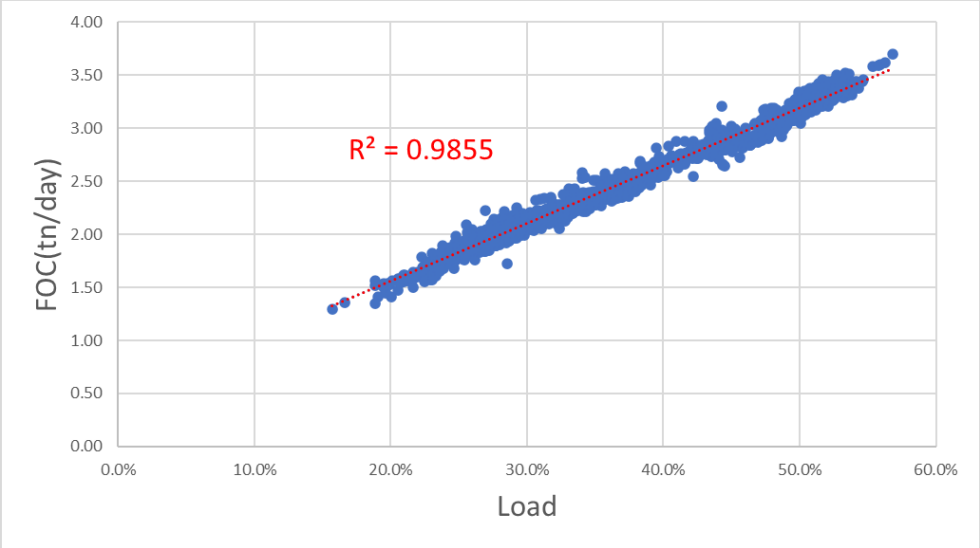
Ανά 60 λεπτά



Διάγραμμα 76: Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG2



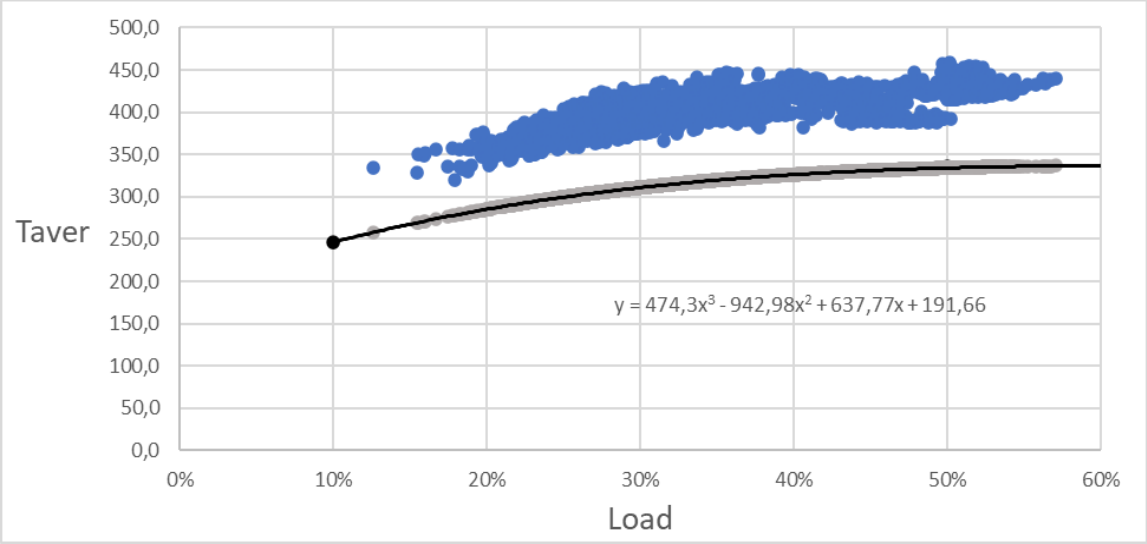
Διάγραμμα 77: Κατανάλωση καυσίμου ως προς φορτίο για DG2



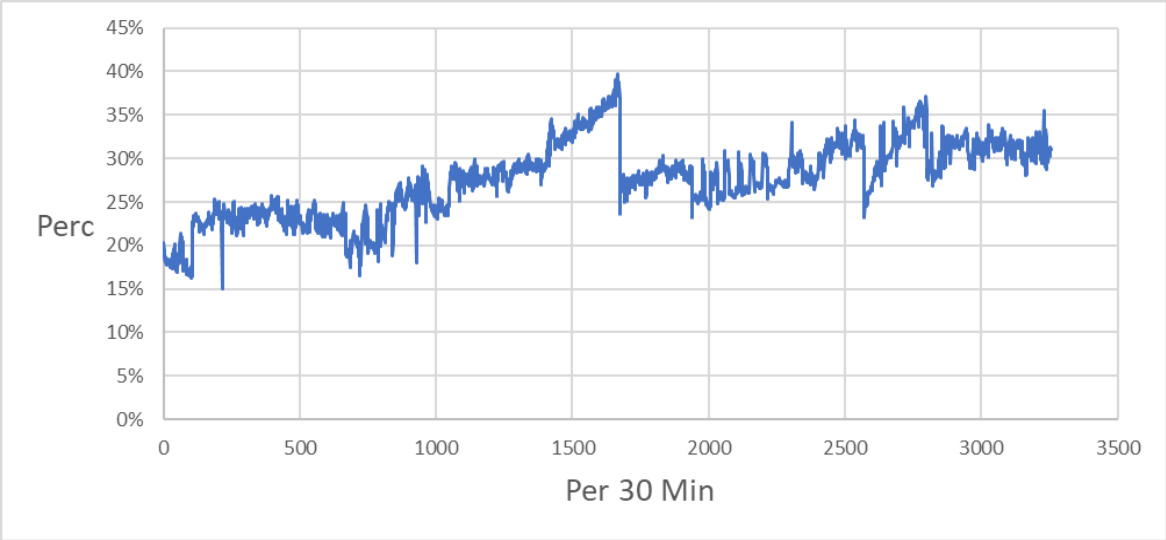
Διάγραμμα 78: Κατανάλωση καυσίμου ανά ημέρα ως προς φορτίο για DG2

