



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάλυση της επίδρασης των μεθόδων συλλογής δεδομένων στον υπολογισμό της απόδοσης πλοίου σύμφωνα με το ISO 19030

ΚΟΚΚΙΝΟΣ ΔΑΝΑΟΣ-ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΘΕΜΕΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Ν. Θεμελή καθώς ήταν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας κοντά και σε κάθε ζήτημα που προέκυπτε η ανταπόκρισή του ήταν άμεση.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που ήταν το στήριγμά μου τόσο στη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και στη συνολική μου μέχρι σήμερα πορεία. Όπως επίσης και τους φίλους μου , την παρέα από τη σχολή, οι οποίοι ήταν δίπλα σε κάθε βήμα όλα αυτά τα χρόνια, αποτελώντας έμπνευση για μένα ώστε να προσηλωθώ στους στόχους μου.

Σύνοψη

Η μελέτη αυτή αποσκοπεί στον προσδιορισμό της επίδρασης που έχει η συχνότητα δειγματοληψίας στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον υπολογισμό της απόδοσης του πλοίου με την εφαρμογή του ISO 19030.

Ως δεδομένα δόθηκαν τέσσερα διαφορετικά σύνολα με διαφορά στο χρονικό βήμα καταγραφής των μετρήσεων (μετρήσεις ανά 24 ώρες, ανά 1 ώρα, ανά 15 λεπτά και ανά 5 λεπτά), ενός φορτηγού πλοίου για το χρονικό διάστημα εννέα μηνών. Στα δεδομένα εφαρμόστηκε το ISO 19030 που σκοπό έχει τον υπολογισμό των αλλαγών στην απόδοση της γάστρας και της έλικας. Οι αλλαγές αυτές οφείλονται αποκλειστικά στη ρύπανση που μολύνει τη γάστρα και την έλικα λόγω του χρόνου λειτουργίας του πλοίου. Αρχικά έγινε η επεξεργασία κάθε συνόλου δεδομένων, εν συνεχεία εφαρμόστηκαν οι διαδικασίες που ορίζει το πρότυπο ώστε να υπολογιστούν οι δείκτες απόδοσης και η αβεβαιότητά τους.

Η μελέτη ολοκληρώνεται με μία συγκριτική ανάλυση μεταξύ των διαφορετικών συνόλων δεδομένων προκειμένου να προσδιοριστεί κατά πόσο επηρεάζει τα αποτελέσματα η διαφορετική συχνότητα στην καταγραφή των δεδομένων.

Abstract

This study aims to specify the effect of the frequency of sampling at the results from the calculation of the ship's performance using the ISO 19030.

Four data sets were given with only difference the sampling frequency (measurements per 24 hours, per 1 hour, per 15 minutes and per 5 minutes), of a bulk carrier for a specific time period (9 months). The ISO 19030 was used in order to measure changes in hull and propeller performance and calculate a set of basic performance indicators. These changes are due to hull's and propeller's pollution on account of ship's operation. The first step was the data processing and then the fitting of the ISO 19030 methods.

The study is being completed by a comparative analysis between the data sets in order to calculate how the different sampling frequency affects the results when using the ISO 19030.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	2
Σύνοψη	3
Abstract	4
1 Εισαγωγή.....	7
1.1 Σκοπός της εργασίας.....	7
1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	8
1.3 Ο λόγος δημιουργίας του ISO 19030	9
2 Το πρότυπο ISO 19030.....	11
2.1 Πως δημιουργήθηκε το ISO 19030.....	11
2.2 Σκοπός του ISO 19030.....	12
2.3 Βασικές αρχές και εφαρμογές του ISO 19030	13
2.4 Παράμετροι για τη μέτρηση των αλλαγών στην απόδοση	13
2.5 Μετρήσεις και συλλογή δεδομένων	17
2.6 Δείκτες απόδοσης.....	17
2.7 Υπολογισμός τιμών απόδοσης	20
2.8 Υπολογισμός δεικτών απόδοσης.....	22
2.9 Εύρεση παρεκτρεπόμενων σημείων - Κριτήριο Chauvenet	25
2.10 Διόρθωση ισχύος εξαιτίας της αντίστασης του ανέμου	26
2.11 Υπολογισμός συντελεστή αντίστασης ανέμου	30
2.12 Αβεβαιότητα	32
2.13 Εκτίμηση της αβεβαιότητας για τους δείκτες απόδοσης.....	36
2.14 Σχηματική απεικόνιση των υπολογισμών.....	38
3 Εφαρμογή διαδικασιών του ISO 19030 στα δεδομένα	39
3.1 Παρουσίαση δεδομένων.....	39
Βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου.....	39
Αρχεία δεδομένων	40
Ταξίδι του πλοίου	41
Σταθερές μεταβλητές.....	42
3.2 Στατιστικά μετρήσεων	43
Προετοιμασία δεδομένων.....	46
Σύνθεση δεδομένων	46
Καθαρισμός δεδομένων	47

Επικύρωση δεδομένων.....	49
Διόρθωσης ισχύος εξαιτίας αντίστασης ανέμου	50
4 Αποτελέσματα.....	52
4.1 Υπολογισμός τιμών απόδοσης	53
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	59
4.3 Υπολογισμός αβεβαιότητας	60
4.4 Σύγκριση Noon reports με CMS δεδομένα	63
5 Συμπεράσματα.....	65
Βιβλιογραφία	66
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	67
Κώδικες Matlab:.....	67

1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία σκοπό έχει την με την εφαρμογή του ISO 19030 να προσδιοριστεί κατά πόσο επηρεάζει η συχνότητα δειγματοληψίας τα αποτελέσματα. Η ρύπανση στη ναυτιλία είναι ένα ζήτημα που όλο και περισσότερο συζητείται τα τελευταία χρόνια, με τις εταιρείες, διεθνείς οργανισμούς και τα κράτη να προσπαθούν να μειώσουν τις συνέπειες αυτής. Εκτός από τα προβλήματα της ρύπανσης στην ατμόσφαιρα και κατ' επέκταση την υγεία του ανθρώπου, υπάρχουν και προβλήματα στη λειτουργία και την απόδοση του πλοίου. Η ρύπανση της γάστρας και της έλικας, λόγω του χρόνου λειτουργίας στο θαλάσσιο περιβάλλον, προκαλεί ζητήματα που έχουν να κάνουν με τη μείωση της απόδοσης του πλοίου.

Το ISO 19030 είναι ένα μέσο που βοηθάει στον υπολογισμό των αλλαγών της απόδοσης της γάστρας και της έλικας εξαιτίας της ρύπανσης. Τα αποτελέσματά του είναι δείκτες απόδοσης που αφορούν τη μείωση της ταχύτητας με την πάροδο του χρόνου, για δεδομένη ισχύ λόγω της επίδρασης του θαλάσσιου περιβάλλοντος ή την αύξηση της ισχύος που απαιτείται ώστε να διατηρηθεί η ταχύτητα σε μία σταθερή τιμή.

Προκειμένου να υπολογιστούν οι δείκτες απόδοσης, χρειάζονται κάποιες μετρήσεις πάνω στις οποίες εφαρμόζεται το ISO 19030. Οι μετρήσεις αυτές είναι τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται και έχουν να κάνουν με τιμές που λήφθηκαν κατά τη λειτουργία του πλοίου, συναρτήσει του χρόνου, είτε με χειροκίνητη διαδικασία, είτε με αυτοματοποιημένη. Ο παράγοντας που μπορεί να αλλάξει σε κάθε σύνολο μετρήσεων είναι η συχνότητα με την οποία καταγράφονται, το όργανο μέτρησης και ο τρόπος καταγραφής. Στόχος, λοιπόν της μελέτης αυτής είναι να φανεί κατά πόσο η συχνότητα καταγραφής των δεδομένων επιδρά στον υπολογισμό της απόδοσης.

Χρησιμοποιήθηκαν λοιπόν ως δεδομένα, τέσσερα σύνολα δεδομένων που αναφέρονται στο ίδιο χρονικό διάστημα και διαφέρουν ως προς τη συχνότητα και τον τρόπο καταγραφής. Αυτά είναι ημερήσιες αναφορές (μετρήσεις ανά 24 ώρες), καθώς επίσης και αυτοματοποιημένες καταγραφές με συχνότητα δειγματοληψίας ανά 1 ώρα, ανά 15 λεπτά και ανά 5 αντίστοιχα.

Στα δεδομένα αυτά ακολουθήθηκαν οι διαδικασίες που ορίζει το ISO 19030, δηλαδή η επεξεργασία, το φιλτράρισμα και η επικύρωση τους, ενώ στη συνέχεια διορθώθηκε η ισχύς λαμβάνοντας υπόψη την αντίσταση του ανέμου, υπολογίστηκαν οι αποδόσεις απώλειας της ταχύτητας και αύξησης της ισχύος, οι δείκτες απόδοσης για κάθε σύνολο δεδομένων και η αβεβαιότητα που τους συνοδεύει. Μέσω των δεικτών απόδοσης και της αβεβαιότητας προήλθε η σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών συχνοτήτων καταγραφής.

Η εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Το κεφάλαιο 1 είναι η εισαγωγή όπου παρουσιάζει τους στόχους της εργασίας και προηγούμενες μελέτες που έχουν κοινό αντικείμενο και έχουν ληφθεί υπόψη.

Το 2^ο κεφάλαιο αναλύει το ISO 19030 παρέχοντας πληροφορίες για τους σκοπούς του, τις ανάγκες που καλύπτει, τη δημιουργία του, τις εφαρμογές του καθώς επίσης και τις παραμέτρους, τους δείκτες απόδοσης που αναφέρονται και καλύπτει το θεωρητικό υπόβαθρο που χρειάζεται ένας αναγνώστης για να κατανοήσει τα αποτελέσματα των υπολογισμών.

Το 3^ο κεφάλαιο αναλύει βασικές διαδικασίες που αναπτύσσονται κατά την εφαρμογή του ISO 19030 και χρησιμοποιήθηκαν και στους υπολογισμούς.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα, γίνεται μια στατιστική ανάλυση αυτών και εφαρμόζονται οι διαδικασίες που αναφέρονται στο 3^ο κεφάλαιο.

Στο 5^ο κεφάλαιο αναλύονται οι υπολογισμοί για τους δείκτες απόδοσης και την αβεβαιότητά τους, ενώ επίσης γίνεται και μια παράθεση αποτελεσμάτων με σκοπό τη σύγκριση των διαφορετικών συχνοτήτων καταγραφής των δεδομένων.

Τέλος, στο 6^ο κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα που προήλθαν από την παρούσα μελέτη.

1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η μελέτη των Themelis et al (2018) [7], πρόκειται για μία παρόμοια εργασία, όπου με εφαρμογή του ISO 19030 προχώρησε στη σύγκριση δεδομένων που έχουν καταγραφεί με ημερήσια, χειροκίνητη διαδικασία και δεδομένα που προέκυψαν από συνεχόμενη αυτόματη καταγραφή. Τα δεδομένα της αυτοματοποιημένης καταγραφής ήταν με συχνότητα δειγματοληψίας ανά 1 λεπτό για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας του υπό μελέτη πλοίου. Αφότου έγινε παρουσίαση των δεδομένων και στατιστική ανάλυση, εφαρμόστηκε το ISO 19030 για τις δύο διαφορετικές καταστάσεις φόρτωσης και η σύγκριση προχώρησε με ένα μοντέλο πρόβλεψης. Πιο συγκεκριμένα με χρήση γραμμής τάσης, υπολογισμό μέσων τιμών και τυπικών αποκλίσεων των μετρήσεων.

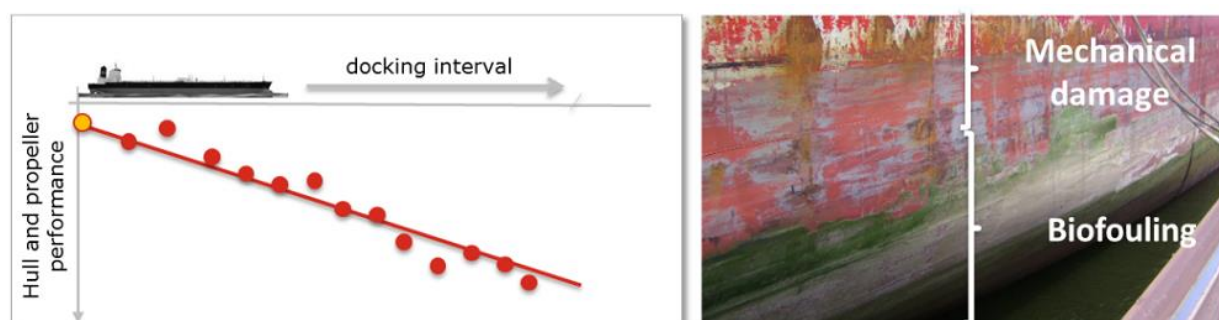
Το φυλλάδιο της INTERTANKO με τίτλο «Guide on the Best Practice for Tanker Performance Monitoring» [8], μία μελέτη του 2020, έχει ως σκοπό να δώσει πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή του ISO 19030 ως προς την επεξεργασία δεδομένων που προέρχονται από συνεχή αυτοματοποιημένη καταγραφή (CMS). Παρείχε χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή του προτύπου, την

παρουσίαση των αποτελεσμάτων και την συγκριτική ανάλυση με τη χρήση γραμμής τάσης (trend line).

1.3 Ο λόγος δημιουργίας του ISO 19030

Με τη σημερινή εποχή να χαρακτηρίζεται από την μεγάλη ανάγκη μείωσης της περιβαλλοντικής ρύπανσης, η εφαρμογή του ISO 19030 καθίσταται ως ένα μέσο που μπορεί να συμβάλει σε αυτό. Η βοήθεια που μπορεί να προσφέρει είναι στη μέτρηση των αλλαγών στην απόδοση της γάστρας και της έλικας. Με τον όρο απόδοση εννοείται η συσχέτιση της κατάστασης της γάστρας και της έλικας με την ισχύ που απαιτείται για την κίνηση του πλοίου με μια συγκεκριμένη ταχύτητα.

Τα περισσότερα πλοία μόλις αφήσουν το ναυπηγείο ή ύστερα από κάποιο δεξαμενισμό παρουσιάζουν αρκετά καλή κατάσταση στη γάστρα και την έλικα. Στη συνέχεια όμως, λόγω του θαλασσινού περιβάλλοντος και του συνδυασμού της βιο-ρύπανσης και της μηχανικής βλάβης (biofouling, mechanical damage) η απόδοση της γάστρας και της έλικας χειροτερεύει, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1.



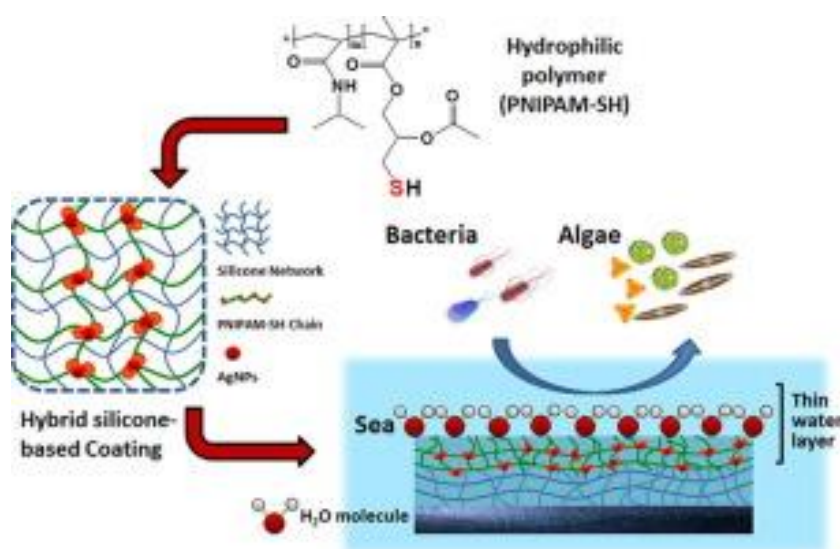
Εικόνα 1.1: βιο-ρύπανση και μηχανικές βλάβες [5]

Στη διάρκεια ζωής του πλοίου μικροοργανισμοί, φυτά, άλγη και ζώα μπορούν να προσκολληθούν στη γάστρα και την έλικα κατά τη διαδικασία που ονομάζεται βιο-ρύπανση (Εικόνα 1.2). Έτσι δημιουργείται ένα επιφανειακό στρώμα, που επηρεάζει τα κατασκευαστικά υλικά, την απόδοση του πλοίου αυξάνοντας την αντίσταση, το κόστος της μεταφοράς και αποτελεί απειλή για το θαλάσσιο περιβάλλον. Οι οργανισμοί που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη λειτουργία του πλοίου μειώνοντας την ταχύτητα έως και 10%, κάτι που σημαίνει ότι η κατανάλωση καυσίμου μπορεί να αυξηθεί κατά 40%. Είναι σημαντικό λοιπόν να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό. [6]



Εικόνα 1.2 Ρύπανση της γάστρας και της έλικας. [10]

Για την καταπολέμηση της βιο-ρύπανσης υπάρχει ένα πλήθος τεχνολογιών και επικαλύψεων που βοηθάει στην αναστολή της θαλάσσιας βιολογικής ρύπανσης και της βιολογικής διάβρωσης (Εικόνα 1.3). Πολυμερικές επικαλύψεις, που διαθέτουν ανθεκτικές στη ρύπανση ιδιότητες, δυνατότητες απελευθέρωσης ρύπανσης και αντιμικροβιακές ιδιότητες, σχεδιάστηκαν και συντέθηκαν μέσω ελεγχόμενου πολυμερισμού ριζών και χημείας, είναι ένας συνήθης τρόπος αντιμετώπισης της θαλάσσιας ρύπανσης. (1)



Εικόνα 1.3 Τρόποι καταπολέμησης της βιο-ρύπανσης[1]

Σύμφωνα με τον CSC (Clean Shipping Coalition), μειωμένη απόδοση της γάστρας και της έλικας μεταφράζεται περίπου στο 1/10 του συνολικού ενεργειακού κόστους για τον παγκόσμιο στόλο και σε 0,3% αύξηση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα (MEPC 63-4-8). Τα δεδομένα της έρευνας αυτής προήλθαν από μία εκ βάθους μελέτη πάνω στις αλλαγές της απόδοσης της γάστρας και της έλικας 32 πλοίων για πάνω από 48 ταξίδια. Η μέτρηση των αλλαγών της απόδοσης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του πλοίου και την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Από την έρευνα προκύπτει ότι η σχέση μεταξύ της συνολικής απόδοσης του πλοίου και της απόδοσης της γάστρας και της έλικας είναι 1:1, δηλαδή 1% αλλαγή στην απόδοση της γάστρας και της έλικας οδηγεί σε 1% αλλαγή αντίστοιχα της συνολικής αποδοτικότητας του πλοίου. Η εταιρεία Jotun, η οποία έχει οδηγήσει τη βιομηχανία στην ανάπτυξη του προτύπου, πιστεύει πως η κίνηση αυτή έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 10%, εξοικονομώντας παράλληλα στους διαχειριστές των πλοίων έως και \$30 δις σε ετήσια κόστη ενέργειας. [6]

2 Το πρότυπο ISO 19030

2.1 Πως δημιουργήθηκε το ISO 19030

Η διαδικασία για την ανάπτυξη του ISO-19030 ξεκίνησε όταν το περιβαλλοντικό ίδρυμα Bellona και η εταιρεία υφαλοχρωμάτων Jotun A/S είχε ανεπίσημες συζητήσεις πάνω στον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσε να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση στο ναυτιλιακό τομέα. Το ίδρυμα Bellona προσπάθησε να βρει έναν έγκυρο τρόπο αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης προκειμένου να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών CO₂, ενώ η Jotun A/S βρισκόταν σε αναζήτηση τρόπων μέτρησης της απόδοσης της γάστρας και της έλικας.

Μια σειρά από σεμινάρια που πραγματοποιήθηκαν αύξησε τον αριθμό των ενδιαφερόμενων για ένα κοινό τρόπο παρακολούθησης μεταξύ των επιδόσεων. Έτσι το ίδρυμα Bellona και Jotun παρουσίασαν στην IMO-MEPC (International marine organization-Marine environment protection committee) τον τρόπο μετρήσεων της απόδοσης της γάστρας και της προπέλας.

Οι εργασίες του ISO ξεκίνησαν τον Ιούνιο του 2013. Ακολούθησε μια σειρά από συναντήσεις: στο Όσλο τον Ιούνιο του 2013, στο Τόκιο το Νοέμβριο του 2013, στο Αμβούργο τον Ιούλιο του 2014, στο Πούσαν της Ν. Κορέας το Νοέμβριο του 2014, στο Σαν Ράμον της Καλιφόρνιας το Φεβρουάριο του 2015 και στη Κοπεγχάγη το Σεπτέμβριο του 2015. Περισσότεροι από πενήντα εμπειρογνώμονες και παρατηρητές, που εκπροσωπούσαν πλοιοκτήτες, ενώσεις ναυτιλίας, ναυπηγεία κατασκευής πλοίων,

κατασκευαστές επιστρώσεων, ακαδημαϊκά ιδρύματα και ΜΚΟ, συμμετείχαν στις ομάδες εργασίες του ISO.

Κατά τη διαδικασία σύνταξης φάνηκε η ανάγκη για τη θέσπιση πιο αυστηρών μεθόδων λαμβάνοντας υπόψη τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται συνήθως για την αξιολόγηση της απόδοσης. Αυτό οδήγησε στον καταμερισμό του ISO σε τρία μέρη. Ένα προσχέδιο του πρώτου και δεύτερου μέρους κατατέθηκε πρόχειρα το Μάρτιο του 2015 και το Δεκέμβρη του 2015 κατατέθηκαν τα προσχέδια και για τα τρία μέρη. Η επίσημη έκδοση του πρότυπου έγινε τον Ιούνιο του 2016. [5]

2.2 Σκοπός του ISO 19030

Η απόδοση της γάστρας και της έλικας του πλοίου αναφέρεται στη σχέση μεταξύ της κατάστασης της γάστρας και της έλικας του πλοίου και στην ισχύς που απαιτείται για να κινηθεί αυτό μέσα στο νερό σε μια δεδομένη ταχύτητα. Με τις μετρήσεις των αλλαγών της απόδοσης της γάστρας και της έλικα στην πάροδο του χρόνου είναι δυνατόν να υπολογιστεί η επίδραση των διαδικασιών συντήρησης, επισκευής και μετασκευής στη συνολική απόδοση του πλοίου.

Ο σκοπός του πρότυπου είναι να ορίσει πρακτικές μεθόδους για τη μέτρηση των αλλαγών της απόδοσης της γάστρας και της έλικας και να καθορίσει μια σειρά από σχετικούς δείκτες απόδοσης, συντήρησης, επισκευής, μετασκευής. Οι προτεινόμενοι μέθοδοι δεν προορίζονται για τη σύγκριση της απόδοσης διαφορετικών τύπων και μεγεθών μεταξύ πλοίων (συμπεριλαμβανομένων των συγγενών πλοίων), ούτε για να χρησιμοποιηθούν σε ένα ρυθμιστικό πλαίσιο.

Το ISO 19030 αποτελείται από τρία μέρη:

- Το πρώτο μέρος περιγράφει τις γενικές αρχές και τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να μετρηθούν οι αλλαγές της απόδοσης της γάστρας και της έλικας του πλοίου και ορίζει ένα σύνολο δεικτών απόδοσης για την απόδοση της συντήρησης γάστρας και της έλικας, της επισκευής και τις δραστηριότητες μετασκευής.
- Το δεύτερο μέρος ορίζει τη μέθοδο για τη μέτρηση των μεταβολών της γάστρας και έλικας και για τον υπολογισμό των δεικτών απόδοσης (default method). Παρέχει επίσης καθοδήγηση για την αναμενόμενη ακρίβεια του κάθε δείκτη απόδοσης που ορίζει.
- Το τρίτο μέρος περιγράφει εναλλακτικές μεθόδους στην περίπτωση που δεν μπορεί να εφαρμοστεί η βασική μέθοδος από το δεύτερο μέρος του πρότυπου. Οι εναλλακτικές λύσεις οδηγούν σε χαμηλότερη συνολική ακρίβεια αλλά αυξάνουν τις πιθανότητες εφαρμογής του πρότυπου. Παρέχει επίσης καθοδήγηση σχετικά με το μέγεθος των επιπτώσεων της ακρίβειας του κάθε δείκτη απόδοσης.