DG2: T_{aver}, KPI του T_{aver}

30 ΛΕΠΤΆ

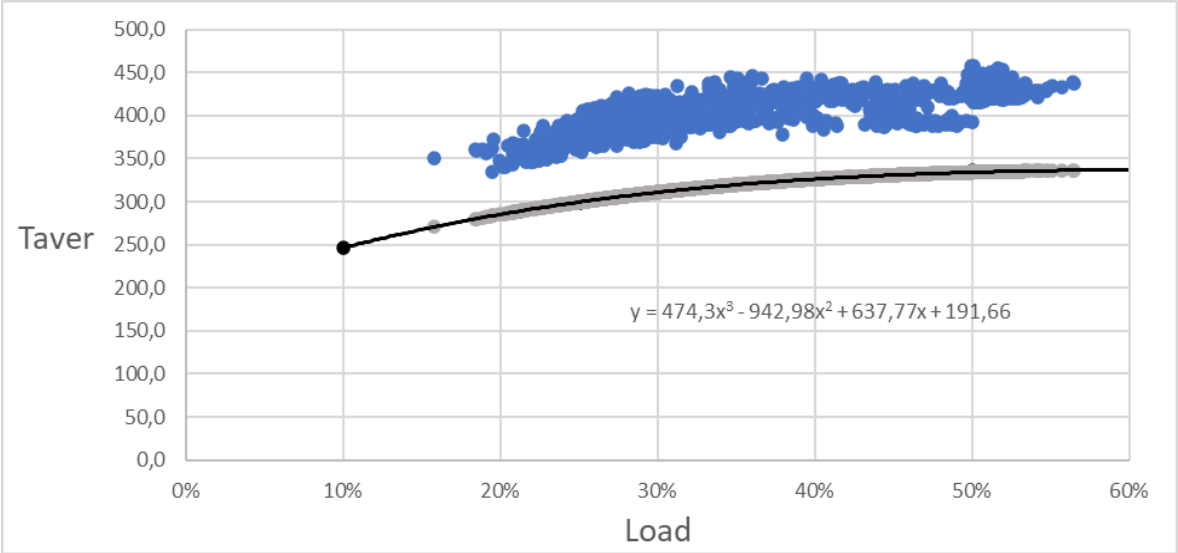


Διάγραμμα 79: Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του T_{AV} DG2

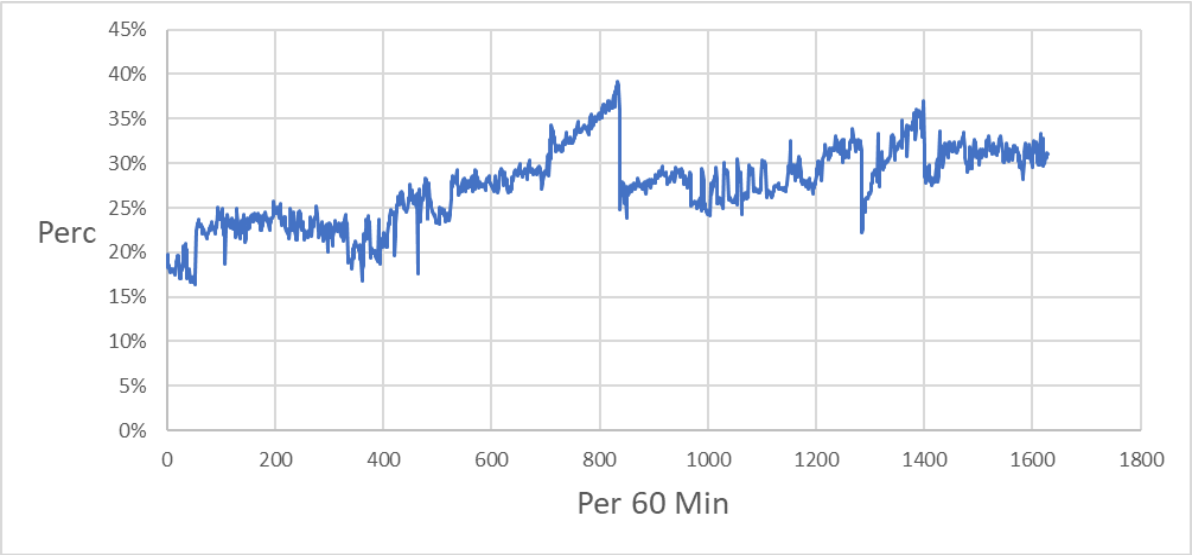


Διάγραμμα 80: Δείκτης απόδοσης του T_{AV} DG2