[3]

2.3 Βασικές αρχές και εφαρμογές του ISO 19030

Το ISO 19030 συνοπτικά καθορίζει τις απαιτήσεις των αισθητήρων, τις διαδικασίες μέτρησης, συμπεριλαμβανομένων των διαφόρων φίλτρων και τις διορθώσεις λόγω σφαλμάτων, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να υπολογιστούν τέσσερις δείκτες απόδοσης του πλοίου που σχετίζονται με την απόδοση κατά τη διάρκεια της κατασκευής, επισκευής και μετασκευής.

Οι υπολογισμοί του προτύπου επικεντρώνονται στην απόδοση της γάστρας και της έλικας και δεν καλύπτουν τη συνολική απόδοση του πλοίου. Σε περίπτωση που ζητούμενο ήταν ο προσδιορισμός της συνολικής απόδοσης του πλοίου θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη κι άλλες παράμετροι όπως η ενεργειακή απόδοση της κύριας μηχανής και η ποιότητα των καυσίμων

Η βασική μέθοδος που περιγράφεται στο δεύτερο μέρος του πρότυπου καθορίζει πώς οι πλοιοκτήτες και οι διαχειριστές μπορούν να επιτύχουν την πιο ακριβή μέτρηση των αλλαγών της απόδοσης της γάστρας και της έλικας. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εφαρμογή του εξοπλισμού μέτρησης, πληροφορίες, διαδικασίες και μεθοδολογίες που είναι γενικά διαθέσιμες και διεθνώς αναγνωρισμένες.

Ένας αριθμός των πλοίων που δεν είναι εξοπλισμένα με τις συσκευές μέτρησης, τις απαιτούμενες πληροφορίες, διαδικασίες και μεθοδολογίες που απαιτούνται για την κάλυψη της default method, ακολουθούν τις εναλλακτικές λύσεις που παρέχονται στο τρίτο μέρος του πρότυπου.

2.4 Παράμετροι για τη μέτρηση των αλλαγών στην απόδοση

Οι μεταβολές που απαιτούνται στην αποδιδόμενη ισχύ για να μετακινηθεί το πλοίο με μια δεδομένη ταχύτητα οφείλονται σε αλλαγές στην απόδοση της έλικας ή/και σε αλλαγές της αντίστασης της γάστρας. Η απόδοση της έλικας και η αντίσταση της γάστρας δεν είναι άμεσα μετρήσιμες ποσότητες, επομένως η απόδοση της γάστρας και της έλικας σχετίζεται με εναλλαγές στην ισχύ.

Η αποδιδόμενη ισχύς, P_D , μπορεί να εκφραστεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$P_D = \frac{R_T \times V}{\eta_e} \quad (2.1)$$

Όπου,

R_T : η συνολική αντίσταση (N)

V: η ταχύτητα του πλοίου στο νερό (m/s)

η_Q : συντελεστής απόδοσης πρόωσης

Η συνολική αντίσταση υπολογίζεται από το άθροισμα των συνιστωσών αντιστάσεων:

$$R_T = R_{SW} + R_{AA} + R_{AW} + R_{AH} \quad (2.2)$$

Όπου,

R_{SW} : η αντίσταση σε ήρεμο (N)

R_{AA} : η αντίσταση λόγω ανέμου (N)

R_{AW} : η αντίσταση λόγω κυμάτων (N)

R_{AH} : Πρόσθετη αντίσταση λόγω μεταβολών στην κατάσταση της γάστρας (N)

Όμοια η ο συντελεστής απόδοσης πρόωσης υπολογίζεται ως εξής:

$$\eta_Q = \eta_O \eta_H \eta_R \quad (2.3)$$

Όπου,

η_O : η απόδοση της έλικας σε ανοιχτό νερό

η_H : η απόδοση της γάστρας

η_R : σχετική περιστροφική απόδοση της έλικας

Η πρόσθετη αντίσταση λόγω αλλαγών στην κατάσταση της γάστρας μπορεί να εκφραστεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$R_{AH} = \frac{P_D \times \eta_p}{V} - (R_{SW} + R_{AA} + R_{AW}) \quad (2.4)$$

Όπου πλέον η ταχύτητα μπορεί να υπολογιστεί άμεσα και η αποδιδόμενη ισχύς P_D μπορεί να προσδιοριστεί είτε με μετρήσεις στον άξονα, είτε μέσω μετρήσεων της κατανάλωσης καυσίμου.

Για τη μέτρηση των αλλαγών στη σχέση ταχύτητας-ισχύος ενός πλοίου που βρίσκεται σε λειτουργία, θα πρέπει να γίνει σύγκριση μεταξύ δύο περιόδων (περίοδος αναφοράς και μια περίοδος αξιολόγησης). Σε αυτές τις περιόδους, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και το λειτουργικό προφίλ πρέπει να είναι επαρκώς συγκρίσιμες καταστάσεις. Με βάση το ISO 19030 ορίζονται κάποιες διαδικασίες φιλτραρίσματος και διορθώσεων

προκειμένου τα δεδομένα να δοθούν με επαρκή ακρίβεια και να επιτευχθεί η σύγκριση των δύο περιόδων λειτουργίας.

Ο βασικός στόχος του ISO 19030 είναι ο υπολογισμός των αλλαγών στην απόδοση του πλοίου λόγω της ρύπανσης στη γάστρα. Η ρύπανση αυτή έχει ως αποτέλεσμα της επιβολή μίας πρόσθετης αντίστασης που μειώνει την απόδοση της λειτουργίας του πλοίου, όμως η πρόσθετη αντίσταση της γάστρας και η απόδοση της έλικας δεν είναι άμεσα μετρήσιμες ποσότητες. Ωστόσο σχετίζονται με εναλλαγές στην ισχύ και την ταχύτητα του πλοίου. Το μοντέλο της απόδοσης βασίζεται στην σχέση μεταξύ της αποδιδόμενης ισχύος και στην συνολική αντίσταση. Επομένως η αποδιδόμενη ισχύς, P_D και κατ' επέκταση και η ταχύτητα του πλοίου V_D θεωρούνται κύριες παράμετροι κατά τη μέτρηση των αλλαγών της απόδοσης της γάστρας και της έλικας. Σύμφωνα και με τα παραπάνω, προκειμένου να επιτευχθεί η σύγκριση μέσω των διαδικασιών του φιλτραρίσματος και των διορθώσεων, απαιτείται η παρακολούθηση των εξής παραμέτρων (δευτερεύουσες παράμετροι) ανά κατηγορία:

Περιβαλλοντικοί παράμετροι:

- Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου
- Ύψος, ταχύτητα και προφίλ κυμάτων
- Βάθος νερού
- Θερμοκρασία και πυκνότητα νερού

Λειτουργικές παράμετροι :

- Ταχύτητα
- Συνθήκες φόρτωσης
- Γωνία πηδαλίου

[4]

Όπως είναι λογικό, οι παραπάνω παράμετροι στο πλοίο είναι μεταβλητές. Προκειμένου όμως να γίνει η παρακολούθηση των αλλαγών στην απόδοση του πλοίου θα πρέπει οι περιβαλλοντικές συνθήκες και οι καταστάσεις λειτουργίας να είναι συγκρίσιμες. Η σύγκριση αυτή επιτυγχάνεται με το φιλτράρισμα και τη διόρθωση των παραμέτρων αυτών.

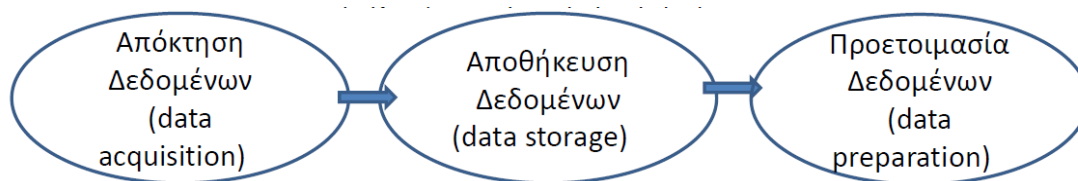
Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι παράμετροι μαζί με τα όργανα μέτρησης, την ακρίβεια αυτών και τις μονάδες μέτρησης.

Πίνακας 2.1 Παράμετροι μετρήσεων

Παράμετρος	Αποδεκτή συσκευή	Μονάδα μέτρησης
Ταχύτητα	Speed Log	κόμβοι
Αποδιδόμενη ισχύς	Μέθοδος Α: χρήση μετρητή ισχύος στον άξονα Μέθοδος Β: υπολογισμός της παραγόμενης ισχύος με χρήση της κατανάλωσης καυσίμου και της ειδικής κατανάλωσης	kW
Σχετική ταχύτητα ανέμου και διεύθυνση ανέμου στο ύψος του ανεμομέτρου	Ανεμόμετρο πλοίου Ελάχιστη ακρίβεια αισθητήρα $\pm 1\text{m/s}$, $\pm 5^\circ$	[m/s], [$^\circ$]
Ταχύτητα εδάφους	GPS	[knots]
Κατεύθυνση πλοίου	Πυξίδα	[$^\circ$]
Στροφές άξονα	Οπτικός αισθητήρας, στροφόμετρο με ελάχιστη ακρίβεια αισθητήρα $\pm 0,5\%$	[min^{-1}]
Στατικό βύθισμα εμπρός και πίσω	Πληροφορίες από υπολογιστή μέτρησης φορτίου ή ισοδύναμες πηγές για στατικό ρεύμα.	[m]
Βάθος νερού	Αισθητήρας ήχου πλοίου με ακρίβεια: - +/- 0.5m σε εύρος κλίμακας 20 m, αντίστοιχα - +/- 5m σε εύρος κλίμακας 200m - +/- 2,5% του υπολογισμένου βάθους	[m]
Γωνία στροφής πηδαλίου	Ένδειξη γωνίας πηδαλίου - Ελάχιστη ακρίβεια αισθητήρα $\pm 1^\circ$	[$^\circ$]
Θερμοκρασία θαλασσινού νερού	Θερμόμετρο	[$^\circ\text{C}$]

2.5 Μετρήσεις και συλλογή δεδομένων

Όσο αφορά τις μετρήσεις και τη συλλογή των δεδομένων υπάρχουν τρεις βασικές διαδικασίες (Εικόνα 2.4):



Εικόνα 2.4: Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Συλλογή των δεδομένων: η συλλογή των δεδομένων αναφέρεται στη συστηματική διαδικασία συλλογής των σημάτων από σχετικούς αισθητήρες και από εξοπλισμό που εγκαθίσταται επί του σκάφους ή από εξωτερικές πηγές πληροφόρησης. Η καταγραφή και συλλογή μπορεί να είναι αυτοματοποιημένη (Continuous Monitoring System) είτε με χειροκίνητο τρόπο, όπου τυπικά πραγματοποιείται ημερησίως (Noon Reports).

Διατήρηση δεδομένων: Η διατήρηση δεδομένων αναφέρεται στην αποθήκευση και στη διατήρηση των δεδομένων που συλλέγονται σε κατάλληλη μορφή αποθήκευσης.

Προετοιμασία δεδομένων: Η προετοιμασία των δεδομένων περιλαμβάνει τη διαδικασία της εξαγωγής, συσσώρευση, διαλογής και επικύρωσης των δεδομένων με στόχο τη δημιουργία κατάλληλης δομής, μορφής και ποιότητας για περαιτέρω επεξεργασία και υπολογισμών τιμών απόδοσης που αντικατοπτρίζουν τις μεταβολές στην απόδοση της κοίτης και της έλικας σε δεδομένες χρονικές στιγμές.

Τόσο οι κύριες όσο και οι δευτερεύουσες παράμετροι συνοδεύονται από τη χρονική στιγμή που καταγράφηκαν και σε κάθε σετ δεδομένων οι παράμετροι έχουν το ίδιο χρονικό βήμα ανάμεσα στις μετρήσεις.

Η χρονική στιγμή της κάθε μέτρησης (Unique Identifier) μαζί με τις παραμέτρους που τη συνοδεύουν συνθέτουν ένα “data point” και το συνολικό αρχείο των “data points” ονομάζεται «ανακτημένο σύνολο σημείων» (retrieved data set). Έτσι προκύπτουν σετ δεδομένων τα οποία χαρακτηρίζονται από το χρονικό βήμα μεταξύ των διαδοχικών μετρήσεων για ένα χρονικό εύρος λειτουργίας του πλοίου.

2.6 Δείκτες απόδοσης

Αρχικά το σετ δεδομένων θα πρέπει να έχει περάσει την παραπάνω διαδικασία ώστε τα δεδομένα να έχουν καταλλήλως επεξεργαστεί και να είναι ικανά να δώσουν ακριβή αποτελέσματα. Για την εφαρμογή του ISO 19030 σε ένα σετ δεδομένων, προκειμένου

να υπολογιστούν οι αλλαγές στην απόδοση της γάστρας και της έλικας γίνεται ο προσδιορισμός των δεικτών απόδοσης.

Οι δείκτες αυτοί είναι:

Δείκτης απόδοσης PI-1 – Απόδοση δεξαμενισμού: Παρέχεται πληροφορία σχετικά με την αποτελεσματικότητα των προηγούμενων διαδικασιών δεξαμενισμού και του τωρινού δεξαμενισμού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.5. Για τα σύμβολα ισχύει:

DDn: παρών δεξαμενισμός

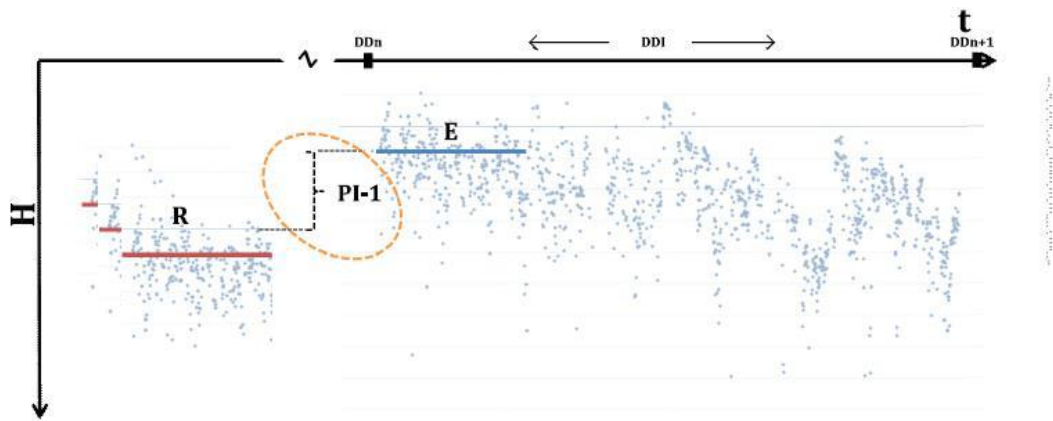
DDn+1 : επόμενος δεξαμενισμός

DDI: διάστημα δεξαμενισμού

R: περίοδος αναφοράς

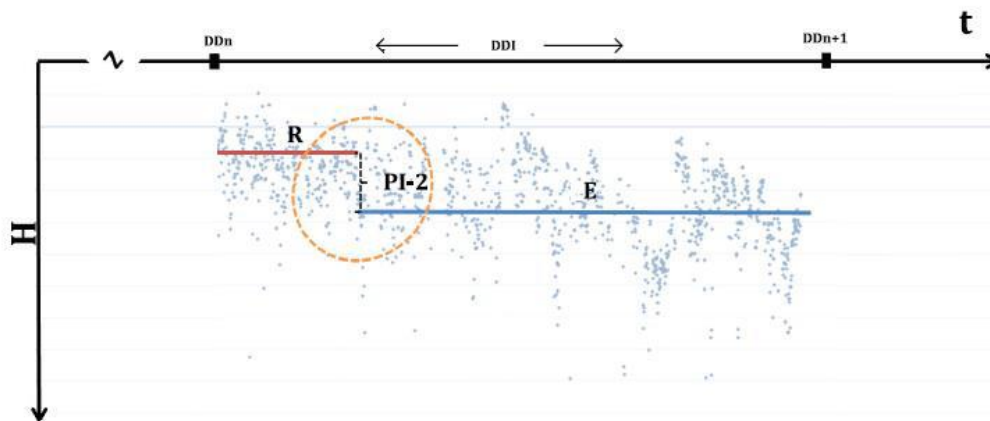
E: περίοδος εκτίμησης

H: τιμή της απόδοσης



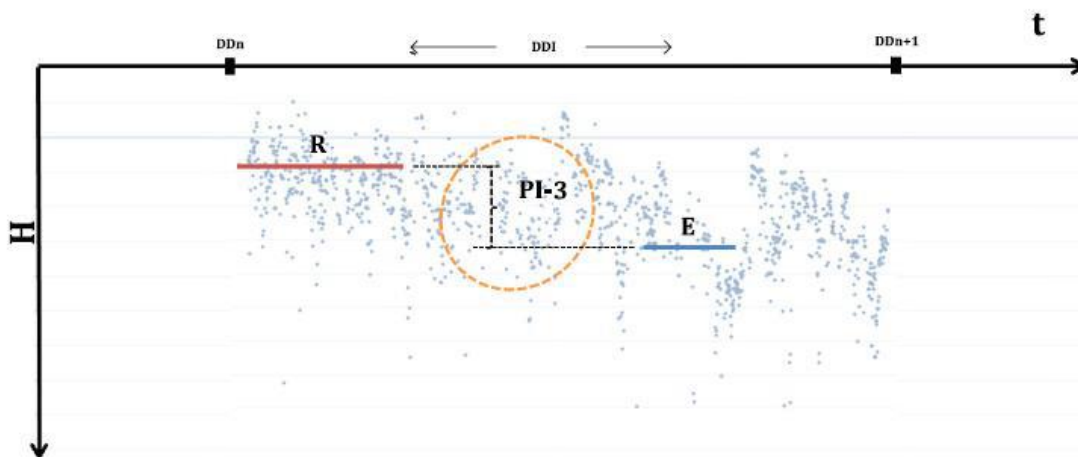
Εικόνα 2.5: Δείκτης απόδοσης PI-1 – Απόδοση δεξαμενισμού [4]

Δείκτης απόδοσης PI-2 – Απόδοση εν λειτουργία: Προσδιορισμός της αποτελεσματικότητας της επέμβασης κατά το δεξαμενισμό. Υπολογίζεται η αποτελεσματικότητα του καθαρισμού της γάστρας και της έλικας, των χρωμάτων και άλλων παρεμβάσεων που στόχο έχουν τη βελτίωση της λειτουργίας του πλοίου.



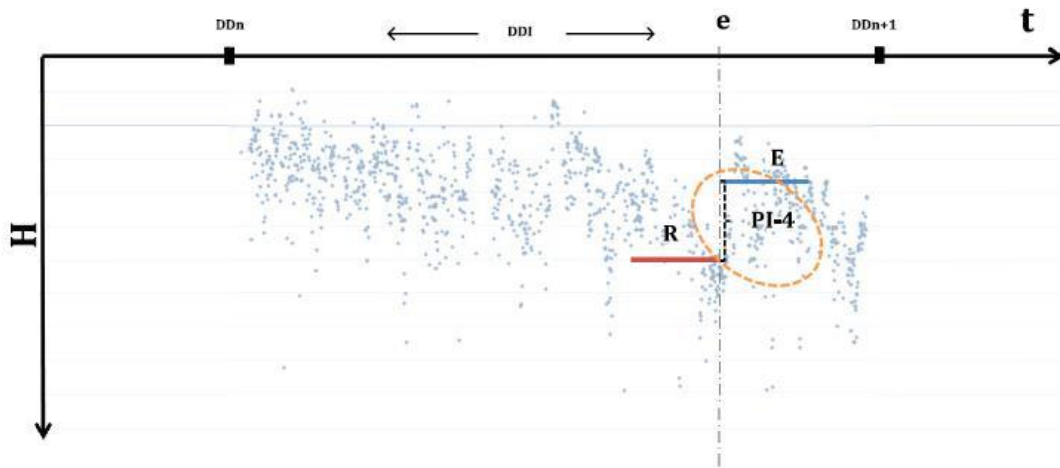
Εικόνα 2.6: Δείκτης απόδοσης PI-2 – Απόδοση εν λειτουργία [4]

Δείκτης απόδοσης PI-3 – Έναυσμα για συντήρηση: Προσδιορίζει η χρονική στιγμή που είναι απαραίτητη η συντήρηση της γάστρας και της έλικας.



Εικόνα 2.7: Δείκτης απόδοσης PI-3 – Έναυσμα για συντήρηση [4]

Δείκτης απόδοσης PI-4 – Επίδραση της συντήρησης: Παράγονται πληροφορίες για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας μιας συγκεκριμένης διαδικασίας συντήρησης στην απόδοση.



Εικόνα 2.8: Δείκτης απόδοσης PI-4 – Επίδραση της συντήρησης [4]

2.7 Υπολογισμός τιμών απόδοσης

Αφότου γίνει η διόρθωση των δεδομένων ακολουθεί ο υπολογισμός των τιμών απόδοσης (Performance Values, PV) σύμφωνα με το παράρτημα του ISO 19030 [4]. Η τιμή απόδοσης (PV) ορίζεται ως το ποσοστό απώλειας ταχύτητας ή ποσοστό αύξησης της ισχύος.

Η ποσοστιαία απώλεια ταχύτητας V_d (Εικόνα 2.10), υπολογίζεται ως η σχετική διαφορά ποσοστού μεταξύ της μετρούμενης ταχύτητας του πλοίου στο νερό, V_m και της αναμενόμενης ταχύτητας στο νερό V_e :

$$V_d = 100 \frac{V_m - V_e}{V_e} \quad (2.5)$$

Η τιμή της αναμενόμενης ταχύτητας V_e λαμβάνεται από τις καμπύλες αναφοράς ταχύτητας-ισχύος με βάση τις τιμές της διορθωμένης ισχύος. Οι καμπύλες αναφοράς διατίθενται μέσω δοκιμών του πλοίου (sea trials) και αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες τιμές για το βύθισμα, τη διαγωγή και το εκτόπισμα του πλοίου. Γίνεται λοιπόν έλεγχος αν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η καμπύλη αναφοράς σύμφωνα με τα εξής κριτήρια:

- Η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ του εκτοπίσματος της καμπύλης αναφοράς και του εκτοπίσματος κάθε σημείου να είναι μικρότερη του 5%
- Η διαφορά των διαγωγών να είναι μικρότερη του $\pm 0,2$ % του μήκους μεταξύ καθέτων του πλοίου.

Εφόσον η καμπύλη αναφοράς πληροί τα κριτήρια, η τιμή της αναμενόμενης ταχύτητας διορθώνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$V_{e,2} = V_{e,1} \left(\frac{\Delta_1^{2/3}}{\Delta_2^{2/3}} \right)^{1/3} \quad (2.6)$$

Όπου:

$V_{e,2}$: η αναμενόμενη ταχύτητα στο πραγματικό βύθισμα

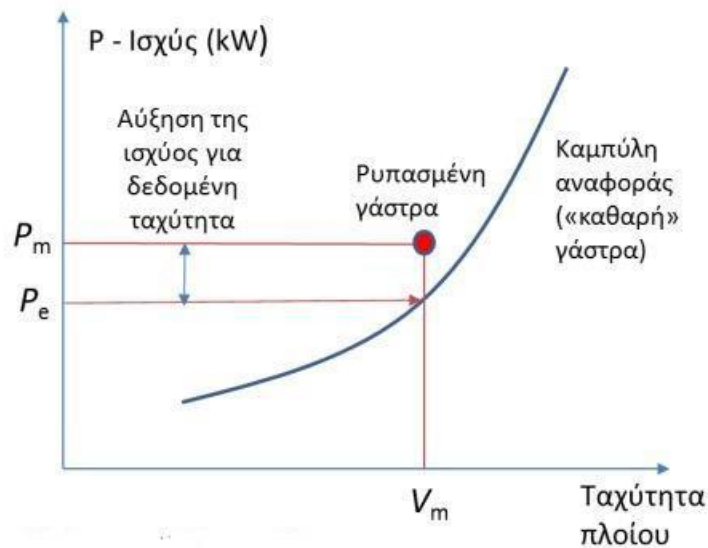
$V_{e,1}$: η αναμενόμενη ταχύτητα στο βύθισμα της καμπύλης αναφοράς

Δ_1 : το εκτόπισμα του πλοίου που αντιστοιχεί στο βύθισμα της καμπύλης αναφοράς

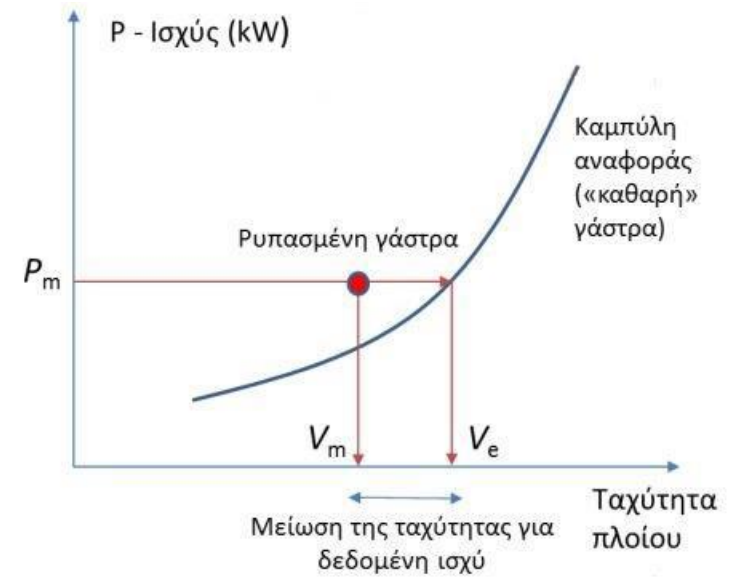
Δ_2 : το εκτόπισμα του πλοίου που αντιστοιχεί στο πραγματικό βύθισμα

Αντίστοιχα η ποσοστιαία αύξηση της ισχύος P_d (Εικόνα 2.9), υπολογίζεται ως η διαφορά του ποσοστού μεταξύ της μετρούμενης διορθωμένης ισχύος, P_m και της αναμενόμενης αποδιδόμενης ισχύος, P_e όπως φαίνεται και στη σχέση:

$$P_d = 100 \frac{P_m - P_e}{P_e} \quad (2.7)$$



Εικόνα 2.9: Μετρούμενη και αναμενόμενη τιμή ισχύος σε σχέση με την καμπύλη αναφοράς ταχύτητας-ισχύος. [11]



Εικόνα 2.10: Μετρούμενη και αναμενόμενη τιμή ταχύτητας σε σχέση με την καμπύλη αναφοράς ταχύτητας-ισχύος. [11]

Η τιμή της αναμενόμενης αποδιδόμενης ισχύος, P_e λαμβάνεται με τον ίδιο τρόπο από τις καμπύλες αναφοράς ταχύτητας-ισχύος με βάση τα κριτήρια ελέγχου που αναφέρονται παραπάνω.