60 ΛΕΠΤΆ



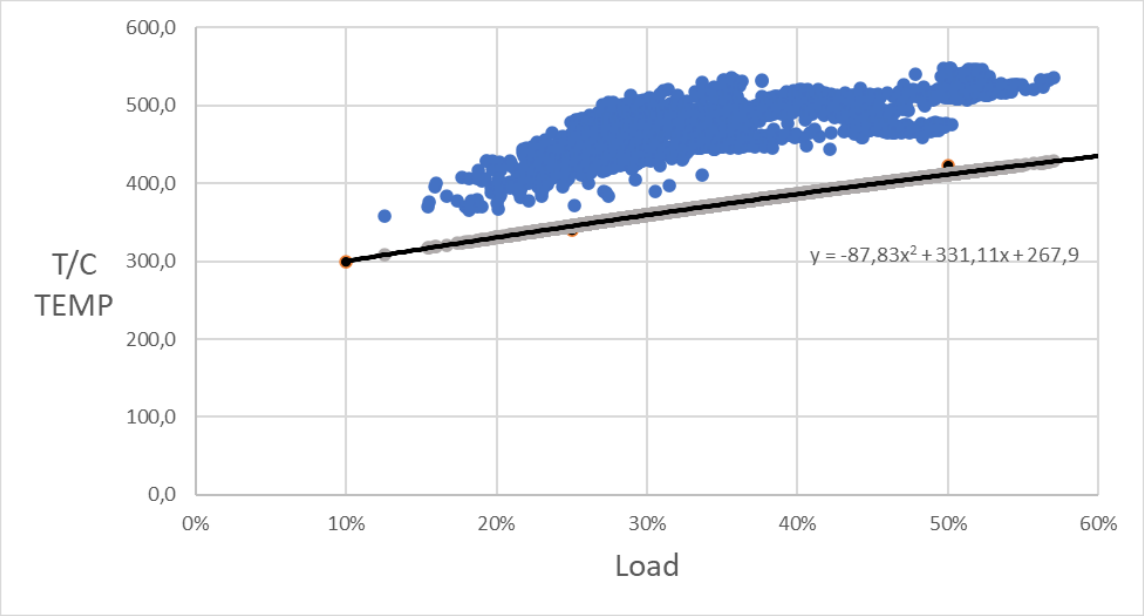
Διάγραμμα 81: Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του Tav DG2



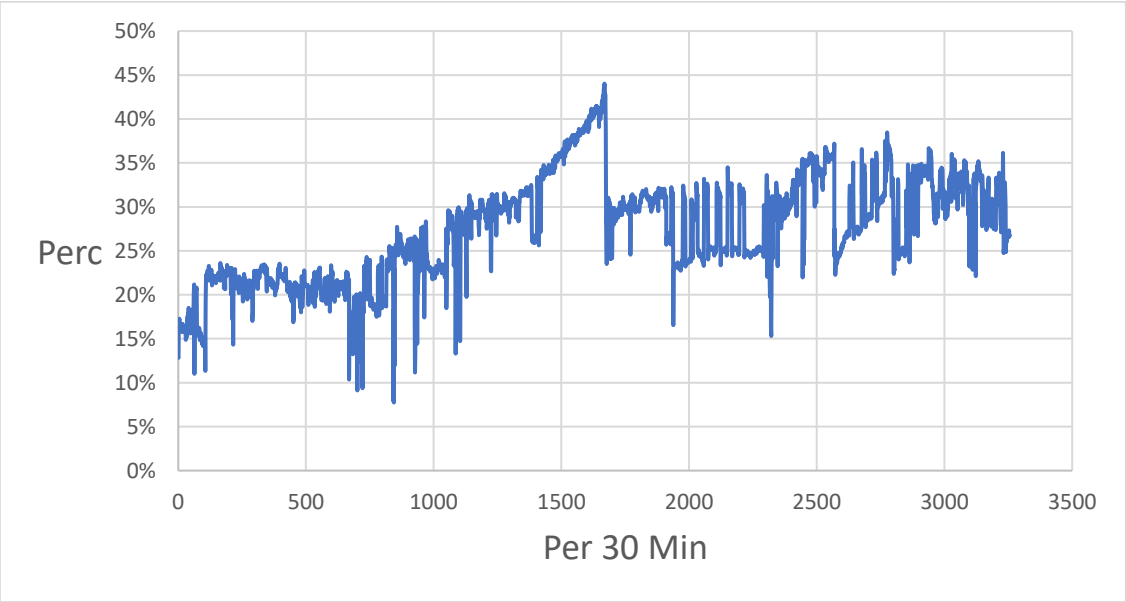
Διάγραμμα 82: Δείκτης απόδοσης του Tav DG2

DG2: T/C TEMP, KPI του T/C TEMP

<u>30 ΛΕΠΤΆ</u>

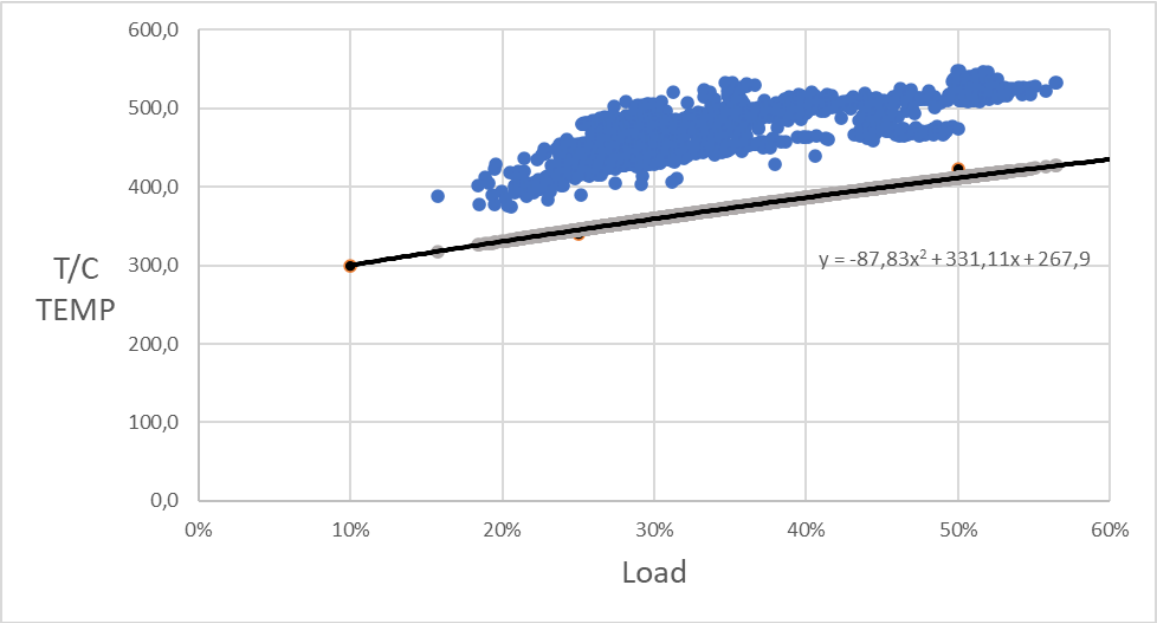


Διάγραμμα 83: Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του T/C TEMP DG2

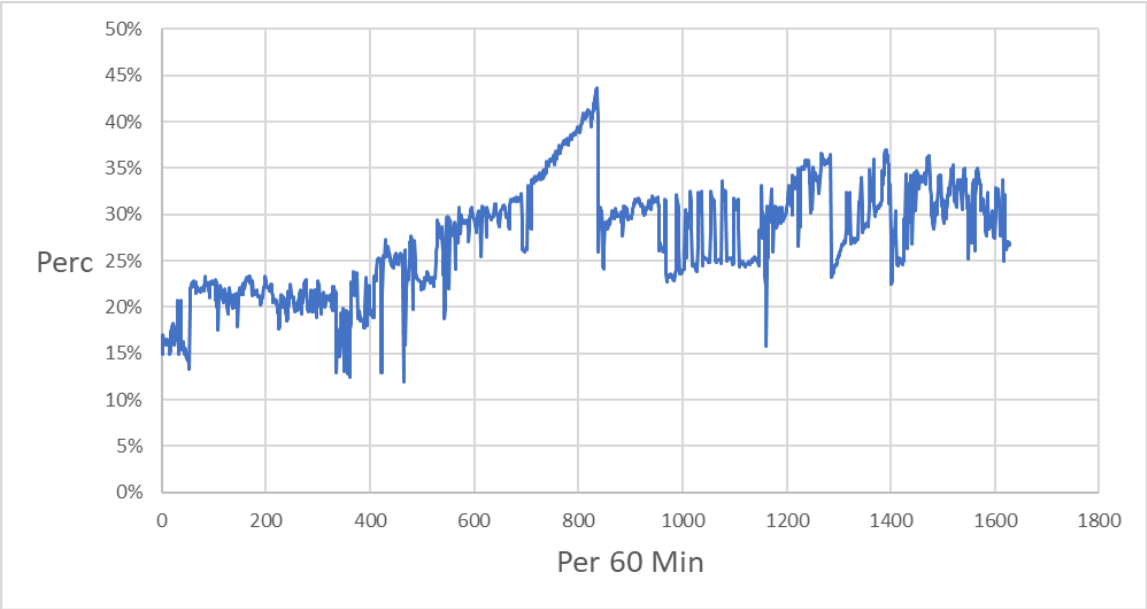


Διάγραμμα 84: Δείκτης απόδοσης του T/C TEMP DG2

60 ΛΕΠΤΆ



Διάγραμμα 85: Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του T/C TEMP DG2