Αντίστοιχα με παραπάνω, η τιμή της αναμενόμενης αποδιδόμενης ισχύος, P_e διορθώνεται για τη διαφορά των εκτοπισμάτων σύμφωνα με τη σχέση:

$$P_{e,2} = P_{e,1} \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_2} \right)^{2/3} \quad (2.8)$$

όπου

$P_{e,1}$: αναμενόμενη αποδιδόμενη ισχύς στο βύθισμα της καμπύλης αναφοράς

$P_{e,2}$: αναμενόμενη αποδιδόμενη ισχύς στο πραγματικό βύθισμα

Δ_1 : το εκτόπισμα του πλοίου που αντιστοιχεί στο βύθισμα της καμπύλης αναφοράς

Δ_2 : το εκτόπισμα του πλοίου που αντιστοιχεί στο πραγματικό βύθισμα

2.8 Υπολογισμός δεικτών απόδοσης

Έχοντας εφαρμόσει το ISO 19030 για τα σετ δεδομένων, και έχοντας επομένως υπολογίσει τις τιμές απόδοσης, η μελέτη προχωράει με τον υπολογισμό των δεικτών απόδοσης που δίνουν μια συνολική Εικόνα για τη λειτουργία του πλοίου στο δεδομένο χρονικό εύρος, όπως παρουσιάζεται στο παράρτημα του ISO 19030 [4].

Ο δείκτης απόδοσης που υπολογίζεται είναι ένα χρήσιμο εργαλείο όπου εξάγει συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά του πλοίου στο χρόνο. Όπως έχει προαναφερθεί το χρονικό διάστημα που μελετάται, έχει χωριστεί σε δύο περιόδους, την περίοδο αναφοράς και την περίοδο εκτίμησης. Ο δείκτης απόδοσης συνολικά υπολογίζεται με τη βοήθεια των μέσων όρων της απώλειας ταχύτητας και των δύο περιόδων.

Η μέση απώλεια ταχύτητας κατά την περίοδο αναφοράς υπολογίζεται ως εξής:

$$\bar{V}_{d,ref} = \frac{1}{k} \sum_j^k \frac{1}{n} \sum_i^n V_{d,j,i} \quad (2.9)$$

Όπου

k: αριθμός περιόδων αναφοράς

j: μετρητής περιόδου αναφοράς

n: αριθμός δεδομένων στο σύνολο των δεδομένων στις συνθήκες αναφοράς για την περίοδο αναφοράς j.

i: αριθμός των σημείων δεδομένων σε μια περίοδο αναφοράς j

$V_{d,j,i}$: ποσοστό απώλειας ταχύτητας για σημείο δεδομένων, i σε περίοδο αναφοράς j.

$\bar{V}_{d,ref}$: μέση τιμή απώλειας ταχύτητας για τη διάρκεια των περιόδων αναφοράς.

Για τον υπολογισμό του μέσου ποσοστού απώλειας ταχύτητας κατά τη διάρκεια της περιόδου εκτίμησης χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\bar{V}_{d,eval} = \frac{1}{n} \sum_i^n V_{d,eval,i} \quad (2.10)$$

n: ο αριθμός των σημείων στην περίοδο εκτίμησης

$V_{d,eval,i}$: ποσοστό απώλειας ταχύτητας για το δεδομένο i από το σύνολο δεδομένων της περιόδου εκτίμησης.

$\bar{V}_{d,eval}$: μέση τιμή ποσοστού απώλειας ταχύτητας για την περίοδο εκτίμησης.

Από αυτά προκύπτει ο δείκτης απόδοσης απώλειας της ταχύτητας

$$k_{HP} = \bar{V}_{D,eval} - \bar{V}_{D,ref} \quad (2.11)$$

Όπου,

$\bar{V}_{D,eval}$: μέση τιμή ποσοστού απώλειας ταχύτητας για την περίοδο εκτίμησης

$\bar{V}_{D,ref}$: μέση τιμή ποσοστού απώλειας ταχύτητας για την περίοδο αναφοράς

KHP: δείκτης απόδοσης (Performance indicator)

Επίσης, σύμφωνα με το πρότυπο, για δεδομένα που εξετάζονται σε συνθήκες αναφοράς θα πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

- Η θερμοκρασία του νερού να είναι μεγαλύτερη από +2° C εάν δεν υπάρχει άλλη ένδειξη ότι το σκάφος κινείται σε πάγο
- Η πραγματική ταχύτητα ανέμου είναι μεταξύ 0 - 7,9 m/s (BF 0 –BF 4).
- Το βάθος του νερού να είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο των παρακάτω σχέσεων

$$h = 3\sqrt{BT_M} \quad h = 2.75 \frac{V_s^2}{g} \quad (2.12)$$

όπου

h: το βάθος του νερού [m]

B: το πλάτος του πλοίου [m]

T_M: το μέσο βύθισμα του πλοίου [m]

V_s: η ταχύτητα του πλοίου [m/s]

g: επιτάχυνση της βαρύτητας [m/s²]

- Η τελική ισχύς πρέπει να βρίσκεται εντός του εύρους που αναφέρεται από την καμπύλη αναφοράς ταχύτητας-ισχύος ή της καμπύλης ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.
- Η μέγιστη απόλυτη γωνία του πηδαλίου να είναι μικρότερη από 5°.
- Το εκτόπισμα πρέπει να είναι εντός ± 5% των τιμών εκτοπίσματος για τη διαθέσιμες καμπύλες αναφοράς ταχύτητας-ισχύος.

2.9 Εύρεση παρεκτρεπόμενων σημείων - Κριτήριο Chauvenet

Για τη μέτρηση των αλλαγών στην απόδοση της γάστρας και της έλικας χρησιμοποιούνται πολυπληθή δεδομένα που συλλέγονται με υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας. Η συχνότητα δειγματοληψίας εξαρτάται από τους αισθητήρες και τα μετρητικά όργανα που βρίσκονται στο πλοίο.

Από τις μετρήσεις σχηματίζονται τα μπλοκ δεδομένων που περιέχουν τις κύριες και τις δευτερεύουσες παραμέτρους.

Λόγω ωστόσο του μεγάλου πλήθους δεδομένων μπορεί να υπάρχουν μετρήσεις που δεν έχουν φυσιολογικές τιμές ή αποκλίνουν σημαντικά από τις υπόλοιπες. Τα σημεία που αντιστοιχούν σε ακραίες μετρήσεις καλούνται παρεκτρεπόμενα σημεία (outliers). Για την εξαγωγή έγκυρων αποτελεσμάτων, σύμφωνα με το ISO είναι αναγκαίος ο εντοπισμός των παρεκτρεπόμενων σημείων και η απομάκρυνσή τους από το σετ των δεδομένων. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται μέσω του κριτηρίου Chauvenet.

Σύμφωνα με το κεφάλαιο 2 του ISO 19030 (Annex I) για την εφαρμογή του κριτηρίου Chauvenet το σετ δεδομένων χωρίζεται σε συνεχόμενα σημεία “data points” συνολικής χρονικής διάρκειας 10 λεπτών.

Έστω ότι κάθε δεκάλεπτο σετ αποτελείται από N μετρήσεις με τιμές που συμβολίζονται d_i . Για τα N δεδομένα υπολογίζονται ο μέσος όρος και η τυπική τους απόκλιση με τη χρήση των σχέσεων:

- $$\mu = \frac{1}{N} \sum_i^N d_i \quad (\text{μέσος όρος}) \quad (2.13)$$

- $$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (d_i - \mu)^2} \quad (\text{τυπική απόκλιση}) \quad (2.14)$$

Αν τα εξεταζόμενα σημεία είναι γωνίες, ο μέσος όρος υπολογίζεται ως εξής:

$$\mu = \text{atan2} \left(\frac{\sum_i^N \sin(d_i)}{N}, \frac{\sum_i^N \cos(d_i)}{N} \right) \quad (2.15)$$

όπου atan2 είναι αντίστροφη τριγωνομετρική συνάρτηση με δύο ορίσματα.

Στη συνέχεια υπολογίζεται το τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής (standard error of the mean), μέσω της διαφοράς Δ_i της κάθε τιμής d_i από τη μέση τιμή μ , δηλαδή

$\Delta_i = |d_i - \mu|$ όπου για το τυπικό σφάλμα ισχύει:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N \Delta i^2} \quad (2.16)$$

Η πιθανότητα εμφάνισης οποιασδήποτε τιμής d_i υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P(d_i) = \text{erfc}\left(\frac{\Delta i}{\sigma\sqrt{2}}\right) \quad (2.17)$$

όπου erfc : συμπληρωματική συνάρτηση σφάλματος

Ένα δεδομένο θεωρείται παρεκτρεπόμενο σημείο (outlier) και κρίνεται ότι πρέπει να απομακρυνθεί όταν ικανοποιείται η ανισότητα :

$$P(d_i) N < 0,5 \quad (2.18)$$

2.10 Διόρθωση ισχύος εξαιτίας της αντίστασης του ανέμου

Από τα δεδομένα των μετρήσεων η ισχύς που δίνεται είναι η παραχθείσα από την κύρια μηχανή. Για το λόγο αυτό το ISO 19030 στο δεύτερο μέρος (Annex E) [4] παρουσιάζει τη διαδικασία με την οποία διορθώνεται η τιμή της ισχύος που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς, λόγω της αντίστασης του ανέμου.

Η πραγματική ταχύτητα του ανέμου και v_{wt} [m/s] η πραγματική κατεύθυνση του ανέμου, ψ_{wt} [radians] στο ύψος του ανεμόμετρου υπολογίζονται από τη σχετική ταχύτητα του ανέμου v_{wr} [m/s], την ταχύτητα του πλοίου επί εδάφους v_g [m/s], τη σχετική κατεύθυνση του ανέμου (ψ_{wr} [radians]) και την κατεύθυνση του πλοίου (ψ_0 [radians]), με τη χρήση των σχέσεων:

- $$v_{wt} = \sqrt{v_{wr}^2 + v_g^2 - 2v_{wr}v_g \cos \psi_{wr}} \quad (2.19)$$

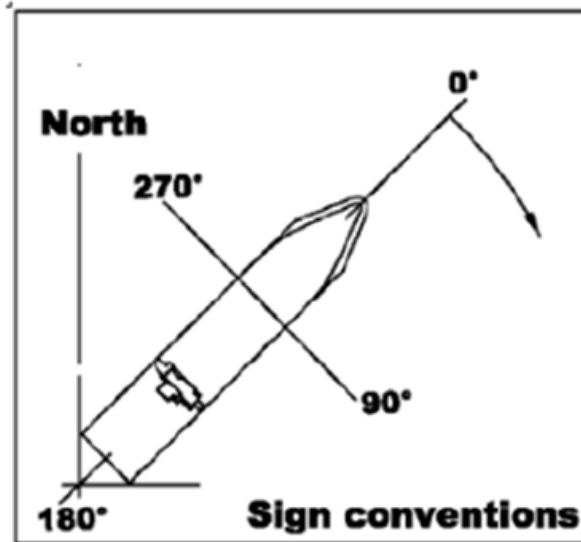
- $$\psi_{wt} = \tan^{-1} \left\{ \frac{v_{wr} \sin(\psi_{wr} + \psi_0) - v_g \sin(\psi_0)}{v_{wr} \cos(\psi_{wr} + \psi_0) - v_g \cos(\psi_0)} \right\} \quad (2.20)$$

$$\text{για } V_{wr} \cdot \cos(\Psi_{wr} + \Psi_0) - V_g \cdot \cos(\Psi_0) \geq 0$$

- $$\psi_{wt} = \tan^{-1} \left\{ \frac{v_{wr} \sin(\psi_{wr} + \psi_0) - v_g \sin(\psi_0)}{v_{wr} \cos(\psi_{wr} + \psi_0) - v_g \cos(\psi_0)} \right\} + 180 \quad (2.21)$$

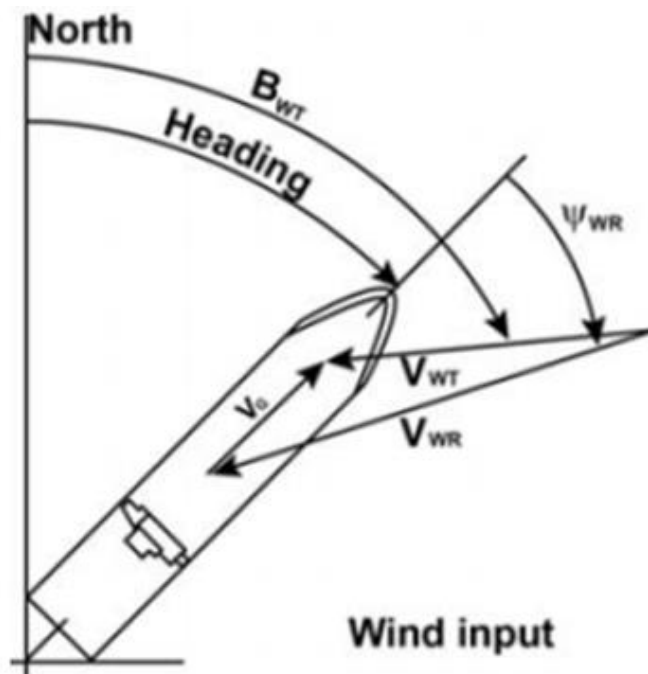
$$\text{για } V_{wr} \cdot \cos(\Psi_{wr} + \Psi_0) - V_g \cdot \cos(\Psi_0) < 0$$

Στην Εικόνα 2.11 απεικονίζεται η σύμβαση σημάνσεων για κατευθύνσεις σχετικά με την κατεύθυνση του πλοίου.



Εικόνα 2.11 σύμβαση σημάτων για κατευθύνσεις σχετικά με την κατεύθυνση του πλοίου. [4]

Στην Εικόνα 2.12 απεικονίζεται η πραγματική και η σχετική ταχύτητα του ανέμου, η ταχύτητα του πλοίου επί του εδάφους, η σχετική και η πραγματική κατεύθυνση του ανέμου και η κίνηση του πλοίου.



Εικόνα 2.12 η πραγματική και η σχετική ταχύτητα του ανέμου, η ταχύτητα του πλοίου επί του εδάφους, η σχετική και η πραγματική κατεύθυνση του ανέμου και η κίνηση του πλοίου. [4]

Για τον υπολογισμό της αντίστασης του ανέμου, πρέπει αρχικά να προσδιοριστούν η ταχύτητα του ανέμου και η διεύθυνσή της στο ύψος αναφοράς όπου είναι γνωστός ο συντελεστής αντίστασης ανέμου. Επομένως, η ταχύτητα του ανέμου και η διεύθυνση της στο ύψος του ανεμόμετρου διορθώνεται σε σχέση με το ύψος αναφοράς. Εάν δεν είναι διαθέσιμο ένα ύψος αναφοράς επιλέγεται ύψος αναφοράς 10m. Η πραγματική ταχύτητα στο ύψος αναφοράς υπολογίζεται με τη βοήθεια της σχέσης:

$$v_{wt,ref} = v_{wt} \left(\frac{Z_{ref}}{Z_a} \right)^{1/7} \quad (2.22)$$

Όπου:

$v_{wt,ref}$: η πραγματική ταχύτητα στο ύψος αναφοράς [m/s]

v_{wt} : η πραγματική ταχύτητα ανέμου στο ύψος του ανεμόμετρου [m/s]

Z_{ref} : το ύψος αναφοράς πάνω από την επιφάνεια ισάλου [m]

Z_a : το ύψος του ανεμόμετρου πάνω από την επιφάνεια ισάλου [m]

Η σχετική ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς δίνεται από την σχέση:

$$V_{wr,ref} = \sqrt{(V_{wt,ref})^2 + V_g^2 - 2 \cdot V_{wt,ref} \cdot V_g \cdot \cos(\Psi_{wt} - \Psi_0)} \quad (2.23)$$

Η σχετική διεύθυνση του ανέμου στο ύψος (σε μοίρες) δίνεται από τις σχέσεις:

$$\bullet \quad \Psi_{wr,ref} = \tan^{-1} \left\{ \frac{v_{wt,ref} \sin(\Psi_{wt} - \Psi_0)}{v_g + v_{wt,ref} \cos(\Psi_{wt} - \Psi_0)} \right\} \quad \text{για } V_g + V_{wt,ref} \cdot \cos(\Psi_{wt} - \Psi_0) \geq 0 \quad (2.24)$$

$$\bullet \quad \Psi_{wr,ref} = \tan^{-1} \left\{ \frac{v_{wt,ref} \sin(\Psi_{wt} - \Psi_0)}{v_g + v_{wt,ref} \cos(\Psi_{wt} - \Psi_0)} \right\} + 180 \quad \text{για } V_g + V_{wt,ref} \cdot \cos(\Psi_{wt} - \Psi_0) < 0 \quad (2.25)$$

Τα ύψη άνω της ισάλου εξαρτώνται από το βύθισμα του πλοίου, επομένως τα ύψη μετατρέπονται με βάση το πραγματικό βύθισμα όπως φαίνεται στις επόμενες σχέσεις:

$$\Delta T = T_{des} - T \quad (2.26)$$

$$A = A_{des} + \Delta T \cdot B \quad (2.27)$$

$$Z\alpha = Z_{a,des} + \Delta T \quad (2.28)$$

$$Z_{ref} = \frac{A_{des} (Z_{ref,des} + \Delta T) + \frac{1}{2} B \Delta T^2}{A} \quad (2.29)$$

Όπου:

ΔT : η διαφορά μεταξύ του πραγματικού βυθίσματος από το βύθισμα σχεδίασης [m]

T_{des} : το βύθισμα σχεδίασης του πλοίου [m]

T : το πραγματικό βύθισμα του πλοίου [m]

A_{des} : η προβεβλημένη εγκάρσια επιφάνεια στην τωρινή κατάσταση φόρτισης [m²]

B : το πλάτος του πλοίου [m]

$Z_{a,des}$: το ύψος του ανεμόμετρου άνω της επιφάνειας ισάλου για το βύθισμα σχεδίασης [m]

$Z_{ref,des}$: : το ύψος αναφοράς άνω της επιφάνειας ισάλου για το βύθισμα σχεδίασης [m]

Αφαιρώντας από την αρχική ισχύ, την ισχύ που προέρχεται από την αντίσταση του ανέμου προκύπτει η διορθωμένη αποδιδόμενη ισχύς

$$P_{D,corr} = P_D - \Delta P_w \quad (2.30)$$

Όπου:

$$\Delta P_w = \frac{(R_{rw} - R_{0w}) \cdot v_g}{\eta_{D0}} + P_D \left(1 - \frac{\eta_{DM}}{\eta_{D0}}\right) \quad (2.31)$$

- $R_{rw} = 1/2 \cdot \rho_a \cdot V_{wr}^2 \cdot A \cdot C_{wr}(\Psi_{wr,ref})$
- $R_{0w} = 1/2 \cdot \rho_a \cdot V_g^2 \cdot A \cdot C_{0r}(0)$

ΔP_w : η διόρθωση λόγω ανέμου [kW]

R_{rw} : η αντίσταση λόγω της σχετικής ταχύτητας του ανέμου [kN]

R_{0w} : η αντίσταση του αέρα σε συνθήκη χωρίς αέρα [kN]

v_g : η ταχύτητα του πλοίου προς το έδαφος [m/s]

V_{wr} : η σχετική ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς [m/s]

C_{rw} : ο συντελεστής αντίστασης του ανέμου εξαρτώμενος από την σχετική διεύθυνση του ανέμου $\Psi_{wr.ref}$

C_{0w} : ο συντελεστής αντίστασης του ανέμου σε μετωπικό άνεμο (0° διεύθυνση ανέμου)

ρ_a : η πυκνότητα του αέρα [kg/m^3]

A: εγκάρσια προβαλλόμενη περιοχή σε κατάσταση τρέχουσας φόρτισης [m^2]

η_{D0} : συντελεστής απόδοσης πρόωσης σε ήρεμη κατάσταση

η_{DM} : συντελεστής απόδοσης πρόωσης σε πραγματικές συνθήκες πλεύσης

2.11 Υπολογισμός συντελεστή αντίστασης ανέμου

Σε περίπτωση που ο συντελεστής αντίστασης ανέμου δεν είναι γνωστός πειραματικά, μπορεί να προσδιοριστεί μέσω μεθόδων που προέρχονται από ανάλυση παλινδρόμησης δια διάφορους τύπους πλοίων. Μία κατάλληλη μέθοδος είναι η Fujiwara όπως παρουσιάζεται στο [9].