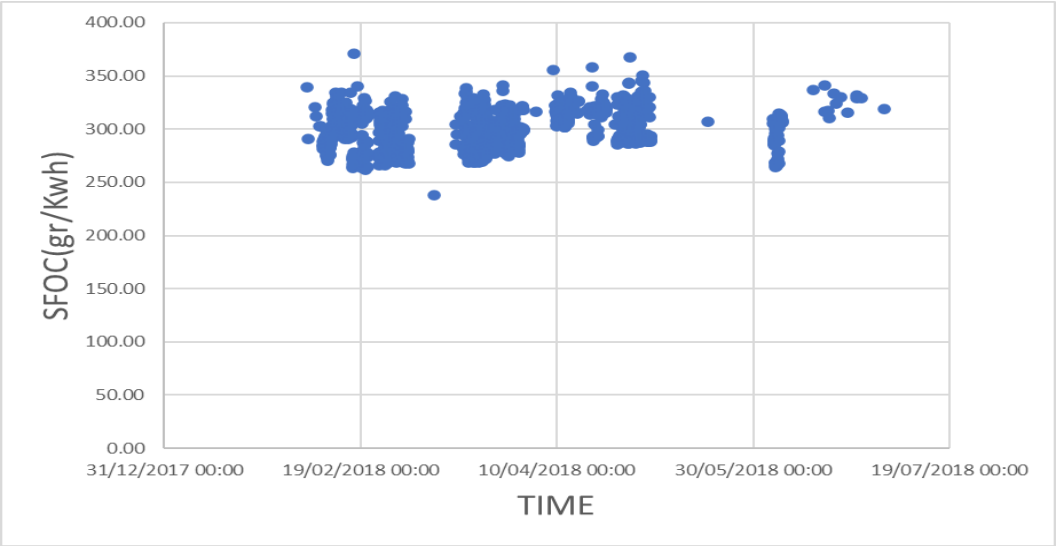


Διάγραμμα 86: Δείκτης απόδοσης του T/C TEMP DG2

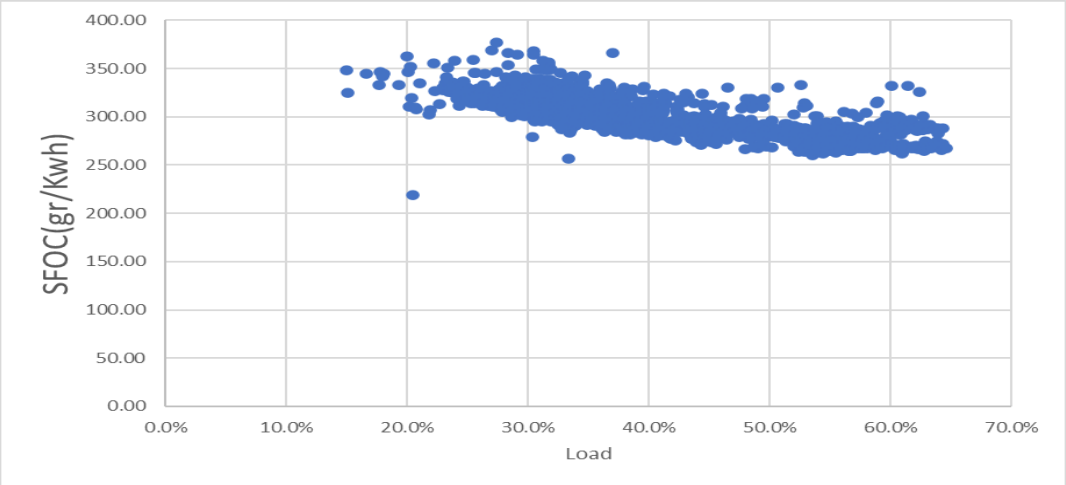
Για την τρίτη ηλεκτρογεννήτρια

SFOC TIME, SFOC LOAD, FOC LOAD

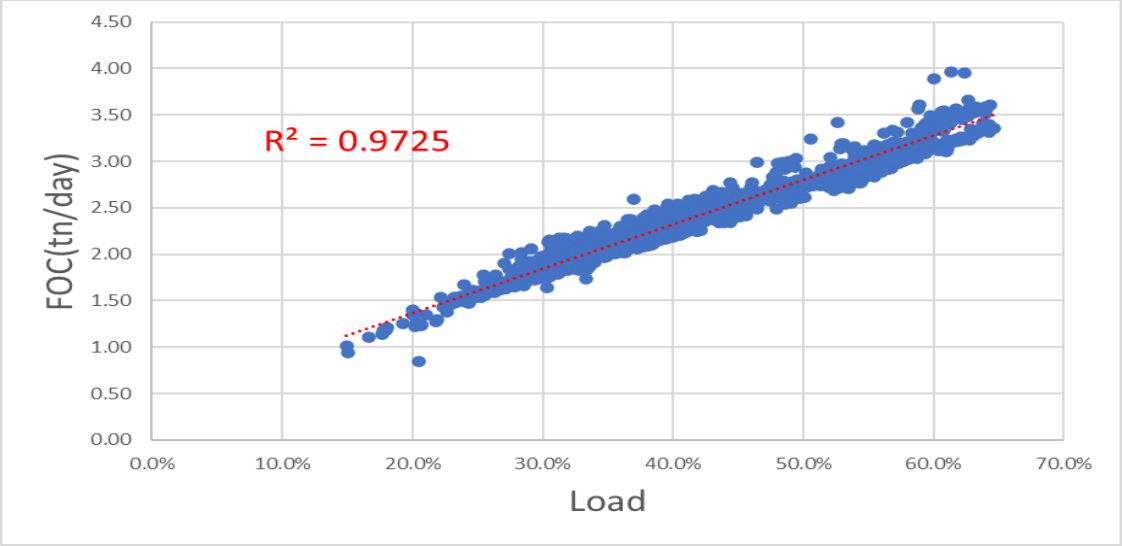
Ανά 30 λεπτά