Πρόκειται για μια διαδικασία υπολογισμών που προήλθε από πειράματα αεροσήραγγας σε διάφορα πλοία. Ο συντελεστής λοιπόν προσδιορίζεται με τη χρήση της σχέσης:

$$C_{DA}=C_{LF}\cdot\cos(\Psi_{wr})+C_{XLI}\cdot(\sin(\Psi_{wr})-1/2\cdot\sin(\Psi_{wr})\cdot\cos(\Psi_{wr})^2)\cdot\sin(\Psi_{wr})\cdot\cos(\Psi_{wr})+C_{ALF}\cdot\sin(\Psi_{wr})\cdot\cos(\Psi_{wr})^3 \quad (2.32)$$

Όπου:

για $0^\circ \leq \Psi_{wr} < 90^\circ$ ισχύει:

$$C_{LF}=\beta_{10}+\beta_{11}\cdot A_{YV}/(LOA\cdot B)+\beta_{12}\cdot C_{MC}/LOA \quad (2.33)$$

$$C_{XLI}=\delta_{10}+\delta_{11}\cdot A_{YV}/(LOA\cdot h_{BR})+\delta_{12}\cdot A_{YV}/(B\cdot h_{BR}) \quad (2.34)$$

$$C_{ALF}=\varepsilon_{10}+\varepsilon_{11}\cdot A_{OD}/A_{YV}+\varepsilon_{12}\cdot B/LOA \quad (2.35)$$

για $90^\circ \leq \Psi_{wr} < 180^\circ$

$$C_{LF}=\beta_{20}+\beta_{21}\cdot B/LOA+\beta_{22}\cdot h_C/LOA+\beta_{23}\cdot A_{OD}/LOA^2+\beta_{24}\cdot A_{XV}/B^2 \quad (2.36)$$

$$C_{XLI} = \delta_{20} + \delta_{21} \cdot A_{YV} / (L_{OA} \cdot h_{BR}) + \delta_{22} \cdot A_{XV} / A_{YV} + \delta_{23} \cdot B / L_{OA} + \delta_{24} \cdot A_{XV} / (B \cdot h_{BR}) \quad (2.37)$$

$$C_{ALF} = \varepsilon_{20} + \varepsilon_{21} \cdot A_{OD} / A_{YV} \quad (2.38)$$

για $\Psi_{wr} = 90^\circ$

$$C_{DA|\Psi_{wr}=90} = 12 \cdot (C_{DA|\Psi_{wr}=90-\mu} + C_{DA|\Psi_{wr}=90+\mu}) \quad (2.39)$$

Όπου:

A_{OD} : Η πλευρική προβεβλημένη επιφάνεια των υπερκατασκευών

A_{XV} : Η επιφάνεια της μέγιστης εγκάρσιας τομής εκτιθέμενης στον άνεμο

A_{YV} : Η πλευρική προβεβλημένη επιφάνεια άνω της ισάλου πλεύσης

B : Το πλάτος του πλοίου

C_{DA} : Ο Συντελεστής αντίστασης ανέμου

C_{MC} : Η οριζόντια απόσταση από την μέση τομή μέχρι το κέντρο της επιφάνειας A_{YV}

h_{BR} : Η κατακόρυφη απόσταση από την κορυφή των υπερκατασκευών έως την ίσαλο πλεύσης

h_C : Η κατακόρυφη απόσταση από την ίσαλο πλεύσης έως το κέντρο της επιφάνειας A_{YV}

L_{OA} : Το μήκος του πλοίου (length overall)

μ : το εύρος εξομάλυνσης

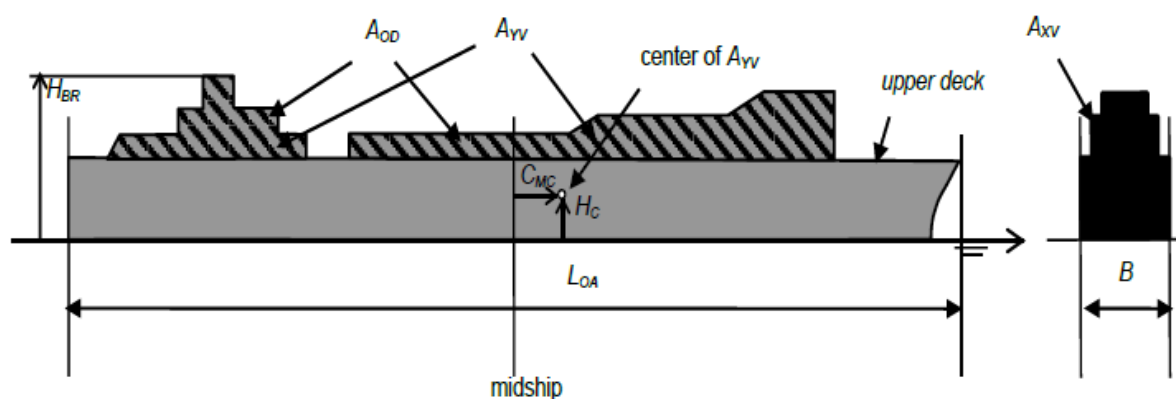
Ψ_{wr} : Η σχετική διεύθυνση του ανέμου

Οι αδιάστατοι συντελεστές β_{ij} , δ_{ij} , ε_{ij} δίνονται από τον Πίνακα 2.2:

Πίνακας 2.2 Αδιάστατοι συντελεστές

	i	j				
		0	1	2	3	4
β_{ij}	1	0.922	-0.507	-1.162	-	-
	2	-0.018	5.091	-10.367	3.011	0.341
δ_{ij}	1	-0.458	-3.245	2.313	-	-
	2	1.901	-12.727	-24.407	40.310	5.481
ϵ_{ij}	1	0.585	0.906	-3.239	-	-
	2	0.314	1.117	-	-	-

Στην Εικόνα 2.13 παρουσιάζονται σχηματικά οι παράμετροι που αναλύθηκαν παραπάνω μαζί με τους συμβολισμούς τους:



Εικόνα 2.13 Παράμετροι της μεθόδου [9].

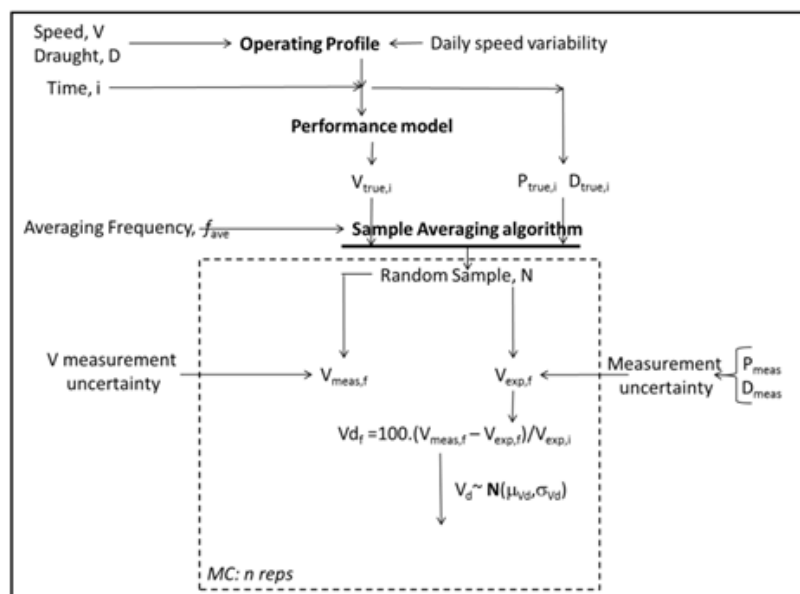
2.12 Αβεβαιότητα

Όπως γίνεται αντιληπτό, λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων και των περίπλοκων υπολογιστικών διαδικασιών είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Ο δείκτης απόδοσης όπως είναι λογικό πρέπει να συνοδεύεται από μια τιμή αβεβαιότητας.

Λέγοντας αβεβαιότητα εννοείται η πιθανότητα η μέτρηση μιας ποσότητας να βρίσκεται εντός της προκαθορισμένης ακρίβειας στην πραγματική τιμή αυτής της παραμέτρου. Η ανάλυση αβεβαιότητας που συνοδεύει τον υπολογισμό των δεικτών απόδοσης γίνεται για να περιγραφεί το εύρος των αποτελεσμάτων του συστήματος σε επίπεδο πιθανοτήτων ή προκειμένου να εκτιμηθεί η πιθανότητα τα αποτελέσματα να υπερβαίνουν κάποια συγκεκριμένα όρια ή κάποια τιμή στόχου απόδοσης.

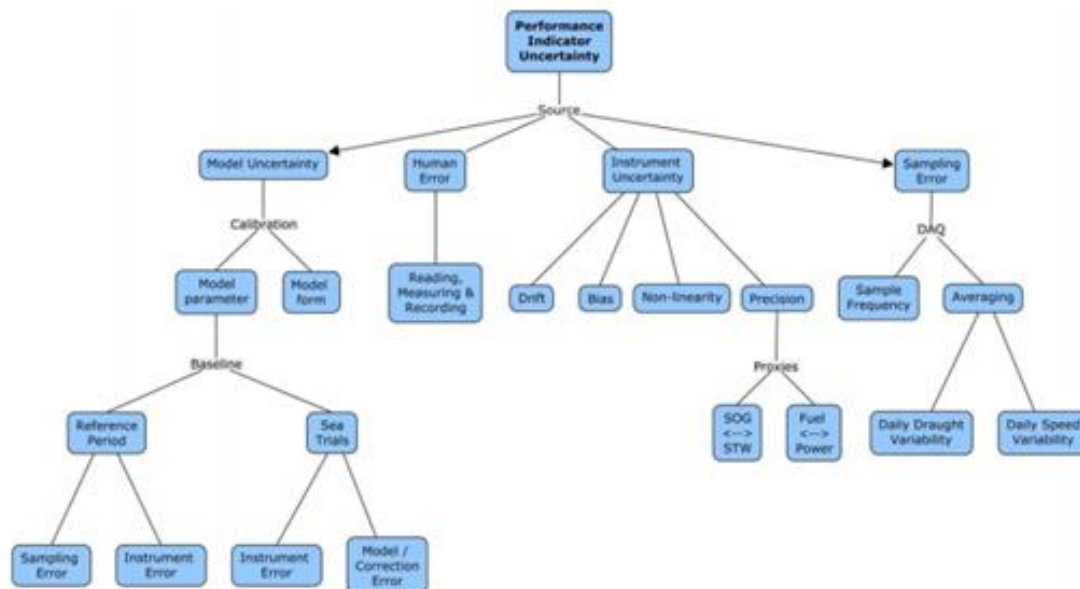
Το ISO 19030 ακολουθεί την εξής μέθοδο για την ανάλυση της αβεβαιότητας:

1. Προσδιορίζει κάθε πηγή αβεβαιότητας, ταξινομεί και καθορίζει παραμέτρους κατανομής πιθανότητας.
2. Προσομοιάζει το προφίλ λειτουργίας του πλοίου, την απόδοση και την διαδικασία της απόκτησης δεδομένων, της δειγματοληψίας και του φιλτραρίσματος των δεδομένων.
3. Υπολογίζει τα σφάλματα μέσω του μοντέλου και της προσομοίωσης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Monte Carlo και καθορίζει κατανομές πιθανοτήτων για βασικές πηγές αβεβαιότητας (από το βήμα 1).
4. Καταγράφει την κατανομή των αποτελεσμάτων και παρουσιάζει τη συνολική αβεβαιότητα.



Εικόνα 2.14: Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου προσομοίωσης για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας της τιμής της απόδοσης [5].

Οι λόγοι που υπάρχει η αβεβαιότητα είναι αρκετοί και σύμφωνα με το ISO παρουσιάζονται στην επόμενη Εικόνα και αναλύονται στη συνέχεια:



Εικόνα 2.15 Πηγές αβεβαιότητας [5].

Αβεβαιότητα του μοντέλου (Model uncertainty): Με τη μετατροπή της μετρούμενης ισχύος σε αναμενόμενη ταχύτητα, η μέθοδος υποθέτει ότι η σχέση ταχύτητας-ισχύος του πλοίου ορίζεται από μια παραμετρική κυβική καμπύλη, όπου στην εξίσωσή της ο εκθέτης της ταχύτητας είναι 3. Εάν ο πραγματικός εκθέτης της ταχύτητας του πλοίου βρίσκεται είναι 3,15 (σύμφωνα με το International Marine Coatings) ή 4,0 για πλοία υψηλής ταχύτητας, όπως τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, τότε αυτό θα επηρεάσει την ακρίβεια της απώλειας ταχύτητας και θα οδηγήσει σε μια αύξηση της αβεβαιότητας της μέτρησης.

Ανθρώπινο λάθος (Human Error) : Το ανθρώπινο λάθος (το οποίο συχνά κατηγοριοποιείται ως αβεβαιότητα του οργάνου) μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε μετρήσεις όταν οι τιμές των αισθητήρων διαβάζονται και καταγράφονται από τον άνθρωπο εάν η διαδικασία δεν είναι αυτοματοποιημένη. Για παράδειγμα τις μεσημεριανές ώρες η καταγραφή των δεδομένων δεν γίνεται την ίδια ακριβώς ώρα κάθε μέρα και είναι πιθανό να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί αισθητήρες για την ίδια παράμετρο. Πιο συγκεκριμένα κάποιο μέλος του πληρώματος μπορεί να καταγράψει την ταχύτητα από τις στροφές της έλικας ενώ οι υπόλοιποι να αναφέρουν την ταχύτητα του πλοίου από το έδαφος. Το ανθρώπινο σφάλμα είναι αρκετά δύσκολο να προσδιοριστεί ποσοτικά δεδομένου ότι εξαρτάται από το εκάστοτε πλήρωμα του οποίου οι ικανότητες διαφέρουν από πλοίο σε πλοίο καθώς και από εταιρεία σε εταιρεία.

Αβεβαιότητα οργάνων (Instrument Uncertainty): Για κάθε έναν από τους αισθητήρες που περιλαμβάνονται στην ανάλυση (ταχύτητα/ισχύς/βύθισμα), υπάρχει μια προκαθορισμένη ακρίβεια στη μέτρηση όπου επηρεάζει την αβεβαιότητα.

Σφάλμα κατά τη δειγματοληψία (Sampling error): Οι επιδράσεις του σφάλματος δειγματοληψίας σχετίζονται με το μέγεθος του δείγματος και τις επιπτώσεις των υπολογιζόμενων μέσων όρων, όπου με τη σειρά του σχετίζεται με τη συχνότητα δειγματοληψίας. Οι εκτιμήσεις για τις επιπτώσεις αυτές προσδιορίζονται με τη μελέτη των στατιστικών της λειτουργίας, της περιβαλλοντικής κατάστασης και των επιδόσεων ενός αντιπροσωπευτικού πλοίου.

Μέγεθος δείγματος (sample size): Το ποσοστό των δεδομένων που αφαιρούνται λόγω φιλτραρίσματος (σύμφωνα με το κριτήριο φίλτρου που ορίζεται στο πρότυπο ISO19030-2 και 19030-3) εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές/λειτουργικές συνθήκες που αντιμετωπίζει το πλοίο. Για παράδειγμα, εάν ένα πλοίο ξοδεύει το 80% του χρόνου του σε καιρικές συνθήκες κατά τις οποίες η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη από 4 BF, τότε τουλάχιστον το 80% των μετρήσεων απορριφθεί από τη διαδικασία υπολογισμού της απόδοσης μειώνοντας έτσι το μέγεθος του δείγματος που θα χρησιμοποιηθεί. Με μικρότερο δείγμα η αβεβαιότητα αυξάνεται. Η ποσότητα δεδομένων που απορρίπτεται από τη διαδικασία φιλτραρίσματος είναι επίσης συνάρτηση της συχνότητας του δείγματος. Εάν χρησιμοποιείται δειγματοληψία χαμηλής συχνότητας (noon reports), τότε μεγαλύτερο ποσοστό δεδομένων θα φιλτραρισθεί λόγω του κριτηρίου φίλτρου.

Συχνότητα δειγματοληψίας και μέσος όρος (Sampling frequency and averaging): Οι ημερήσιες μεταβολές της ταχύτητας (λόγω των επιταχύνσεων, των αλλαγών της γωνίας του πηδαλίου κλπ.) μπορεί να δημιουργήσει σφάλματα στον προσδιορισμό της τιμής απόδοσης όταν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι χαμηλή (πχ noon reports).

Με βάση τα παραπάνω, σύμφωνα με το ISO 19030, τρεις πηγές αβεβαιότητας επηρεάζουν την ακρίβεια των δεικτών απόδοσης:

- Η αβεβαιότητα μέτρησης (αφορά την ακρίβεια του αισθητήρα).Οπότε οποιαδήποτε πρόσθετη αβεβαιότητα που θα μπορούσε να σχετίζεται με την εγκατάσταση ενός αισθητήρα, συντήρηση και λειτουργία από έναν χειριστή θα μπορούσε να γίνει γνωστή.
- Η αβεβαιότητα μιας μεταβλητής που είναι συνάρτηση με το χρόνο και εισάγεται στους υπολογισμούς. Για παράδειγμα αυτή η μεταβλητή μπορεί να είναι η ταχύτητα του ανέμου. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ένας μέσος όρος της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου.

- Η αβεβαιότητα που εισάγεται μέσω της χρήσης εξισώσεων που έχουν απλοποιηθεί αναγκαστικά είτε λόγω της πολυπλοκότητας, είτε λόγω ελλιπούς ενημέρωσης.

2.13 Εκτίμηση της αβεβαιότητας για τους δείκτες απόδοσης

Για την παρούσα εργασία όπου μελετάται κατά πόσο η συχνότητα δειγματοληψίας επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων για την μέτρηση των αλλαγών στην απόδοση της γάστρας και της έλικας, κύριο μέρος είναι ο υπολογισμός της αβεβαιότητας για τους δείκτες απόδοσης. Με βάση την αβεβαιότητα γίνεται η σύγκριση μεταξύ των σετ δεδομένων.

Για τον μαθηματικό υπολογισμό της αβεβαιότητας, το πρότυπο ακολουθεί τον διαχωρισμό της χρονικής διάρκειας σε δύο χρονικές περιόδους, την περίοδο αναφοράς και την περίοδο εκτίμησης [4]. Η φιλοσοφία πίσω από αυτό είναι ότι τα αποτελέσματα της περιόδου εκτίμησης λαμβάνονται μέσω μαθηματικών μοντέλων με βάση δεδομένα της περιόδου αναφοράς.

Έτσι η συνολική αβεβαιότητα υπολογίζεται ως εξής:

$$u_{kHP} = \sqrt{U_{vd, eval}^2 + U_{vd, ref}^2} \quad (2.39)$$

όπου:

u_{kHP} : αβεβαιότητα (σε 95% επίπεδο εμπιστοσύνης) του δείκτη απόδοσης.

$u_{vd, eval}$: αβεβαιότητα (σε 95% επίπεδο εμπιστοσύνης) του υπολογιζόμενου ποσοστού απώλειας ταχύτητας κατά την περίοδο εκτίμησης.

$u_{vd, ref}$: αβεβαιότητα (σε 95% επίπεδο εμπιστοσύνης) του υπολογιζόμενου ποσοστού απώλειας ταχύτητας για την περίοδο αναφοράς.

Λέγοντας επίπεδο εμπιστοσύνης 95% σημαίνει ότι υπάρχει 95% πιθανότητα η απώλεια ταχύτητας να βρίσκεται στο διάστημα που υπολογίζεται από την τιμή της αβεβαιότητας.

Το ISO19030 στο πρώτο μέρος περιγράφει εναλλακτικές μεθόδους ανάκτησης δεδομένων σε περίπτωση που οι αισθητήρες και τα μετρητικά όργανα, που περιγράφονται στη βασική μέθοδο δεν είναι διαθέσιμα. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 2.3 τα μετρητικά όργανα και ο ρυθμός δειγματοληψίας επηρεάζουν τις τιμές της αβεβαιότητας των μετρήσεων.

2.3 Μετρητικά όργανα και τιμές αβεβαιότητας

Μέθοδος	2-A	2-B	3-1	3-2	3-3	3-4
Ταχύτητα	Speed log (3%)	Speed log (3%)	Speed log (3%)	¹ Εναλλακτική με χρήση SOG (5%)	Speed log (3%)	¹ Εναλλακτική με χρήση SOG (5%)
Ισχύς	Χρήση μετρητή ροπής και στροφών άξονα (1.1% to 5.0%)	² Κατανάλωση καυσίμου (5.6% to 7%)	³ Κατανάλωση καυσίμου (εναλλακτικός τρόπος) (10%)	Χρήση μετρητή ροπής και στροφών άξονα (3.6%)	Χρήση μετρητή ροπής και στροφών άξονα (3.6%)	³ Κατανάλωση καυσίμου (εναλλακτικός τρόπος) (10%)
Συχνότητα μέτρησης	κάθε 15 s	κάθε 15 s	κάθε 15 s	κάθε 15 s	ημερησίως	ημερησίως
Βύθισμα	Draught Gauges (+/-0.1 m)	Draught gauges (+/-0.1 m)	Draught gauges (+/-0.1 m)	⁴ Διαβασμα των βυθισμάτων (από το τελευταίο λιμάνι) και tank soundings (+/-0.1 m)	⁴ Διαβασμα των βυθισμάτων (από το τελευταίο λιμάνι) και tank soundings (+/-0.1 m)	⁴ Διαβασμα των βυθισμάτων (από το τελευταίο λιμάνι) και tank soundings (+/-0.1 m)
Βάθος νερού	Echo sounder	Echo sounder	Echo sounder	Echo sounder	Echo sounder	Echo sounder
Γωνία πηδαλίου	Αντίστοιχος δείκτης	Αντίστοιχος δείκτης	Αντίστοιχος δείκτης	Αντίστοιχος δείκτης	Χωρίς μέτρηση	Χωρίς μέτρηση
Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου	ανεμόμετρο	ανεμόμετρο	ανεμόμετρο	ανεμόμετρο	ανεμόμετρο	ανεμόμετρο

1: Η μέθοδος προσεγγίζει την ταχύτητα στο νερό μέσω μετρήσεων της ταχύτητας προς το έδαφος με ακρίβεια 5% (1σ)

2: Η μέθοδος χρησιμοποιεί συνεχείς μετρήσεις της ροής του καυσίμου (μάζα ή όγκο), την καμπύλη ειδικής κατανάλωσης και ανάλυση των παραμέτρων της πετρέλευσης (θερμογόνος δύναμη, πυκνότητα)

3: Αναφέρεται σε μη αυτόματες μεθόδους για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου όπως ογκομέτρηση των δεξαμενών (sounding) ή χειροκίνητη μέτρηση. Στην συνέχεια η ισχύς υπολογίζεται σύμφωνα με την μέθοδο 2-C.

4: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί loading computer[11].

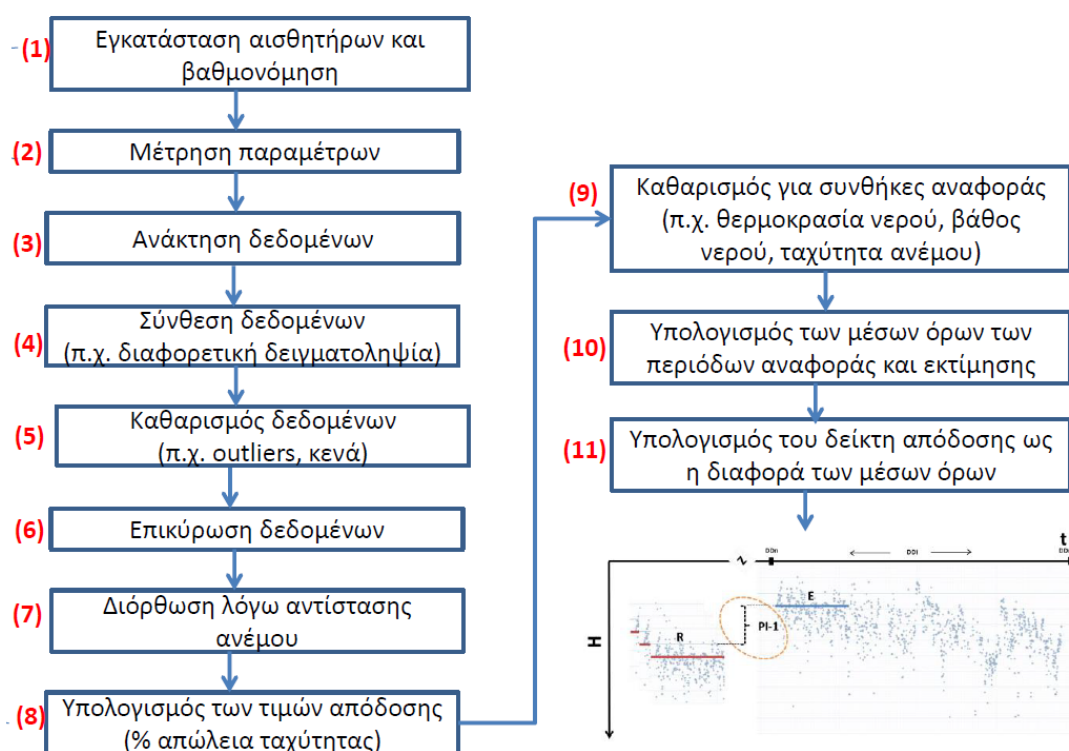
Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζονται οι τιμές της αβεβαιότητας, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, όπου συνοδεύουν τις διάφορες μεθόδους για κάθε χρονικό διάστημα που αναφοράς:

Πίνακας 2.4 Τιμές της αβεβαιότητας, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

	3 Μήνες	6 Μήνες	12 Μήνες
Μέθοδος 2-A	0,33-0,38 %	0,24-0,27%	0,17-0,19%
Μέθοδος 2-B	0,39-0,42 %	0,28-0,30 %	0,20-0,21%
Μέθοδος 3-1	0,50 %	0,36 %	0,25 %
Μέθοδος 3-2	0,57 %	0,40 %	0,29 %
Μέθοδος 3-3	3,40 %	2,46 %	1,76 %
Μέθοδος 3-4	6,30 %	4,57 %	3,25 %

2.14 Σχηματική απεικόνιση των υπολογισμών

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση των διαδικασιών που γίνονται προκειμένου να υπολογιστούν οι δείκτες απόδοσης με εφαρμογή του ISO 19030. Στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας θα γίνει ανάλυση των διαδικασιών που αναγράφονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 2.16 Σχηματική απεικόνιση διαδικασιών των υπολογισμών [11]

3 Εφαρμογή διαδικασιών του ISO 19030 στα δεδομένα

3.1 Παρουσίασης δεδομένων

Η παρούσα εργασία πραγματοποιείται την εφαρμογή του ISO 19030 (των μεθοδολογιών που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο) σε ένα δεδομένο πλοίο, τα στοιχεία του οποίου αναλύονται στη συνέχεια. Για το πλοίο αυτό έχουν δοθεί τα δεδομένα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό των δεικτών απόδοσης για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Για τη χρονική περίοδο αυτή έχουν δοθεί τέσσερα διαφορετικά σετ δεδομένων, για τα οποία οι διαφορές τους είναι η συχνότητα δειγματοληψίας και ο τρόπος καταγραφής. Σκοπός της μελέτης είναι η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και η σύγκριση τους προκειμένου να προσδιοριστεί κατά πόσο επηρεάζει ή όχι η συχνότητα δειγματοληψίας στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων αυτών.

Στο κεφάλαιο αυτό θα προσδιοριστούν τα στοιχεία του πλοίου πάνω στο οποίο έγινε η μελέτη, τα δεδομένα, η χρονική καταγραφή τους και η εφαρμογή των διαδικασιών που περιγράφονται στο ISO 19030, που είναι απαραίτητες για την εξαγωγή των δεικτών απόδοσης και τον υπολογισμό της αβεβαιότητας.

Βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου

Το πλοίο πάνω στο οποίο τα δεδομένα έγινε είναι φορτηγό (Bulk Carrier) χωρητικότητας 171000 τόνων DWT-

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3.1) παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου:

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά πλοίου

Ολικό μήκος LOA (m)	288,96
Μήκος μεταξύ καθέτων LBP (m)	279
Πλάτος B (m)	45
Κοίλο D (m)	24,1
Βύθισμα σχεδίασης T_{des} (m)	16,5
Εκτόπισμα στο βύθισμα σχεδίασης (MT)	179.781
Κύρια μηχανής	HYUNDAI-B&W 6S70MC
MCR	22.920 BHP x 91 RPM
Συντελεστή γάστρας C_b	0,8445
Πρισματικός συντελεστής C_p	0,8463
Συντελεστής ισάλου C_w	0,9273

Αρχεία δεδομένων

Στα σύγχρονα πλοία είναι ενσωματωμένα μετρητικά όργανα και αισθητήρες που σκοπό έχουν τη συστηματική καταγραφή δεδομένων για την εκάστοτε χρονική στιγμή. Η παλαιότερη μέθοδος είναι η χειροκίνητη καταγραφή ημερήσιων δεδομένων (noon reports) με χαμηλή συχνότητα δειγματοληψίας (πχ μια μέρα). Ένας δεύτερος τρόπος είναι η συνεχής καταγραφή δεδομένων (continuous monitoring system) όπου πρόκειται για αυτοματοποιημένη καταγραφή με υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας (έως και μερικά δευτερόλεπτα).

Για την μελέτη αυτή τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν πρόκειται για καθημερινές καταγραφές της χρονικής περιόδου 2/5/2016 έως 24/1/2016. Κάθε σελίδα αντιστοιχεί σε διαφορετική συχνότητα δεδομένων. Τα σετ λοιπόν είναι τα εξής:

- Noon Reports με ημερήσια συχνότητα δειγματοληψίας με πλήθος καταγραφών 162 μετρήσεις.
- Συνεχόμενες αυτοματοποιημένες καταγραφές με συχνότητα δειγματοληψίας μία ώρα (1 hr.) με πλήθος καταγραφών 6408 μετρήσεις
- Συνεχόμενες αυτοματοποιημένες καταγραφές με συχνότητα δειγματοληψίας 15 λεπτά (15 min.) με πλήθος καταγραφών 25728 μετρήσεις
- Συνεχόμενες αυτοματοποιημένες καταγραφές με συχνότητα δειγματοληψίας 5 λεπτά (5 min.) με πλήθος καταγραφών 77184 μετρήσεις

Οι καταγραφές για κάθε σετ δεδομένων αντιστοιχούν στο ίδιο χρονικό διάστημα, το μόνο που αλλάζει είναι η συχνότητα δειγματοληψίας. Σκοπός της μελέτης είναι να εφαρμοστεί σε κάθε ένα από τα τέσσερα σετ δεδομένων το ISO 19030 και να προσδιοριστεί κατά πόσο επηρεάζει η συχνότητα δειγματοληψίας στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Οι μετρήσεις που καταγράφονται σε κάθε σετ είναι τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τις διαδικασίες που έχουν αναφερθεί στο τρίτο κεφάλαιο. Στη συνέχεια αναφέρονται τα δεδομένα που περιέχει το υπολογιστικό φύλλο excel:

- Βύθισμα πλώρης (m)
- Βύθισμα πρύμνης (m)
- Ισχύς κύριας μηχανής (kW)
- Ταχύτητα του πλοίου στο νερό (kn)
- Ταχύτητα του πλοίου μετρούμενη στο έδαφος (kn)
- Κατανάλωση κύριας μηχανής (tn/24hr)
- Πραγματική διεύθυνση ανέμου (°)
- Πραγματική ταχύτητα ανέμου (BF)
- Πραγματική ταχύτητα ανέμου (m/s)

- Στροφές κύριας μηχανής (RPM)
- Κατεύθυνση του πλοίου (°)

Ταξίδι του πλοίου

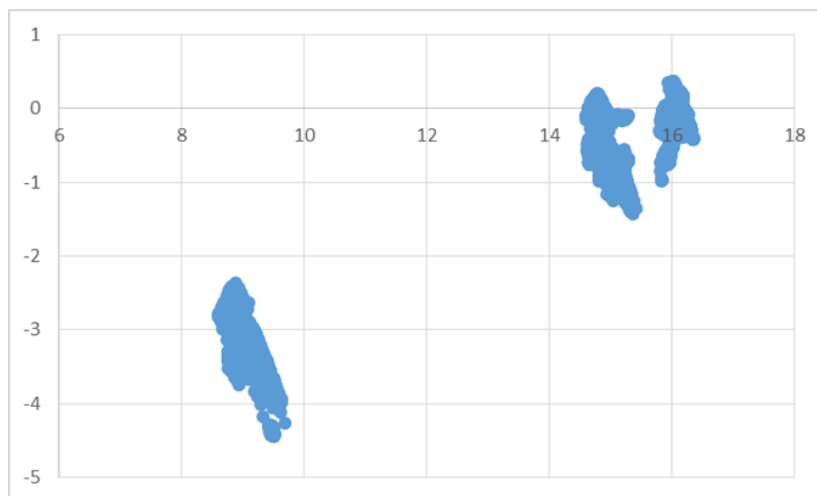
Από τα δεδομένα προκύπτουν τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2 για τα ταξίδια που ακολούθησε το πλοίο το χρονικό διάστημα 2/5/2016 έως 24/1/2017. Δεν υπάρχουν στοιχεία για το δρομολόγιο που ακολούθησε αλλά όπως φαίνονται και στον πίνακα εξάγονται συμπεράσματα για τις καταστάσεις φόρτωσης, την ταχύτητα και τα διαστήματα ακινησίας. Στη δεδομένη χρονική διάρκεια που μελετάται το πλοίο βρέθηκε σε δύο καταστάσεις φόρτωσης. Μια κατάσταση πλήρους φορτίου με τιμές βύθιματος κοντά στο βύθισμα σχεδίασης ($T_{des} = 16,5 \text{ m}$) και κατάσταση ερματισμού με τιμές κοντά στο βύθισμα που εμφανίζεται στα sea trials του πλοίου για κατάσταση ερματισμού ($T_{BALLAST} = 9,5 \text{ m}$) όπως φαίνεται και στα επόμενα διαγράμματα.

Πίνακας 3.2: Πρόγραμμα ταξιδιών

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	MEAN DRAFT NOON	MEAN DRAFT 5MIN	STW NOON	STW 1HR	STW 15MIN	STW 5MIN
2/5/2016-14/5/2016	9,43	9,19	7,37	7,66	7,69	7,7
15/5/2016 – 19/5/2016	φόρτωση					
19/5/2016 – 1/6/2016	15,11	14,92	11,24	10,74	10,78	10,77
2/5/2016 – 9/6/2016	Εκφόρτωση					
10/6/2016- 19/6/2016	8,22	8,9	10,13	9,84	9,88	9,89
20/6/2016-27/6/2016	φόρτωση					
27/6/2016 – 5/7/2016	16,2	16,07	10,52	10,3	10,33	10,32
5/7/2016 – 9/7/2016	εκφόρτωση					
9/7/2016-18/7/2016	9,017	9	9,92	9,66	9,67	9,67
18/7/2016-13/8/2016	Μεγάλο διάστημα ακινησίας - 10/8 φόρτωση					
13/8/2016-21/8/2016	16,15	16,08	11,24	10,73	10,71	10,72
22/8/2016 – 11/9/2016	εκφόρτωση					
11/9/2016-20/9/2016	8,89	8,77	10,52	10,3	10,29	10,31
20/9/2016-29/9/2016	φόρτωση					

29/9/2016-9/10/2016	16,16	15,99	9,55	9,28	9,25	9,29
9/10/2016-15/10/2016	εκφόρτωση					
15/10/2016-21/10/2016	9,26	8,94	8,032	7,5	7,5	7,51
21/10/2016-31/10/2016	φόρτωση					
31/10/2016-4/11/2016	17,35	16,98	11,1	10,65	10,81	10,76
4/11/2016-8/11/2016	Εκφόρτωση					
8/11/2016-20/11/2016	9,3	9,02	10,47	10,2	10,2	10,2
20/11/2016-5/12/2016	φόρτωση					
5/12/2016-24/1/2016	15,32	14,97	9,57	9,4	9,41	9,41

Οι τιμές που αντιστοιχούν στις ταχύτητες STW για τέσσερις τελευταίες στήλες του Πίνακα 3.2, προέκυψαν από τους μέσους όρους για κάθε σύνολο δεδομένων. Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι οι μέσοι όροι των ταχυτήτων για τις μετρήσεις με βήμα 5 και 15 λεπτών συγκλίνουν, ενώ οι μετρήσεις με συχνότητα μίας ώρας έχουν μία αρκετά μικρή απόκλιση. Ωστόσο οι μέσοι όροι για τις ημερήσιες καταγραφές δεν δείχνει να ακολουθεί τις τιμές των υπόλοιπων συνόλων. Στο Σχ. 3.1 φαίνονται οι τιμές για το βύθισμα και τη διαγωγή στα σετ των 5 λεπτών.



Σχήμα 3.1: Μέσο βύθισμα και διαγωγή για δεδομένα 5 λεπτών

Σταθερές μεταβλητές

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μία παρουσίαση δεδομένων που έχουν χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς και πρόκειται για σταθερές μεταβλητές (Πίνακας 3.3) που

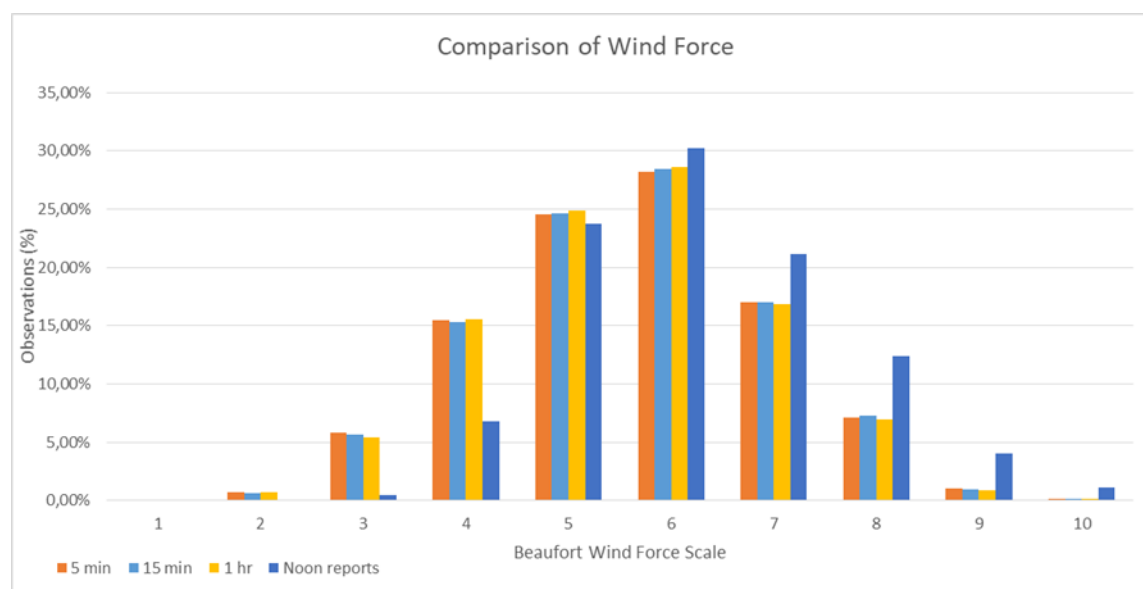
υπολογίστηκαν είτε από εμπειρικούς τύπους, είτε από σχέδια του πλοίου, είτε πάρθηκαν από υπάρχουσα βιβλιογραφία.

Πίνακας 3.3 Σταθερές μεταβλητές

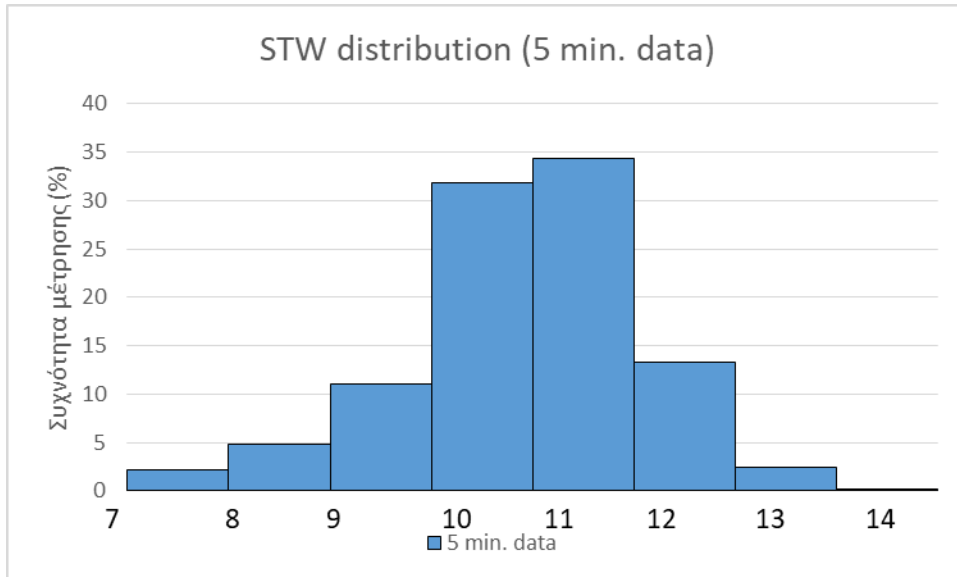
Ύψος του ανεμόμετρου άνω της ισάλου σε κατάσταση σχεδίασης $Z_{a,ref}$ (m)	23,6
Ύψος αναφοράς για τον υπολογισμό του συντελεστή αντίστασης ανέμου $Z_{ref,ref}$ (m)	10
Εμβαδό εγκάρσιας προβεβλημένης επιφάνειας στην κατάσταση σχεδίασης A_{ref} (m ²)	1270
Πυκνότητα αέρα ρ_a (kg/m ³)	1,225
Συντελεστής απόδοσης πρόωσης σε ήρεμη κατάσταση η_{D0}	0,7
Συντελεστής απόδοσης πρόωσης στην παρούσα κατάσταση η_{DM}	0,7

3.2 Στατιστικά μετρήσεων

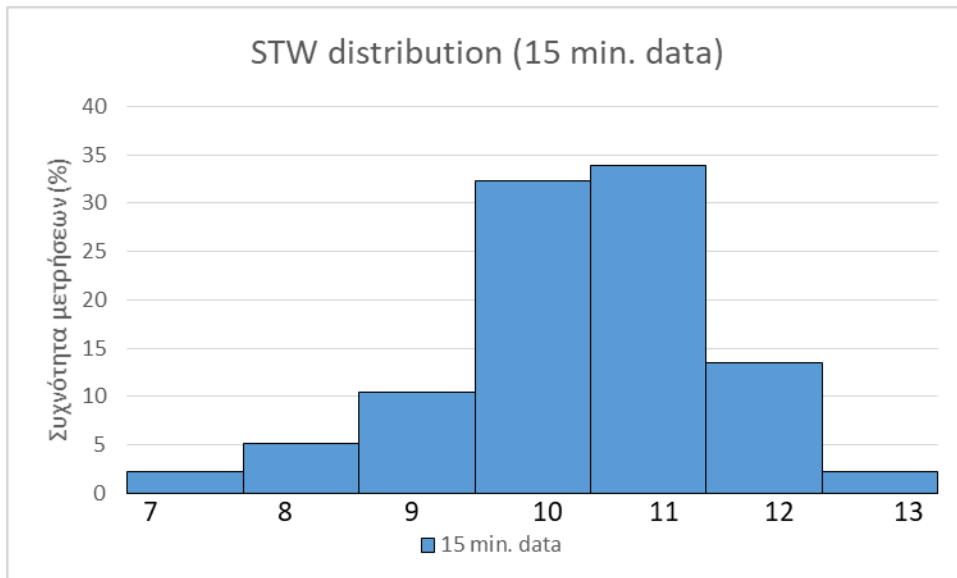
Πριν γίνει η επεξεργασία των δεδομένων, είναι σημαντική μία στατιστική ανάλυση αυτών, ώστε να προσδιοριστούν οι συνθήκες υπό τις οποίες βρισκόταν το πλοίο στο διάστημα που μελετάται. Για την στατιστική ανάλυση παρουσιάζονται ιστογράμματα συχνοτήτων που παρουσιάζουν τις καταστάσεις ανέμου στις οποίες βρέθηκε το πλοίο στο χρονικό διάστημα των δεδομένων (ταχύτητα ανέμου σε κλίμακα BF) και αντίστοιχο ιστόγραμμα για την ταχύτητα μέσα στο νερό για το ίδιο χρονικό διάστημα. Με τη διαδικασία αυτή προσδιορίζονται οι μέσες τιμές των παραμέτρων, επομένως και οι καταστάσεις που επικράτησαν στο χρονικό διάστημα της μελέτης, όπως επίσης και οι ακραίες τιμές των παραμέτρων αυτών. Στο Σχ. 3.2 παρουσιάζεται στατιστική ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου ενώ στα σχήματα 3.4-3.6 στατιστική ανάλυση των δεδομένων για τις μετρούμενες τιμές της ταχύτητας.



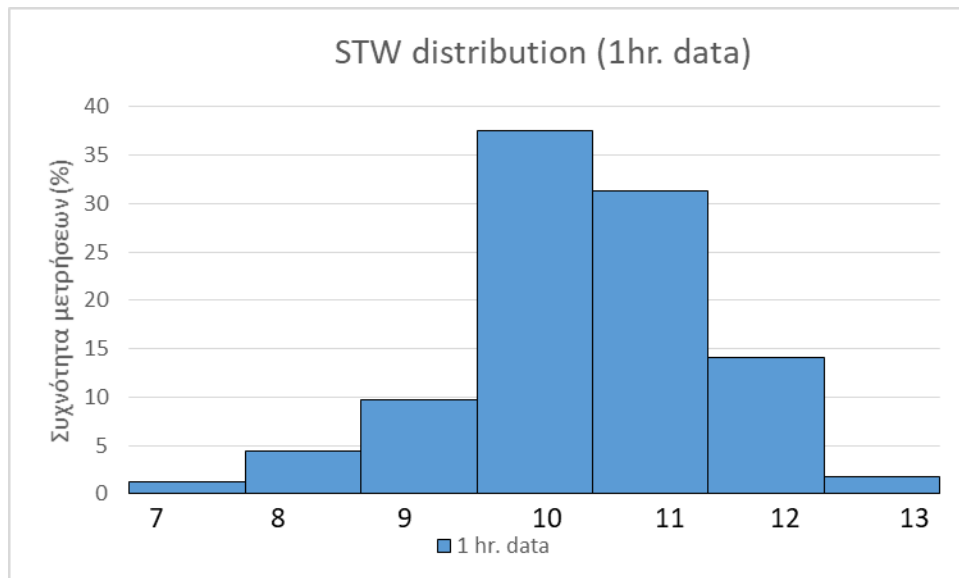
Σχήμα 3.2 Ταχύτητα ανέμου



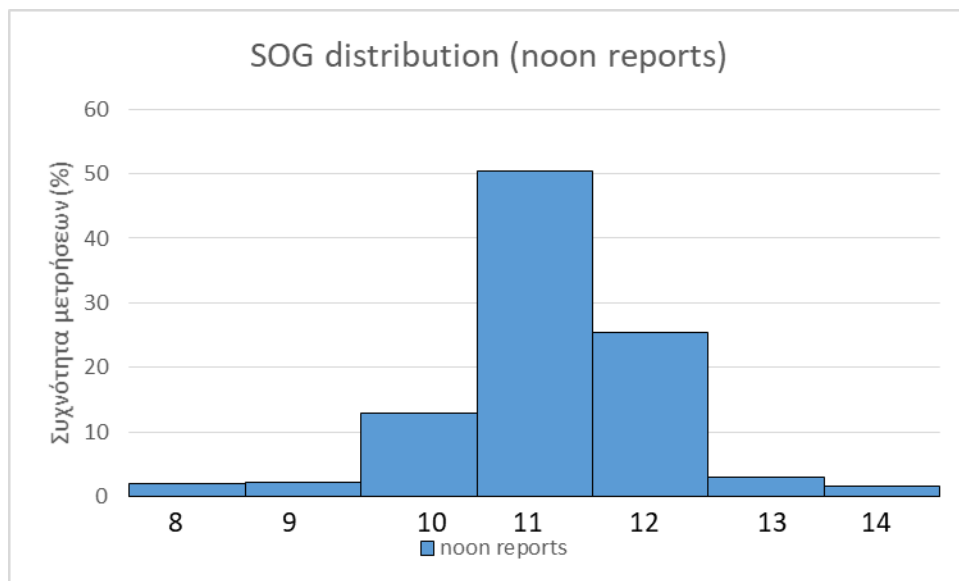
Σχήμα 3.3 Κατανομή ταχυτήτων για συχνότητα καταγραφής 5 λεπτών



Σχήμα 3.4 Κατανομή ταχυτήτων για συχνότητα καταγραφής 15 λεπτών



Σχήμα 3.5 Κατανομή ταχυτήτων για συχνότητα καταγραφής 1 ώρας



Σχήμα 3.6 Κατανομή ταχυτήτων για συχνότητα καταγραφής 24^{ωv} ωρών

Στον πίνακα 3.4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τις τιμές ταχύτητας του ανέμου και ταχύτητας στο νερό για κάθε σετ δεδομένων, με βάση τις μέσες τιμές και τις τυπικές αποκλίσεις.

Πίνακας 3.4 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση ταχύτητας ανέμου και ταχύτητας πλοίου στο νερό

		5 min. data	15 min. data	1 hr. data	Noon Reports
Ταχύτητα ανέμου (BF)	Μέση τιμή	4,34	4,39	4,51	4,89
	Τυπική απόκλιση	1,36	1,37	1,41	1,29
	Μέση τιμή	9,74	9,728	9,76	9,817

Ταχύτητα πλοίου στο νερό (kn)	Τυπική απόκλιση	1,213	1,216	1,22	1,31
-------------------------------	-----------------	-------	-------	------	------

Προετοιμασία δεδομένων

Η προετοιμασία των δεδομένων περιλαμβάνει τα στάδια της σύνθεσης, του καθαρισμού και της επικύρωσής τους. Στο εδάφιο αυτό θα αναλυθούν οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την προετοιμασία των δεδομένων ώστε να είναι στην κατάλληλη κατάσταση για τη συνέχεια των υπολογισμών.

Τα συλλεγόμενα δεδομένα θα πρέπει να ανακτηθούν έτσι ώστε ένα αντίγραφο των αρχικά αποθηκευμένων ακατέργαστων δεδομένων να παραμείνει στη βάση δεδομένων ή να υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας (αντί της διαγραφής). Αυτό εξασφαλίζει ότι ένα αντίγραφο των αρχικά μη επεξεργασμένων αποθηκευμένων δεδομένων παραμένει πάντα διαθέσιμο, σε περίπτωση που γίνει κάποιο λάθος ή παράληψη στους υπολογισμούς και πρέπει να ξεκινήσουν οι διαδικασίες ξανά από την αρχή.