Διάγραμμα 87: Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG3

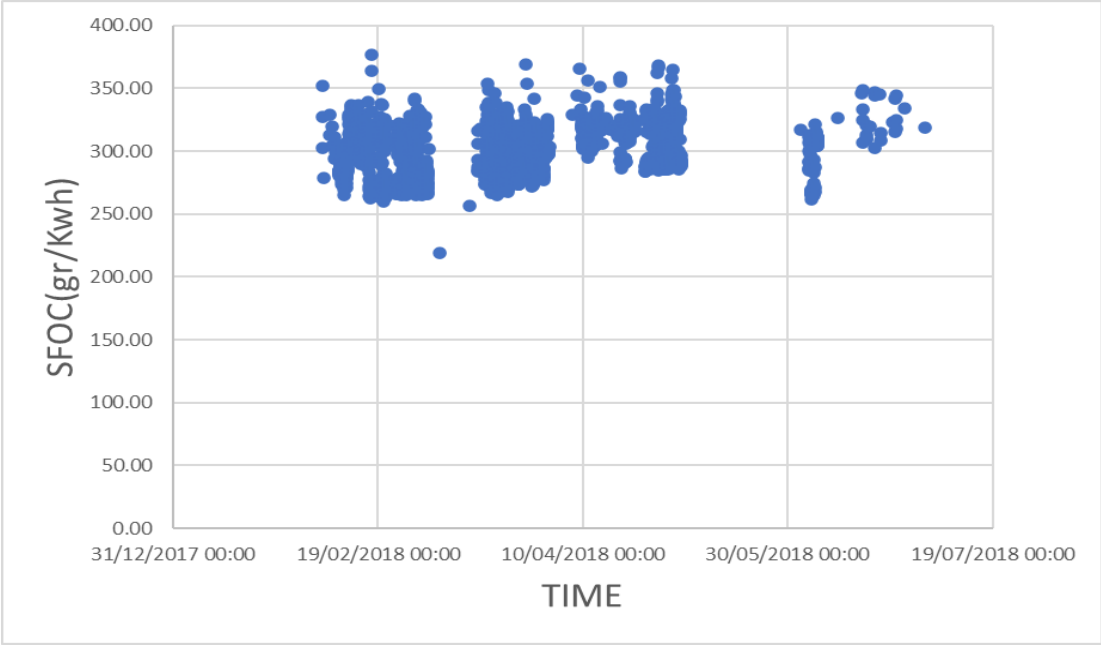


Διάγραμμα 88: Κατανάλωση καυσίμου ως προς φορτίο για DG3

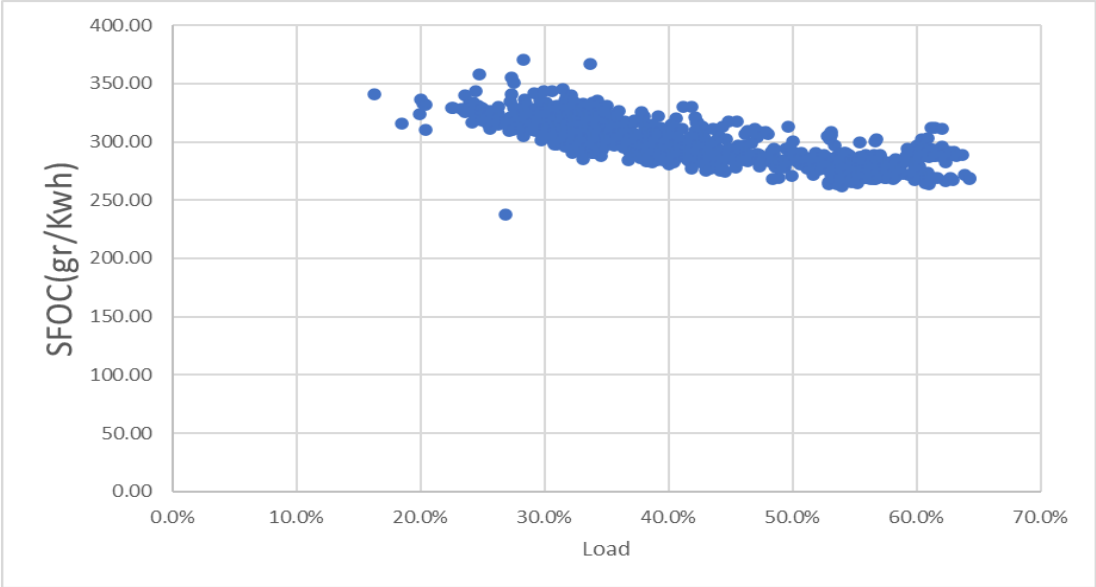


Διάγραμμα 89: Κατανάλωση καυσίμου ανά ημέρα ως προς φορτίο για DG3

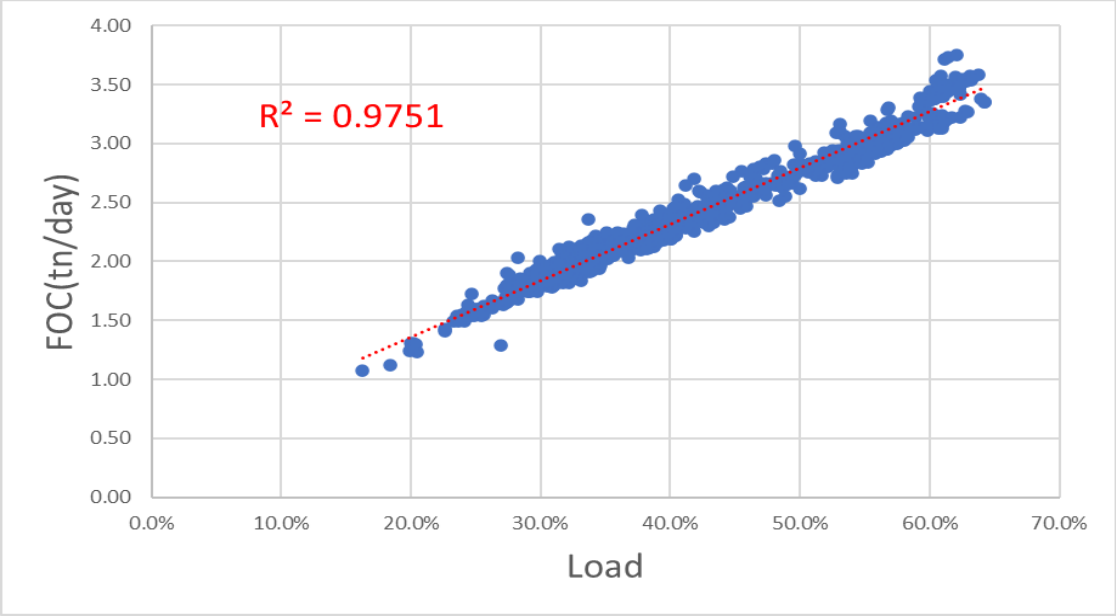