Σύνθεση δεδομένων

Στα αρχικά σετ δεδομένων που δόθηκαν για την παρούσα μελέτη, υπήρχαν μετρήσεις καταγεγραμμένες μόνο σε μία συχνότητα δειγματοληψίας. Επομένως ακολουθήθηκε η διαδικασία που αναλύεται στη συνέχεια προκειμένου και τα τέσσερα σετ δεδομένων να είναι ολοκληρωμένα όσο αφορά τις μετρήσεις τους.

Για τα δεδομένα που συλλέγονται σε υψηλότερη συχνότητα από τις κύριες παραμέτρους μέτρησης (ισχύς και ταχύτητα) υπολογίζεται ο μέσος όρος τους στο σχετικό χρονικό διάστημα. Δεδομένα υψηλής συχνότητας που συλλέγονται μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων χαμηλότερης συχνότητας των πρωτογενών παραμέτρων υπολογίζονται κατά μέσον όρο όπως αναφέρεται στον ακόλουθο τύπο:

$$\alpha_{i+f^{-1}} = \frac{1}{n_k} \sum_{i}^{n_k} m_k \quad \text{για } i < k \leq i + f^{-1}$$

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση όλες οι τιμές μέτρησης υψηλής συχνότητας m_k τη χρονική στιγμή k υπολογίζονται κατά μέσον όρο σε μέση τιμή α εάν η χρονική στιγμή k βρίσκεται μεταξύ της αρχικής χρονικής σήμανσης της παραμέτρου μέτρησης i και της επόμενης χρονικής σήμανσης $i+f^{-1}$ όπου f είναι η συχνότητα στην οποία συλλέγονται οι κύριες παράμετροι μέτρησης (π.χ. 1 σήμα κάθε 15 δευτερόλεπτα). Ο αριθμός των τιμών μέτρησης υψηλής συχνότητας στο καθορισμένο χρονικό διάστημα δίνεται από n_k .

Τα δεδομένα για τα οποία τα σήματα συλλέγονται σε χαμηλότερη συχνότητα από τις κύριες παραμέτρους μέτρησης αντιγράφονται κατά το σχετικό χρονικό διάστημα. Η τιμή μέτρησης χαμηλής συχνότητας m_k τη χρονική στιγμή k πρέπει να αντιγραφεί σε τιμές a_i με χρονικές στιγμές i από τις υψηλότερες συχνότητες, τις κύριες παραμέτρους μέτρησης, όπου i βρίσκεται μεταξύ k και της προηγούμενης χρονικής στιγμής $k-t^{-1}$. t είναι η συχνότητα με την οποία καταγράφεται η παράμετρος μέτρησης χαμηλότερης συχνότητας.

$$a_i = m_k \text{ για όλα τα } i \text{ σε } k-t^{-1} < i \leq k$$

(5)

Συγκεκριμένα για τα σετ δεδομένων που ελήφθησαν από το πλοίο χρειάστηκε να γίνει η παραπάνω διαδικασία για τις εξής μετρήσεις:

- 5 min. Data: Δεν είχε γίνει καταγραφή της πραγματική διεύθυνσης ανέμου και της κατεύθυνσης του πλοίου. Οι μετρήσεις αυτές προήλθαν από τις καταγραφές των 1 hr. Data (κάθε μέτρηση μίας ώρας αντιστοιχεί σε 12 συνεχόμενες μετρήσεις για το σετ των πέντε λεπτών). Αυτό επετεύχθη με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab και ο κώδικας παρουσιάζεται στο παράρτημα.
- 15 min. Data: Δεν είχε γίνει υπολογισμός της πραγματική διεύθυνσης ανέμου και της κατεύθυνσης του πλοίου. Οι μετρήσεις αυτές προήλθαν από τις καταγραφές των 1 hr. Data (κάθε μέτρηση μίας ώρας αντιστοιχεί σε 4 συνεχόμενες μετρήσεις για το σετ των πέντε λεπτών). Αυτό επετεύχθη με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab και ο κώδικας παρουσιάζεται στο παράρτημα.
- 1 hr. Data: Στα δεδομένα με συχνότητα δειγματοληψίας μία ώρα δεν υπήρχε καταγραφή των μετρήσεων για τις στροφές της κύριας μηχανής. Οι μετρήσεις αυτές προήλθαν από το μέσο όρο των καταγραφών του σετ 15 λεπτών που αντιστοιχούν σε διάστημα μίας ώρας (δηλαδή τον μέσο όρο κάθε τεσσάρων μετρήσεων).
- Noon Reports: Από τα noon reports έλειπαν οι μετρήσεις για την κατεύθυνση του πλοίου, την πραγματική γωνία ανέμου και την ταχύτητα στο νερό. Οι μετρήσεις αυτές προήλθαν από τις αντίστοιχες καταγραφές του 1 hr. Data set με τη μέθοδο των μέσων όρων (δηλαδή ο μέσος όρος κάθε 24 μετρήσεων).

Καθαρισμός δεδομένων

Ένα από τα πιο σημαντικά βήματα της εργασίας που καθορίζει την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων είναι ο καθαρισμός των δεδομένων. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την απομάκρυνση, εάν υπάρχουν, των κενών κελιών, την εύρεση και διαγραφή

παρεκτρεπόμενων σημείων με εφαρμογή του κριτηρίου Chauvenet και την απομάκρυνση μετρήσεων που αντιστοιχούν σε οριακές καταστάσεις που δεν προσφέρουν κάποια θετική έκβαση στην έρευνα (πχ όταν το πλοίο βρίσκεται σε κατάσταση ακινησίας). Συγκεκριμένα τα σημεία τα οποία απομακρύνθηκαν είναι:

- Σημεία των οποίων οι μετρήσεις στην ταχύτητα μέσα στο νερό και η ισχύς είναι μικρότερη από 6 κόμβους και 1.500 kW αντίστοιχα
- Σημεία των οποίων οι τιμές ήταν κενές ή μη λογικές (πχ αρνητική ταχύτητα)
- Σημεία που κρίθηκαν παρεκτρεπόμενα από την εφαρμογή του κριτηρίου Chauvenet.

Σύμφωνα με το ISO 19030 και όπως έχει αναφερθεί και στο 3^ο κεφάλαιο, το κριτήριο Chauvenet ορίζει συνεχή δεκάλεπτα σερτ δεδομένων πάνω στα οποία γίνονται οι υπολογισμοί με βάση το μέσο όρο και την τυπική απόκλιση. Λόγω της συχνότητας δειγματοληψίας που δεν μπορούσε να συμβαδίσει με αυτή τη διαδικασία έγινε μια παραλλαγή και για κάθε σύνολο δεδομένων το κριτήριο εφαρμόστηκε ανά 24 συνεχόμενες διαφορετικές χρονικές στιγμές. Δηλαδή κάθε σερτ δεδομένων χωρίστηκε στα αντίστοιχα βάση του πλήθους δεδομένων του υποσύνολα πλήθους εισοσιτεσσάρων μετρήσεων.

Παράλληλα, προκειμένου να γίνει εκτενέστερη στατιστική μελέτη εφαρμόστηκε και ένα κριτήριο ελέγχου z-score, όπου για το κάθε σημείο, υπολογίστηκε η απόσταση του σημείου από την μέση τιμή μετρούμενη σε τυπική απόκλιση με βάση τη σχέση:

$$Z = \left| \frac{\chi - \mu}{\sigma} \right| \text{ όπου:}$$

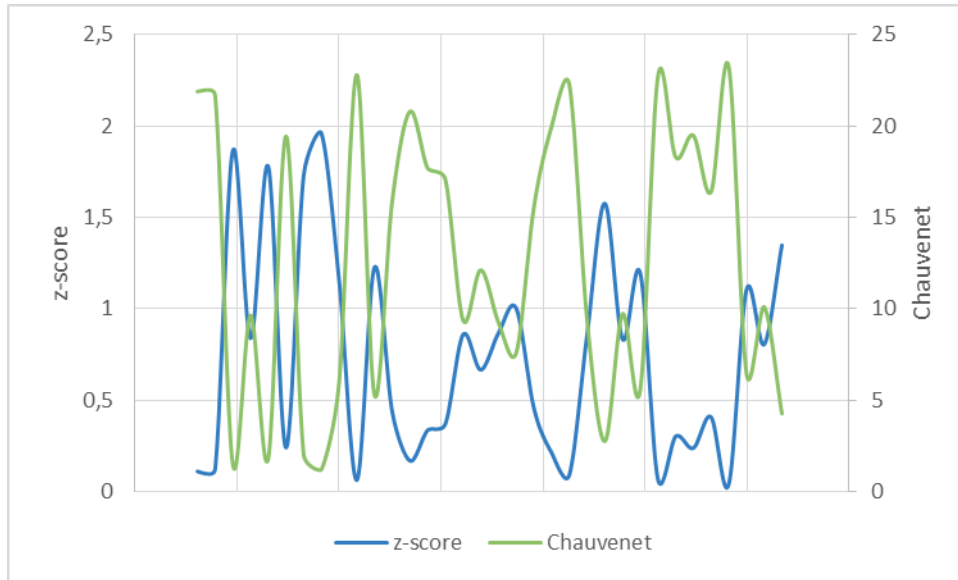
χ : η εκάστοτε μέτρηση

μ : η μέση τιμή κάθε σερτ 24ρων σημείων (αντίστοιχο με το κριτήριο Chauvenet)

σ : η τυπική απόκλιση κάθε σερτ 24ρων σημείων (αντίστοιχο με το κριτήριο Chauvenet)

Για να θεωρηθεί ένα σημείο ως παρεκτρεπόμενο θα πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη $z > 2$.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7 υπάρχει συμμετρία ως προς τα αποτελέσματα των δύο κριτηρίων, ωστόσο προτιμήθηκε ο προσδιορισμός των παρεκτρεπόμενων σημείων να γίνει με βάση το κριτήριο Chauvenet καθώς το προτείνει το ISO 19030 και παρουσίασε πιο αυστηρά αποτελέσματα.



Σχήμα 3.7 Σύγκριση κριτηρίου Chauvenet και z-score

Στον επόμενο πίνακα φαίνεται όσο αφορά την ταχύτητα του πλοίου μέσα στο νερό πόσα σημεία θεωρήθηκαν παρεκτρεπόμενα με το κριτήριο Chauvenet και πόσα με το κριτήριο z-score. Όπως φαίνεται και με το πλήθος των σημείων το κριτήριο Chauvenet είναι περισσότερο αυστηρό, επομένως χρησιμοποιήθηκε με σκοπό το φιλτράρισμα των δεδομένων. Επίσης παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η συχνότητα καταγραφής το ποσοστό παρεκτρεπόμενων σημείων μειώνεται (Πίνακας 3.5).

Πίνακας 3.5: Σύγκριση κριτηρίου Chauvenet και z-score

Δεδομένα		Πλήθος παρεκτρεπόμενων σημείων	Ποσοστό παρεκτρεπόμενων σημείων
5 min.	Chauvenet	1145	1,38 %
	z-score	687	1 %
15 min.	Chauvenet	447	2 %
	z-score	308	1,4 %
1 hr.	Chauvenet	145	3 %
	z-score	105	2 %

Επικύρωση δεδομένων

Η επικύρωση των δεδομένων (data validation) είναι μία διαδικασία καθαρισμού δεδομένων όπου εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα που περιλαμβάνονται στα υποσύνολα ανά κάθε 24 μετρήσεις, δεν χαρακτηρίζουν μεταβατική συμπεριφορά του πλοίου, ως προς τις στροφές του άξονα, την ταχύτητα του πλοίου και την πηδαλιούχηση (Πίνακας 3.6).

Σύμφωνα με τα στοιχεία που αναφέρονται στο παραπάνω εδάφιο, τα σετ δεδομένων χωρίζονται ανά 24 μετρήσεις σε υποσύνολα των οποίων υπολογίζονται η μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις για τις παραμέτρους που φαίνονται στον επόμενο πίνακα, και αν οι τιμές της τυπικής απόκλισης υπερβαίνει τις απαιτούμενες τότε το υποσύνολο χαρακτηρίζεται ως μη έγκυρο και απομακρύνεται:

Πίνακας 3.6 Οριακές τιμές επικύρωσης

Παράμετρος	Οριακή τιμή τυπικής απόκλισης
Στροφές του άξονα	3 rpm
Ταχύτητα στο νερό	0,5 knots
Ταχύτητα ως προς το έδαφος	0,5 knots

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3.7) παρουσιάζονται το πλήθος και το ποσοστό των δεδομένων που έμειναν ύστερα από τις διαδικασίες φιλτραρίσματος. Να τονιστεί ότι οι διαδικασίες αυτές δεν εφαρμόστηκαν για τα ποσοφ reports καθώς λόγω της χαμηλής συχνότητας δειγματοληψίας δεν υπάρχουν δεδομένα που θα προκαλέσουν πρόβλημα στους υπολογισμούς.

Πίνακας 3.7 Πλήθος μετρήσεων

Σετ δεδομένων	Πλήθος σημείων	Ποσοστό σημείων
1 hr	1105 (από 6408)	17,2 %
15 min	9542 (από 25728)	37 %
5 min	30329 (από 77184)	39,3 %

Συνδυάζοντας τα ποσοστά στους πίνακες 3.6 και 3.8 φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των σημείων απορρίφθηκε λόγω της διαδικασίας επικύρωσης των δεδομένων (validation), προκειμένου να μην υπάρχει έντονη μεταβλητότητα μεταξύ των μετρήσεων.

Διόρθωσης ισχύος εξαιτίας αντίστασης ανέμου

Στην παράγραφο αυτή αναλύεται η εφαρμογή της διαδικασίας που αναφέρει το ISO 19030 για τη διόρθωση της ισχύος εξαιτίας της αντίστασης του ανέμου. Οι τιμές της αποδιδόμενης ισχύος που έχει δοθεί στα δεδομένα πρέπει να διορθωθεί ώστε να ληφθεί υπόψη η αντίσταση λόγω ανέμου. Για τη διόρθωση ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο 3.2. Μέρος της διαδικασίας όπως έχει αναφερθεί

παραπάνω είναι ο υπολογισμός των συντελεστών αντίστασης ανέμου για τους οποίους ακολουθήθηκε η μέθοδος Fujiwara που περιγράφεται στην παράγραφο 3.3.

Για την εφαρμογή της μεθόδου Fujiwara ήταν απαραίτητος ο προσδιορισμός κάποιων παραμέτρων, δηλαδή κάποιων επιφανειών και κέντρων επιφανειών που υπολογίζονται από τα σχέδια του υπό μελέτη πλοίου. Για τον προσδιορισμό αυτών των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα Autocad και το σχέδιο γενικής διάταξης του πλοίου, το οποίο παρατίθεται στο παράρτημα.

A_{OD} : Η πλευρική προβεβλημένη επιφάνεια των υπερκατασκευών μετρήθηκε με την τιμή $A_{OD} = 570 \text{ m}^2$

A_{XV} : Η επιφάνεια της μέγιστης εγκάρσιας τομής εκτιθέμενης στον άνεμο για το βύθισμα σχεδίασης ισούται με $A_{XV} = 1270 \text{ m}^2$

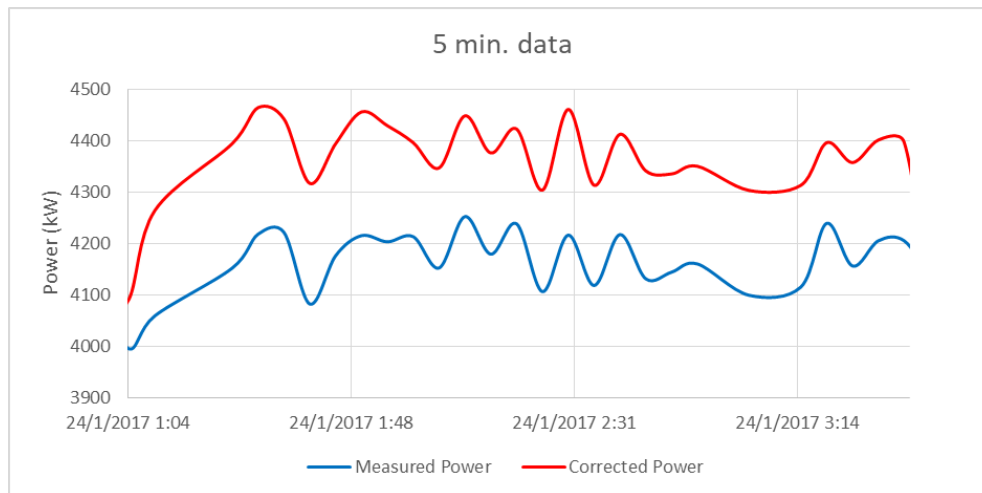
A_{YV} : Η πλευρική προβεβλημένη επιφάνεια άνω της ισάλου πλεύσης για το βύθισμα σχεδίασης μετρήθηκε και ισούται με $A_{YV} = 2268,84 \text{ m}^2$

C_{MC} : Η οριζόντια απόσταση από την μέση τομή μέχρι το κέντρο της επιφάνειας A_{YV} για το βύθισμα σχεδίασης ισούται με $C_{MC} = 18,96 \text{ m}$ ενώ για την κατάσταση ερματισμού ισχύει $C_{MC} = 9,72 \text{ m}$

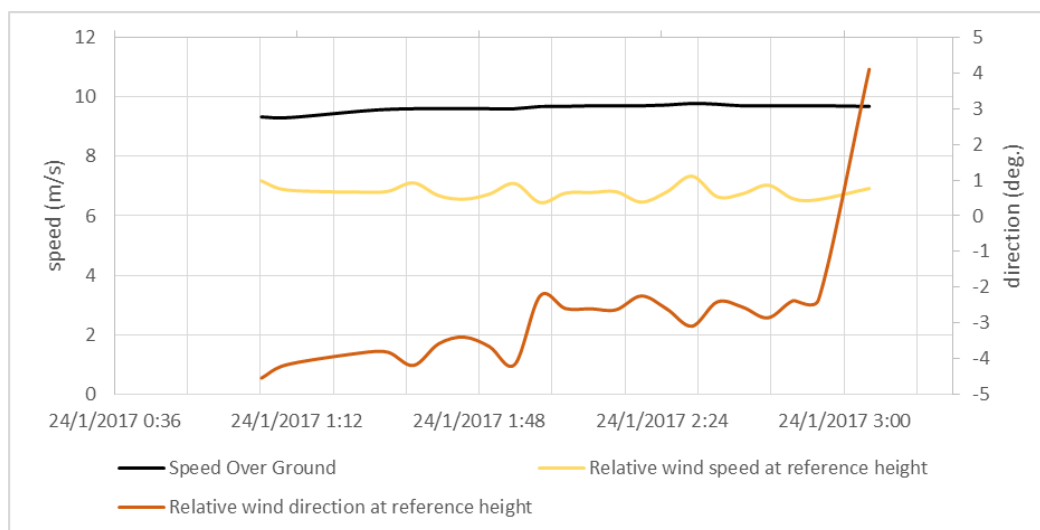
h_{BR} : Η κατακόρυφη απόσταση από την κορυφή των υπερκατασκευών έως την ίσαλο πλεύσης μετρήθηκε και ισούται με $h_{BR} = 28,3 \text{ m}$

h_C : Η κατακόρυφη απόσταση από την ίσαλο πλεύσης έως το κέντρο της επιφάνειας A_{YV} για το βύθισμα σχεδίασης ισούται με $h_C = 5,68 \text{ m}$ ενώ για την κατάσταση ερματισμού ισχύει $h_C = 8,83 \text{ m}$.

Η διόρθωση της ισχύος λόγω της αντίστασης του ανέμου έγινε με την εφαρμογή της διαδικασίας που αναφέρεται στο ISO 19030. Όπως είναι λογικό ο άνεμος ανάλογα με την ένταση και την κατεύθυνσή του άλλοτε συνέβαλε στην αύξηση της αντίστασης και άλλοτε στη μείωση αυτής, επηρεάζοντας αντίστοιχα και τις τιμές της ισχύος. Στα επόμενα διαγράμματα (Σχ. 3.8 και Σχ. 3.9) φαίνονται κάποια παραδείγματα για τη σχέση μεταξύ μετρούμενης και διορθωμένης ισχύος, όπως επίσης και στοιχεία της ταχύτητας του πλοίου και του ανέμου για τις δεδομένες χρονικές στιγμές.



Σχήμα 3.8 Διόρθωση ισχύος για δεδομένα 5 λεπτών



Σχήμα 3.9 Ταχύτητα πλοίου και ταχύτητα / διεύθυνση ανέμου για δεδομένα 5 λεπτών

4 Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό των τιμών απόδοσης για κάθε χρονικό δεδομένο, των δεικτών απόδοσης και την αβεβαιότητά τους. Οι τιμές της απόδοσης για κάθε σημείο των δεδομένων έγινε με εφαρμογή της μεθόδου που αναφέρεται στην παράγραφο 3.4 της παρούσας εργασίας. Απαραίτητος ήταν ο προσδιορισμός των αναμενόμενων τιμών ισχύος και ταχύτητας, οι οποίες υπολογίστηκαν με τη χρήση των καμπύλων αναφοράς ταχύτητας-ισχύος που προήλθαν από δοκιμές (sea trials) του υπό μελέτη πλοίου (τα στοιχεία αυτά βρίσκονται στο παράρτημα).

Στη συνέχεια το συνολικό χρονικό διάστημα χωρίστηκε σε δύο περιόδους, μία περίοδο αναφοράς και μία περίοδο εκτίμησης. Με βάση το διαχωρισμό αυτό υπολογίστηκαν οι δείκτες απόδοσης που αναφέρονται στη συνέχεια του συγκεκριμένου κεφαλαίου. Στα υπόλοιπα εδάφια του 5^{ου} κεφαλαίου αναλύονται οι υπολογισμοί για την αβεβαιότητα (με βάση την παράγραφο 3.5) και η σύγκριση των δεδομένων ώστε τελικά να φανεί κατά πόσο και αν επηρεάζει η συχνότητα δειγματοληψίας τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του ISO 19030 στα σετ δεδομένων.

4.1 Υπολογισμός τιμών απόδοσης

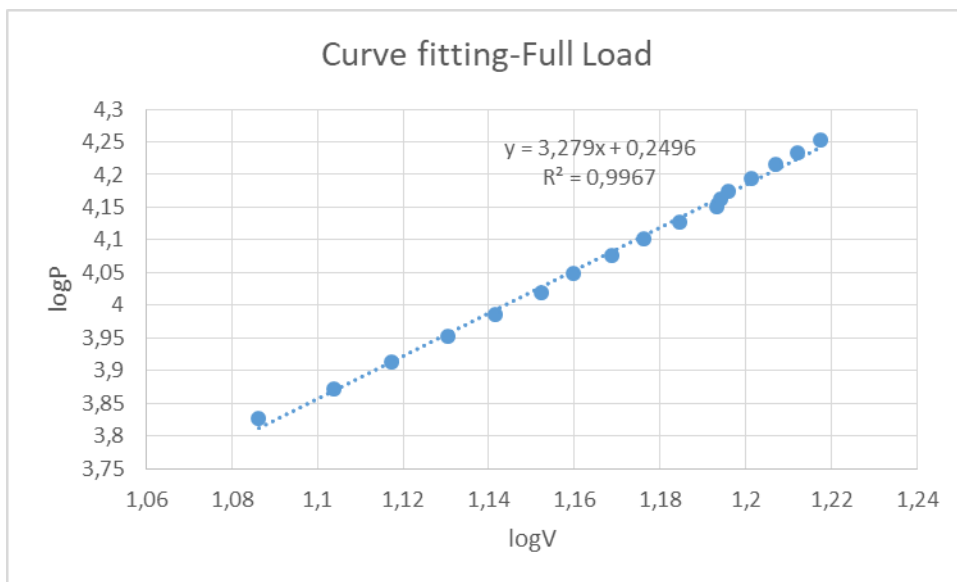
Ο υπολογισμός των τιμών απόδοσης έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία που ορίζει το ISO 19030 και έχει αναλυθεί στην παράγραφο 3.4 της εργασίας αυτής. Όπως, λοιπόν, έχει αναφερθεί και παραπάνω η απόδοση για κάθε σημείο των δεδομένων εξαρτάται από τις μετρούμενες και τις αναμενόμενες τιμές ισχύος και ταχύτητας. Οι μετρούμενες προκύπτουν από τα σετ δεδομένων ενώ οι αναμενόμενες από τις καμπύλες αναφοράς ταχύτητας-ισχύος.