Ανά 60 λεπτά



Διάγραμμα 90: Κατανάλωση καυσίμου στο χρόνο DG3



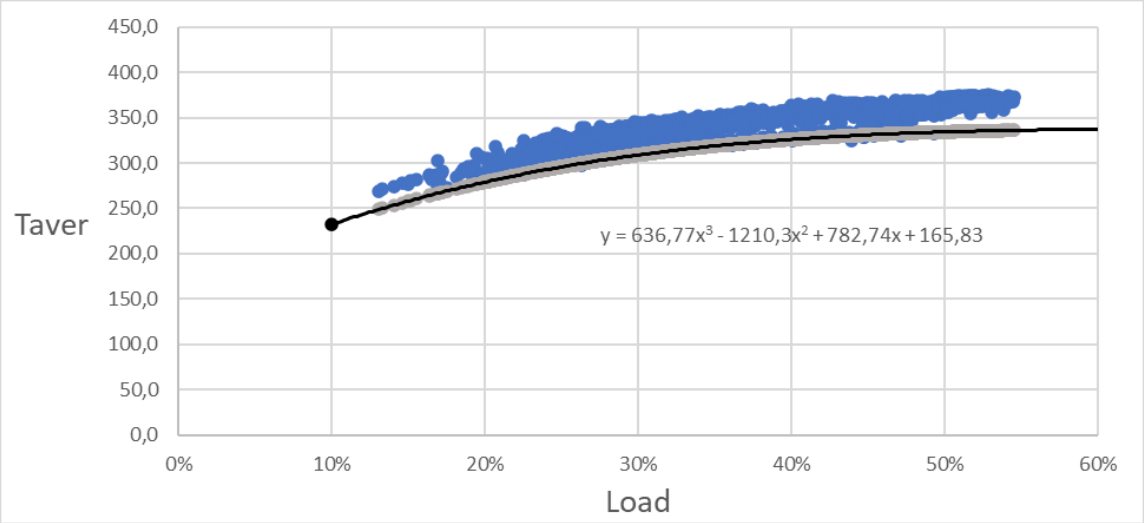
Διάγραμμα 91: Κατανάλωση καυσίμου ως προς φορτίο για DG3



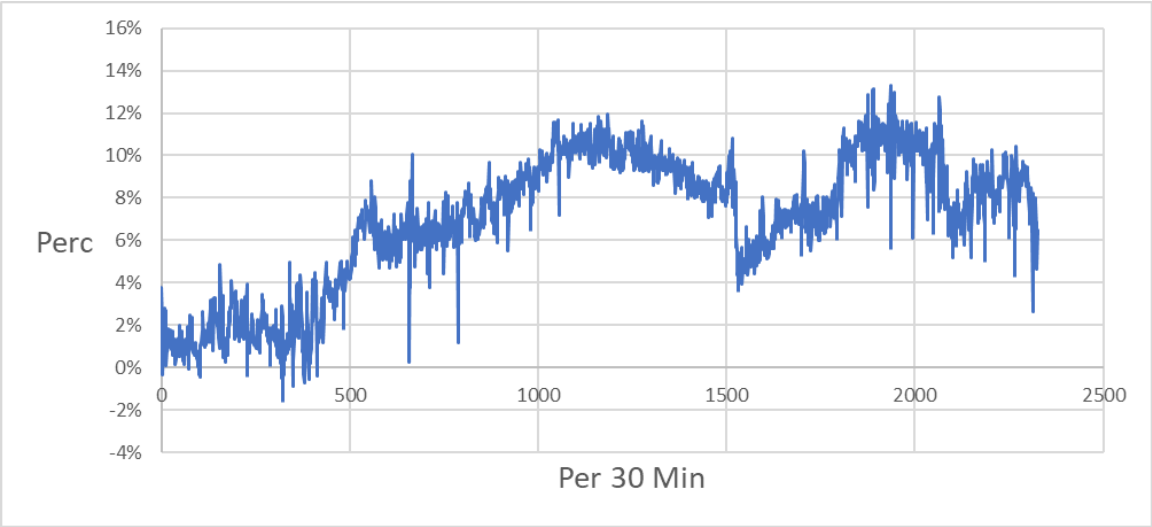
Διάγραμμα 92: Κατανάλωση καυσίμου ανά ημέρα ως προς φορτίο για DG3

DG3: T_{aver}, KPI του T_{aver}

30 ΛΕΠΤΆ

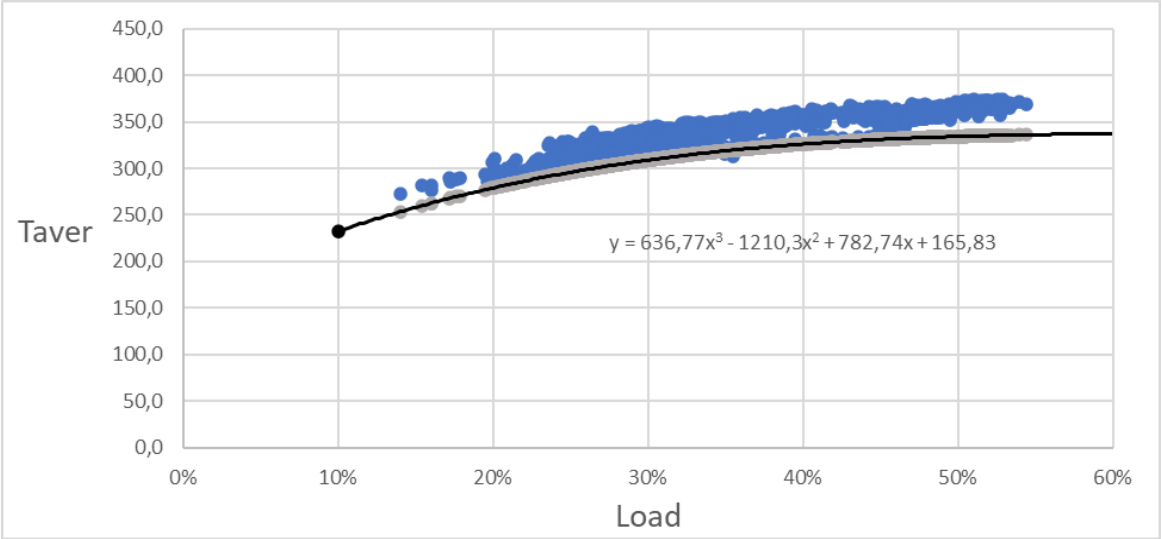


Διάγραμμα 93: Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του T_{AV} DG3

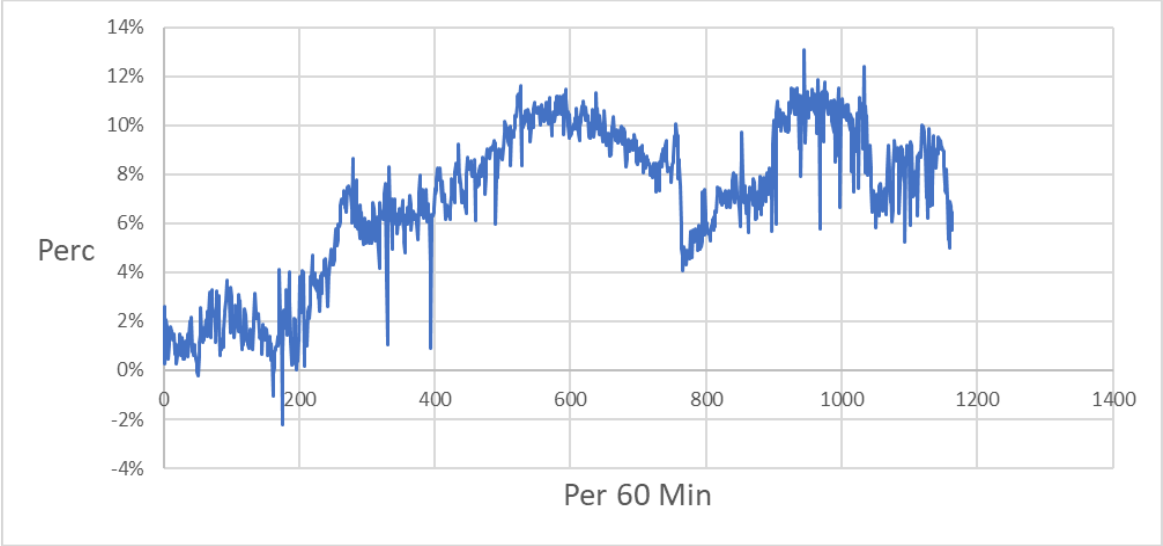


Διάγραμμα 94: Δείκτης απόδοσης του T_{AV} DG3

60 ΛΕΠΤΆ



Διάγραμμα 95: Πραγματικές και αναμενόμενες τιμές του Tav DG3



Διάγραμμα 96: Δείκτης απόδοσης του Tav DG3