Οι καμπύλες αναφοράς ταχύτητας-ισχύος δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος excel και τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Τα δεδομένα για την προσαρμογή των καμπυλών μέσω του προγράμματος πάρθηκαν από τα αποτελέσματα των δοκιμών θάλασσας κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του υπό μελέτη πλοίου.

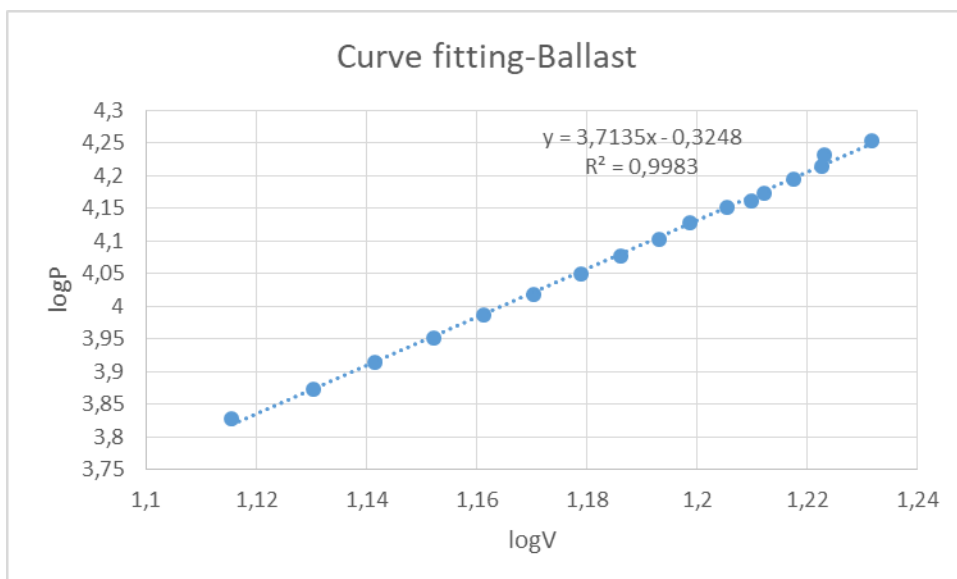
Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, το πλοίο στο χρονικό διάστημα της μελέτης λειτουργεί σε δύο διαφορετικές καταστάσεις, την κατάσταση πλήρους φόρτωσης (FLD) και την κατάσταση ερματισμού. Στα δεδομένα για τις καμπύλες αναφοράς υπάρχουν σημεία και για τις δύο περιπτώσεις. Έτσι με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος σχηματίζονται δύο προσαρμοσμένες καμπύλες αναφοράς για κάθε σετ δεδομένων. Για τον υπολογισμό της απόδοσης κάθε σημείου, τα σημεία που δεν ικανοποιούν τους ελέγχους εκτοπίσματος και διαγωγής (βλ. παράγραφος 3.4) δεν λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία. Ένα επιπλέον κριτήριο που τέθηκε και πρέπει να αναφερθεί είναι ότι λόγω του ότι τα δεδομένα που λαμβάνονται από τις δοκιμές είναι για ταχύτητες στο νερό από 11 κόμβους και πάνω, επομένως η έρευνα προχώρησε με βάση τα σημεία που ικανοποιούν τη συνθήκη αυτή.

Το σκεπτικό πάνω στο οποίο βασίζεται η προσαρμογή των καμπυλών αναφοράς ταχύτητας-ισχύος είναι ότι από τα δεδομένα κάθε κατάστασης φόρτωσης, που λαμβάνονται από τις δοκιμές (sea trials) του πλοίου πρέπει να δημιουργηθεί μία παραμετρική καμπύλη της μορφής $P = \alpha V^\beta$, όπου P η αποδιδόμενη ισχύς με διόρθωση ανέμου και α, β συντελεστές που πρέπει να υπολογιστούν. Για τον υπολογισμό των συντελεστών η παραπάνω σχέση μετατρέπεται με τη χρήση λογαρίθμων στη μορφή $\log(P) = \log(\alpha) + \beta \log(V)$. Έτσι οι συντελεστές $\log(\alpha)$ και β υπολογίζονται μέσω της εξίσωσης της ευθείας με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Στα επόμενα διαγράμματα (Σχ. 4.1 και Σχ. 4.2) φαίνονται οι ευθείες για κάθε κατάσταση φόρτωσης από τις οποίες προκύπτουν οι ζητούμενοι συντελεστές, οι εξισώσεις του, καθώς και η τιμή R^2 όπου δηλώνει την ακρίβεια και όσο πιο κοντά βρίσκεται στη μονάδα, τόσο καλύτερη είναι η προσέγγιση. Να σημειωθεί ότι στις δοκιμές (sea trials) λόγω του ότι έχουν γίνει με βάση τις τιμές που έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί η κύρια μηχανή, η ελάχιστη ταχύτητα που παρουσιάζεται στις καμπύλες αναφοράς ταχύτητας-ισχύος είναι 11 κόμβοι. Με τα σημερινά δεδομένα και τη λειτουργία του κινητήρα σε χαμηλές ταχύτητες μεγάλο πλήθος δεδομένων έχουν καταγράψει μικρότερες ταχύτητες, επομένως στα παρακάτω διαγράμματα έχει γίνει μια προσαρμογή και ως ελάχιστη ταχύτητα έχει υπολογιστεί αυτή των 10 κόμβων.

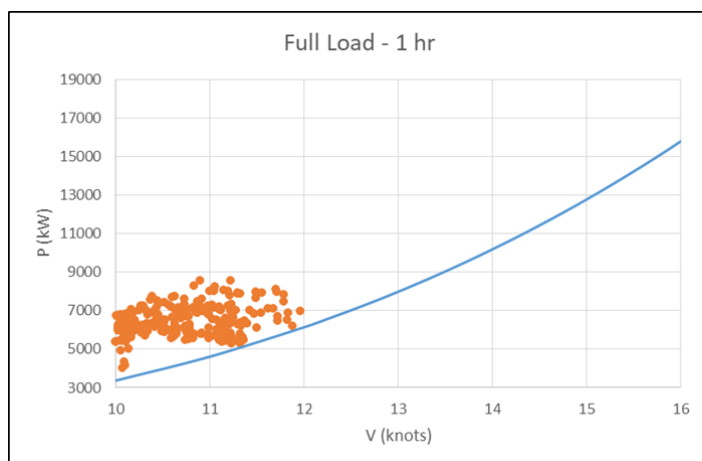


Σχήμα 4.1 προσαρμογή καμπύλης αναφοράς ταχύτητας-ισχύος για πλήρη φόρτωση

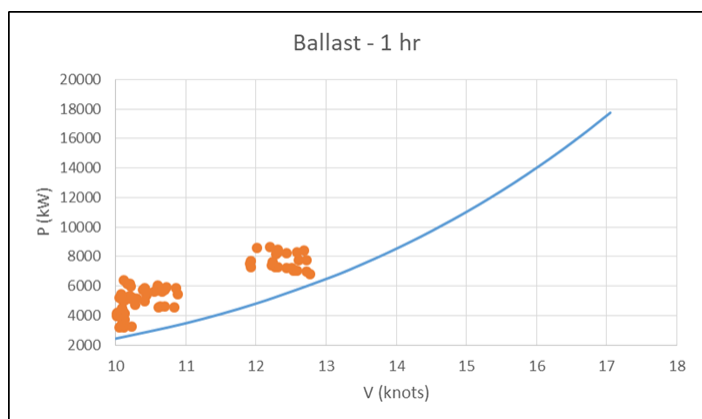


Σχήμα 4.2 προσαρμογή καμπύλης αναφοράς ταχύτητας-ισχύος για κατάσταση ερματισμού.

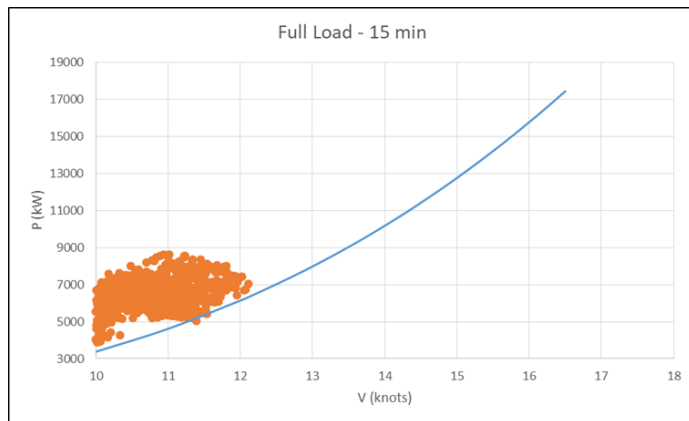
Με τον υπολογισμό των συντελεστών προσδιορίζονται οι προσαρμοσμένες καμπύλες αναφοράς για κάθε σετ δεδομένων. Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται για κάθε διαφορετική συχνότητα δειγματοληψίας οι καμπύλες αναφοράς ταχύτητας-ισχύος και οι μετρήσεις της διορθωμένης ισχύος πάνω στις οποίες γίνεται η έρευνα.



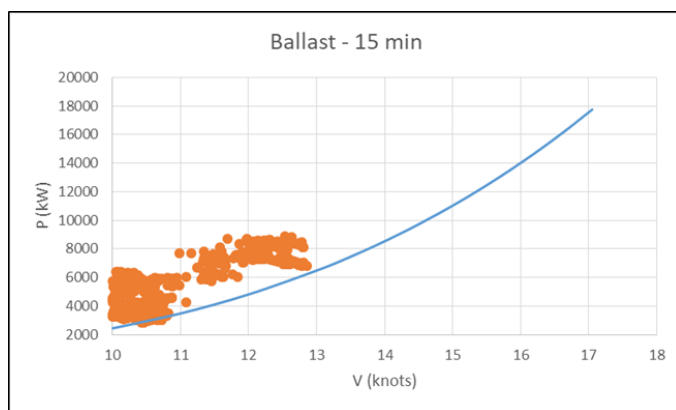
Σχήμα 4.3 Καμπύλη αναφοράς ταχύτητα-ισχύος για πλήρη φόρτωση με δεδομένα μίας ώρας



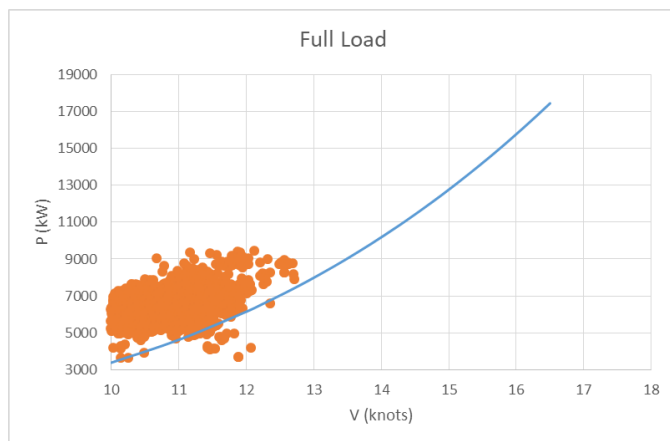
Σχήμα 4.4 Καμπύλη αναφοράς ταχύτητα-ισχύος για κατάσταση ερματισμού με δεδομένα μίας ώρας



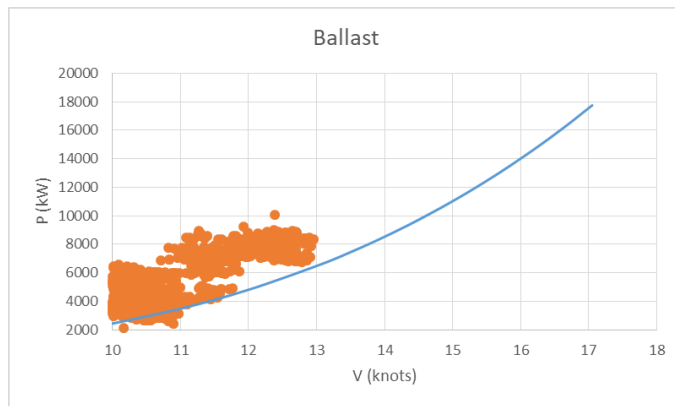
Σχήμα 4.5 Καμπύλη αναφοράς ταχύτητα-ισχύος για πλήρη φόρτωση με δεδομένα 15 λεπτών



Σχήμα 4.6 Καμπύλη αναφοράς ταχύτητα-ισχύος για κατάσταση ερματισμού με δεδομένα 15 λεπτών



Σχήμα 4.7 Καμπύλη αναφοράς ταχύτητα-ισχύος για πλήρη φόρτωση με δεδομένα 5 λεπτών



Σχήμα 4.8 Καμπύλη αναφοράς ταχύτητα-ισχύος για κατάσταση ερματισμού με δεδομένα 5 λεπτών

Στα επόμενα γραφήματα παρουσιάζονται οι τιμές της απόδοσης μεταβολής της ισχύος για κάθε σημείο, που ικανοποιεί τα κριτήρια, συναρτήσει της χρονικής στιγμής, με εφαρμογή του ISO19030. Ο υπολογισμός των αποδόσεων έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο 3.4.

Για να γίνει μια εποπτική σύγκριση μεταξύ των μεθόδων συλλογής δεδομένων η χρονική περίοδος χωρίστηκε σε δύο μέρη. Από το πρόγραμμα του πλοίου παρατηρήθηκε ότι στα μέσα Αυγούστου υπήρξε ένα μεγάλο διάστημα ακινησίας έως τις 11/9, επίσης βρίσκεται περίπου στη μέση της συνολική χρονική διάρκειας ενώ από το διάστημα 11/9 έως 4/11 παρατηρείται ότι τα δεδομένα δεν έχουν καταγράψει την ισχύ της κύριας μηχανής για κάθε αντίστοιχη χρονική περίοδο. Επομένως η ημερομηνία 19/8 χρησιμοποιήθηκε ως το σημείο διαχωρισμού της χρονικής περιόδου.

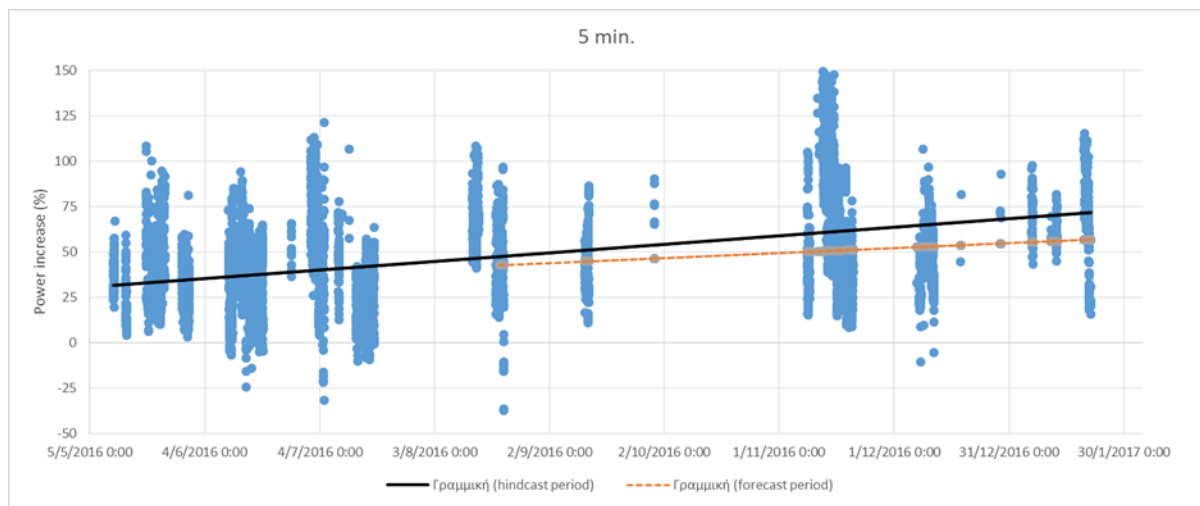
Η περίοδος από την αρχή (2/5/2016) έως 19/8/2016 θεωρήθηκε περίοδος αναφοράς, ενώ από 19/8/2016 έως 24/1/2017 όπου και σταματάει η καταγραφή των δεδομένων ορίστηκε ως περίοδος εκτίμησης.

Το σκεπτικό πίσω από τη σύγκριση είναι με τη βοήθεια του προγράμματος excel, να χαραχτεί μία γραμμή τάσης (trendline) για όλο το χρονικό διάστημα (μαύρη γραμμή), και ύστερα θεωρώντας τα νούμερα της περιόδου αναφοράς ως δεδομένα να χαραχτεί μία αντίστοιχη γραμμή τάσης (πορτοκαλί γραμμή) που προκύπτει από πρόβλεψη με βάση τα δεδομένα της περιόδου αναφοράς. Η διαδικασία αυτή επετεύχθη με τη χρήση της εξίσωσης Forecast όπου παίρνει σαν όρισμα τα δεδομένα μεταβολής της ισχύος και την αντίστοιχη χρονική στιγμή της περιόδου αναφοράς, και δίνει για την περίοδο εκτίμησης τις προβλέψεις.

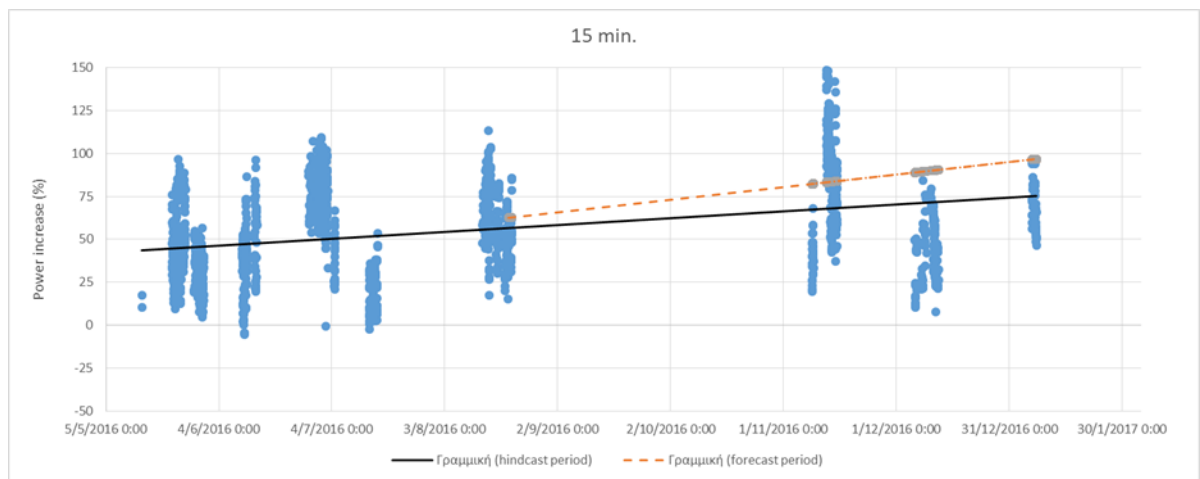
Όπως φαίνεται και από τα παρακάτω διαγράμματα όσο αυξάνεται το πλήθος των δεδομένων, δηλαδή μειώνεται το χρονικό βήμα καταγραφής κάθε δεδομένου οι δύο ευθείες συγκλίνουν η μία με την άλλη. Αντιθέτως στα noon reports όπου οι καταγραφές

είναι πολύ πιο αραιές υπάρχει μεγάλη διαφορά ως προς και την εκτίμηση συνολικά της απόδοσης.

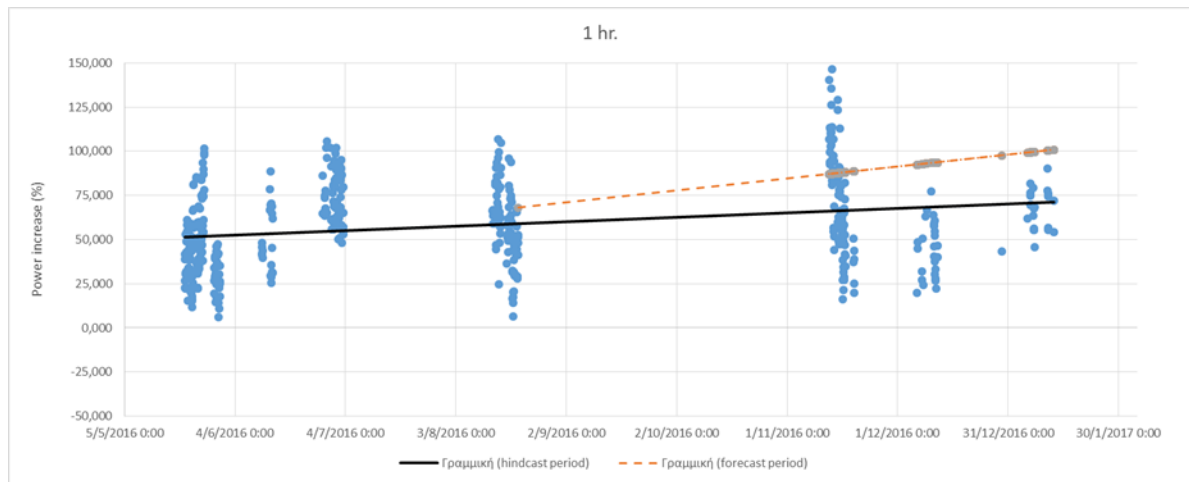
Όπως παρουσιάζεται και στα γραφήματα στο κέντρο όπου συγκεντρώνονται περισσότερες μετρήσεις, η προσέγγιση είναι πιο αξιόπιστη. Στα 5-λεπτα σετ δεδομένων για την περίοδο αναφοράς, στη μέση της χρονικής περιόδου οι τιμές απόδοσης για την αύξηση της ισχύος κυμαίνονται μεταξύ 40-50% ενώ για την περίοδο εκτίμησης στο ίδιο διάστημα μεταξύ 35-40%. Αντίστοιχα για τα 15-λεπτα σετ οι τιμές απόδοσης για την περίοδο αναφοράς είναι μεταξύ του 55-60 % ενώ για την περίοδο εκτίμησης 60-65 %. Στα δεδομένα της μιας ώρας οι τιμές για την περίοδο αναφοράς είναι μεταξύ του 55-60% ενώ για την περίοδο εκτίμησης 65-70% και αντίστοιχα για τις ημερήσιες καταγραφές παρατηρείται ότι υπάρχει όλο και μεγαλύτερη απόκλιση.



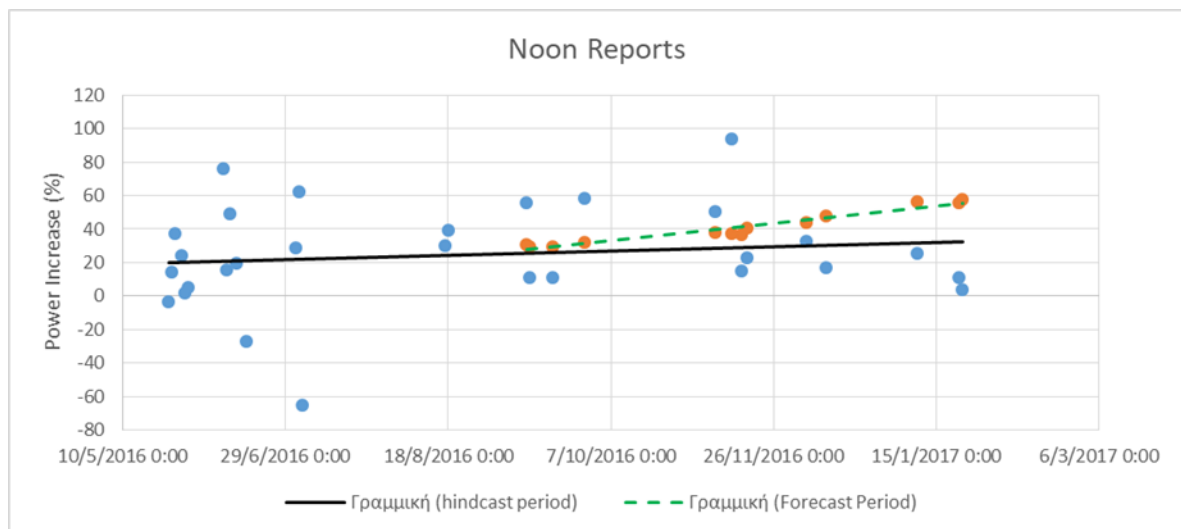
Σχήμα 4.9 απόδοση αύξησης ισχύος για δεδομένα 5 λεπτών



Σχήμα 4.10 απόδοση αύξησης ισχύος για δεδομένα 15 λεπτών



Σχήμα 4.11 απόδοση αύξησης ισχύος για δεδομένα μίας ώρας



Σχήμα 4.12 απόδοση αύξησης ισχύος για δεδομένα 24^{ωv} ωρών.

4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.1) παρουσιάζονται οι μέσοι όροι για κάθε μια από τις χρονικές περιόδους προκειμένου να υπολογιστεί το συνολικό αποτέλεσμα της απόδοσης. Στην τελευταία στήλη αναγράφεται ο δείκτης απόδοσης, δηλαδή το ποσοστό απώλειας ταχύτητας κατά την περίοδο λειτουργίας που μελετάται.

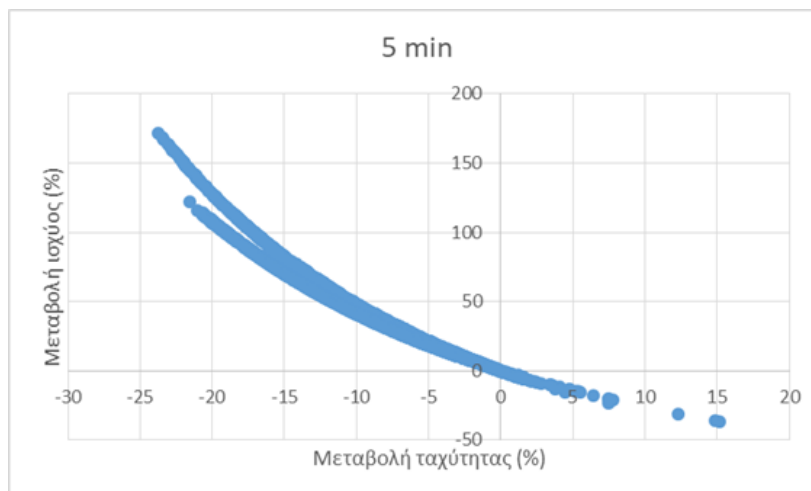
Πίνακας 4.1 Δείκτης απώλειας ταχύτητας για κάθε σύνολο δεδομένων

	$V_{d,ref}$ (%)	$V_{d,eval}$ (%)	k_{HP} (%)
5 min.	-8,3874	-11,699	-3,3115
15 min.	-8,3332	-11,2457	-2,9124

1 hr.	-10,7123	-13,4698	-2,7574
Noon reports	-2,9600	-7,0550	-4,09496

Δεδομένου ότι το ποσοστό απώλειας της ταχύτητας αντιστοιχεί σε μείωση της ταχύτητας όταν εφαρμόζεται ίδια ισχύς, ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών αλλά εξαρτάται αποκλειστικά από την ρύπανση που έχει επέλθει στη γάστρα και την έλικα, δίνει σημαντικά συμπεράσματα για την κατανάλωση του καυσίμου και το επιπλέον κόστος.

Στο επόμενο διάγραμμα (Σχ. 4.13) φαίνεται η σχέση μεταξύ της μεταβολής ισχύος και της μεταβολής ταχύτητας για το πλοίο. Γίνεται δηλαδή κατανοητό ότι για απώλεια της ταχύτητας που οφείλεται στη ρύπανση της γάστρας και της έλικας, θα χρειαστεί κάποια αύξηση της ισχύος ώστε να επιτευχθούν ίδιες ταχύτητες, η οποία μπορεί να προσδιοριστεί, προκειμένου να προσδιοριστεί και το επιπλέον κόστος:



Σχήμα 4.13 Σχέσης μεταξύ μεταβολής ισχύος και μεταβολής ταχύτητας

4.3 Υπολογισμός αβεβαιότητας

Ο δείκτης απόδοσης κάθε σετ δεδομένων συνοδεύεται από την αβεβαιότητά του. Η διαδικασία για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας αναγράφεται στην παράγραφο 3.5.

Για τη μέτρηση της αβεβαιότητας χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της απώλειας ταχύτητας, καθώς υπήρχαν περισσότερα δεδομένα (όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για το διάστημα 11/9 έως 4/11 παρατηρείται ότι τα δεδομένα δεν έχουν καταγράψει την ισχύ της κύριας μηχανής για κάθε αντίστοιχη χρονική περίοδο).

Ο υπολογισμός της αβεβαιότητας έγινε όπως ορίζει το ISO19030, δηλαδή τον υπολογισμό αβεβαιότητας για τις δύο περιόδους (αναφοράς & εκτίμησης) και στη συνέχεια με τη σχέση $u_{kHP} = \sqrt{u_{eval}^2 + u_{ref}^2}$ υπολογίζεται το συνολικό ποσοστό.

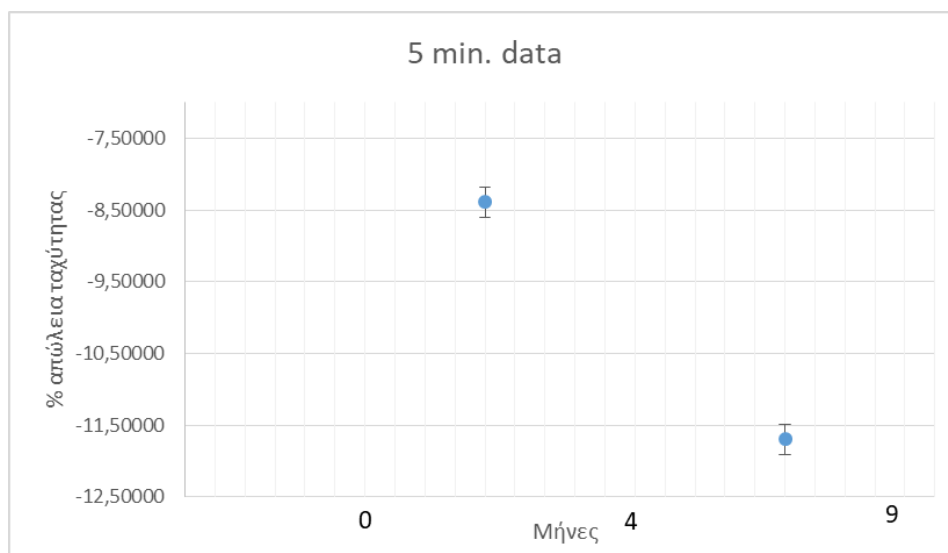
Η αβεβαιότητα κάθε χρονικής περιόδου μετρήθηκε με την εντολή CONFIDENCE(alpha,st_dev,size) του excel, όπου

- Alpha, δηλώνει το επίπεδο εμπιστοσύνης (0,05 για 95% επίπεδο εμπιστοσύνης)
- St_dev, η τυπική απόκλιση
- Size, το πλήθος των μετρήσεων

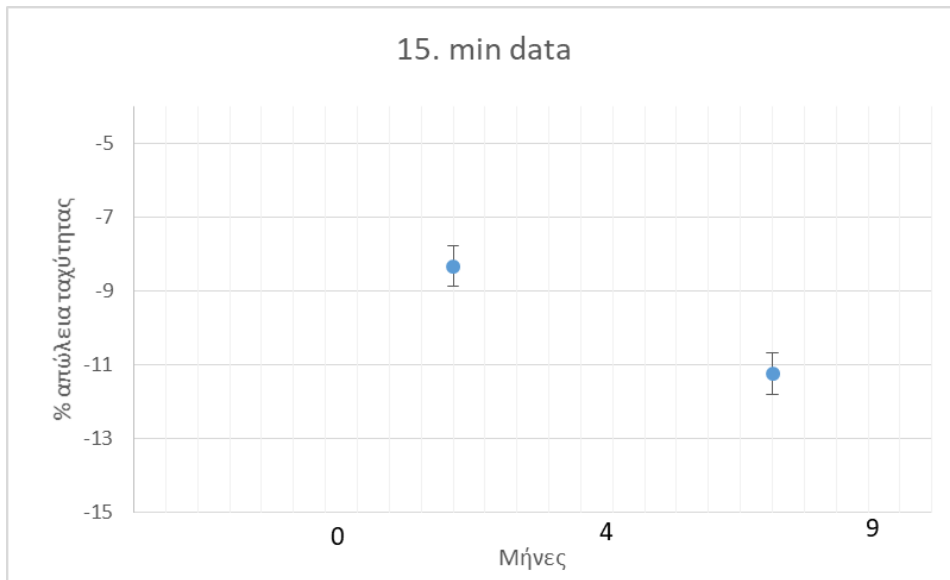
Σύμφωνα με το excel, η συνάρτηση Confidence επιστρέφει μια τιμή που μπορεί να φτιάξει ένα διάστημα εμπιστοσύνης. Το διάστημα εμπιστοσύνης είναι ένα εύρος τιμών στο κέντρο των οποίων βρίσκεται ο δείκτης απόδοσης. Προϋπόθεση για να εφαρμοστεί η συνάρτηση αυτή είναι το δείγμα να ακολουθεί κανονική κατανομή με γνωστά τη μέση τιμή, την τυπική απόκλιση και τον αριθμό των μετρήσεων του δείγματος. Ο υπολογισμός του εύρους από την εξίσωση γίνεται αφού θεωρείται γνωστό το επίπεδο εμπιστοσύνης (95 % στην προκειμένη περίπτωση), δηλαδή κατά πόσο είναι πιθανό η μέση τιμή να βρίσκεται μέσα στο εύρος. Από τον υπολογισμό της αβεβαιότητας για κάθε χρονική περίοδο και την εφαρμογή της διαδικασίας του ISO 19030 για την εύρεση της συνολικής αβεβαιότητας προέκυψε ο επόμενος Πίνακας:

Πίνακας 4.2 Τιμές αβεβαιότητας

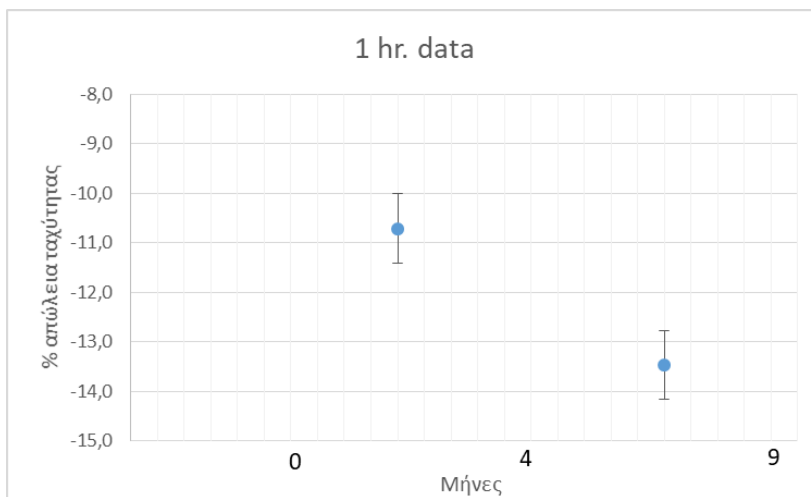
	uVd.ref (%)	uVd.eval (%)	u _{KHP} (%)
5 min.	0,1372	0,1702	0,2186
15 min.	0,4463	0,3314	0,5559
1 hr.	0,5587	0,4267	0,7031
Noon reports	5,8750	2,5213	6,3933



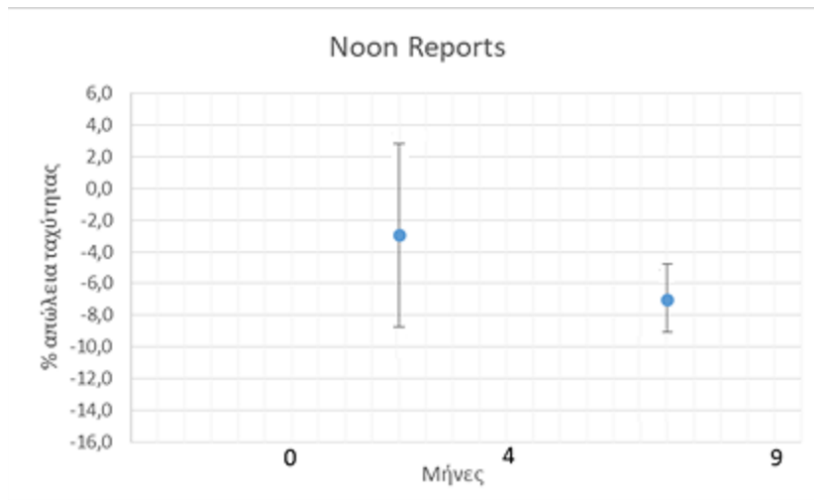
Σχήμα 4.14 Αβεβαιότητα για 5λεπτα δεδομένα



Σχήμα 4.15 Αβεβαιότητα για 15λεπτα δεδομένα



Σχήμα 4.16 Αβεβαιότητα για μίας ώρας δεδομένα



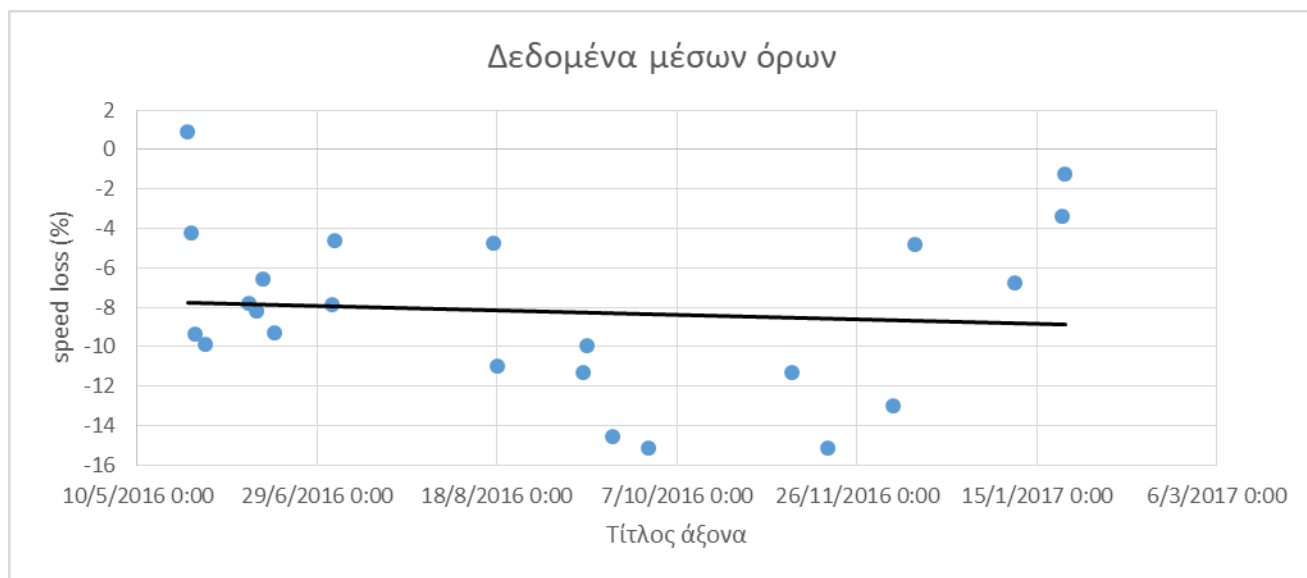
Σχήμα 4.17 Αβεβαιότητα για 24^{ωv} ωρών δεδομένα

4.4 Σύγκριση Noon reports με CMS δεδομένα

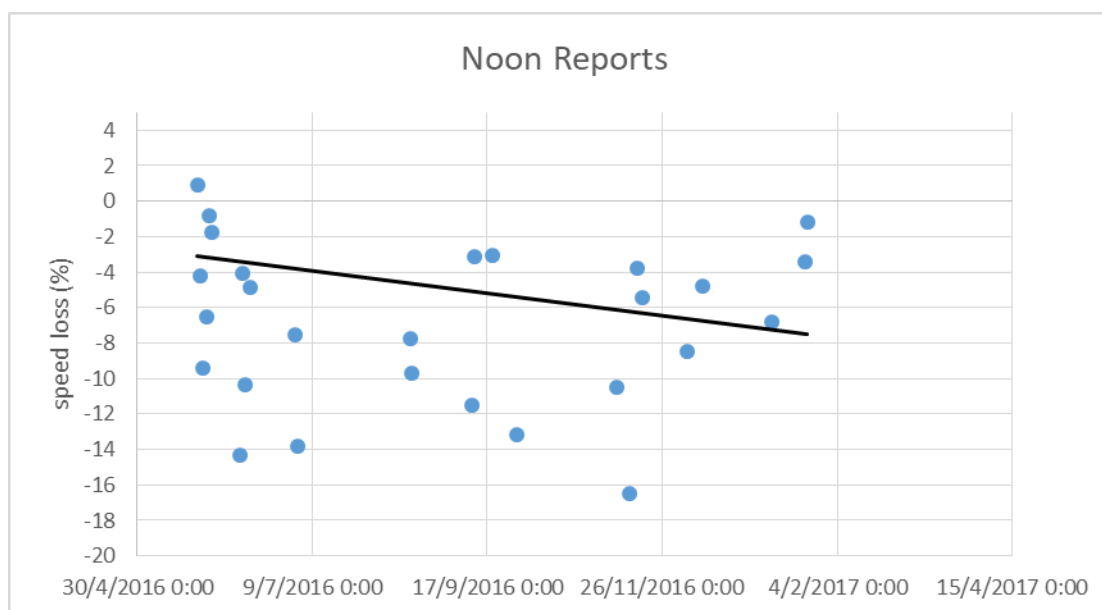
Η μελέτη ολοκληρώνεται με ένα τελευταίο βήμα στη σύγκριση μεταξύ των μεθόδων λήψης δεδομένων. Με τη βοήθεια του excel και του υπολογιστικού προγράμματος Matlab, από το σετ με ταχύτητα δειγματοληψίας 5 λεπτών, με τη μέθοδο των μέσων όρων (βάση του ότι κάθε 24ωρο αποτελείται από 288 5λεπτα), δημιουργήθηκε Πίνακας με στοιχεία το ποσοστό απώλειας ταχύτητας για το χρονικό διάστημα που μελετάται. Αντίστοιχα υπολογίστηκαν ο δείκτης απόδοσης για την απώλεια της ταχύτητας που οφείλεται σε ρύπανση της γάστρας και της έλικας και η αβεβαιότητά του. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.3) , και δείχνουν εμφανώς καλύτερη Εικόνα και πιο προσεγγιστική στις μεθόδους συνεχής καταγραφής δεδομένων. Προτιμήθηκε η σύγκριση να γίνει με βάση την ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας, καθώς πολλά δεδομένα της ισχύος προς το τέλος της χρονικής περιόδου δεν είχαν καταγραφεί στα 5λεπτα σετ δεδομένων.

Πίνακας 4.3 Συγκριτική ανάλυση

	κΗΡ (%)	υκΗΡ (%)
Δεδομένα μέσωσν όρων	-3,87	1,78
Noon Reports	-4,95	6,492



Σχήμα 4.17: Απώλεια ταχύτητας σε συχνότητα 24 hr (noon reports) ως μέσες τιμές με χρήση των δεδομένων των 5 λεπτών.



Σχήμα 4.18: Απώλεια ταχύτητας για δεδομένα noon reports.

5 Συμπεράσματα

Ο όγκος των δεδομένων στην αρχή ήταν πολύ μεγάλος. Μέσα από τις διαδικασίες φιλτραρίσματος απορρίφθηκαν πολλές μετρήσεις. Ο βασικός λόγος είναι προκειμένου οι υπολογισμένες αποδόσεις να έχουν να κάνουν αμιγώς με το κατά πόσο επηρεάζει η ρύπανση της γάστρας και της έλικας την απόδοση του πλοίου στο δεδομένο χρονικό διάστημα. Όπως φάνηκε από τους υπολογισμούς, όσο μικρότερη ήταν η συχνότητα δειγματοληψίας, τόσο μεγαλύτερο ποσοστό σημείων απορρίφθηκε, κάτι που δικαιολογεί τις καλύτερες τιμές αβεβαιότητας στις υψηλές συχνότητες.

Είναι εύκολα αντιληπτό από τη μελέτη ότι η συχνότητα καταγραφής των δεδομένων επηρεάζει τα αποτελέσματα. Στα διαγράμματα 5.9 έως 5.12 φαίνεται η καλύτερη σύγκλιση της γραμμής τάσης για την περίοδο εκτίμησης για τα δεδομένα με καταγραφή 5 λεπτών σε σχέση με τα αντίστοιχα ημερήσια δεδομένα.

Οι τιμές της αβεβαιότητας είναι αυτές που βοηθούν περισσότερο στη σύγκριση των μεθόδων καταγραφής των δεδομένων. Ο δείκτης απώλειας ταχύτητας για τα δεδομένα υψηλής καταγραφής έχει κοντινές τιμές, ωστόσο όσο μεγαλώνει η συχνότητα καταγραφής τόσο περιορίζεται το εύρος της αβεβαιότητας. Προφανώς οι αντίστοιχες τιμές για τα Noon Reports παρουσιάζουν σημαντική απόκλιση καθώς το μικρό πλήθος δεδομένων δεν δίνει μία πλήρη Εικόνα ώστε να συμβάλει στους υπολογισμούς.

Αυτό που είναι σημαντικό να αναφερθεί είναι ότι στην μελέτη της παραγράφου 5.4 όπου ουσιαστικά κατασκευάστηκαν τα δεδομένα ημερήσιας λήψης δεδομένων από τις αντίστοιχες μετρήσεις του συνόλου αυτόματης καταγραφής ανά 5 λεπτά, οι τιμές της απόδοσης και της αβεβαιότητας ήταν κατά πολύ πιο ακριβής και συγκλίνουν στις υπολογισμένες τιμές για τα δεδομένα που έχουν προκύψει από υψηλή συχνότητα καταγραφής.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί η σημαντικότητα της εφαρμογής του ISO 19030 για το πλοίο καθώς όπως φάνηκε μπορεί να δώσει μία αξιόπιστη Εικόνα για τις αλλαγές στην απόδοση του πλοίου εξαιτίας της ρύπανσης της γάστρας και της έλικας, και την επίδραση που έχει αυτό στην κατανάλωση καυσίμου από την κύρια μηχανή

Βιβλιογραφία

1. **Shu Tian, et al.** . A new hybrid silicone-based antifouling coating with nanocomposite hydrogel for durable antifouling properties, *Chemical Engineering Journal*, 370, 1-9, 2019.
2. **T Orihara, H., Τσιξιμοτο, Μ.,** . *Performance prediction of full-scale ship and analysis by means of on-board monitoring. Part 2: Validation of full-scale performance predictions in actual seas.* s.l. : *Journal of Marine Science and Technology*, 23, 782-801 2018.
3. **ISO 19030-1** *Measurement of changes in hull and propeller performance.* s.l. : *Ships and Marine Technology*, 2016. Part 1 - Basic Principles.
4. **ISO 19030-2** *Measurement of changes in hull and propeller performance. Part 2 - Default method.* s.l. : *Ships and Marine Technology*, 2016.
5. **Søyland, S., Oftedahl, G.A.,** . *ISO 19030 – Motivation, Scope and Development.* 2016.
6. Το νέο διεθνές πρότυπο ISO 19030. *Ναυτικά Χρονικά.* 01.2017, 196.
7. **Themelis N. et al** *A comparative study on ship performance assessment based on noon report and continuous monitoring system datasets.* s.l. : *Hellenic Institute of Marine Technology*, 2018.
8. **INTERTANKO.** *Guide on the Best Practice for Tanker Performance Monitoring.* 2020.
9. **ITTC, Specialist committee on performance of ships in service of 28th.** *ITTC quality system manual - Recommended procedures and guidelines.* 2017.
10. **SAFETY4SEA.** *Understanding marine biofouling: How anti-fouling systems prevent growth,* 2018
11. **Θεμελής Ν.** Σημειώσεις μαθήματος «Αξιολόγηση απόδοσης πλοίου»

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κώδικες Matlab:

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για τη συμπλήρωση των δεδομένων από χαμηλότερη συχνότητα δειγματοληψίας σε υψηλότερη

```
clear all  
  
close all  
  
A = xlsread('book2.xlsx');  
  
row=0;  
  
j=1;  
for k=1:6408  
    for i=1:4  
        B(row+i)=A(j);  
    end  
    j=j+1;  
    row=row+4;  
end  
B5=B.';
```

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία noon reports από σετ 5λεπτων δεδομένων

```
clear all  
  
close all
```

```
A = xlsread('book2.xlsx');
```

```
row=0;
j=1;
for k=1:6457
    if A(k)~=A(k+1)
        B(row+1)=A(k+1);
        row=row+1
    end
    j=j+1;

end
B5=B.';
```