



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ**

**«Έλεγχος απόδοσης μηχανής σε εμπορικό πλοίο χρησιμοποιώντας  
το ISO»**

**Ντούρα Μαρία**  
**Ζιάκα Ουρανία**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**Επιβλέπων**  
**κ. Γεώργιος Σταμούλης**

**Λαμία, 2017**



**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF SCIENCE**

**INFORMATICS AND COMPUTATIONAL BIOMEDICINE**

**“ Checking of the performance of a machine on a merchant ship  
with the use of ISO”**

**Doura Maria  
Ziaka Ourania**

**Master thesis**

**Georgios Stamoulis**

**Lamia 2017**





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ**

**«ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ  
ΜΕΓΑΛΟΥ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ»**

**<< Έλεγχος απόδοσης μηχανής σε εμπορικό πλοίο  
χρησιμοποιώντας το ISO >>**

**Ντούρα Μαρία  
Ζιάκα Ουρανία**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Επιβλέπων  
κ. Γεώργιος Σταμούλης**

**Λαμία, 2017**

**<<Έλεγχος απόδοσης μηχανής σε εμπορικό πλοίο  
χρησιμοποιώντας το ISO>>**

**Ντούρα Μαρία  
Ζιάκα Ουρανία**

**Τριμελής Επιτροπή:**

Γεώργιος Σταμούλης (επιβλέπων)

Μαρία Κοζύρη

Αθανάσιος Λουκόπουλος

**Επιστημονικός Σύμβουλος:**

Γιάννης Φιλιππόπουλος

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**



**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**«Έλεγχος απόδοσης μηχανής σε εμπορικό πλοίο  
χρησιμοποιώντας το ISO»**

**Υπό των**

**Ντούρα Μαρία**

**Ζιάκα Ουρανία**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Σταμούλης Γεώργιος**

**Λαμία 2017**

## **Ευχαριστίες**

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στη Σχολή Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και πραγματοποιήθηκε με τη συμβολή επιστημονικών συνεργατών τους οποίους θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά. Με την ολοκλήρωση της Διπλωματικής Εργασίας επιθυμούμε να εκφράσουμε πρώτα από όλα τις ευχαριστίες μας στον επιβλέποντα Καθηγητή για την ανάθεση του θέματος, την καθοδήγηση και τη συνεχή ενθάρρυνση κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη Δ.Ε.Π. Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας στις οικογένειές μας και για την υποστήριξή τους και την υπομονή τους σε εμάς.

## Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση του ISO19030 και η εφαρμογή του σε πραγματικά δεδομένα πλοίων. Η ανάπτυξη του νέου προτύπου ISO πραγματοποιήθηκε με την πρωτοβουλία ιδιωτών, αλλά για την ανάπτυξή του και την ολοκλήρωσή του συμμετείχαν πολλοί παράγοντες, όπως ερευνητές, πλοιοκτήτες και οι κατασκευαστές, κ.ά.. Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε με τέσσερις βασικούς στόχους: 1) την αύξηση της απόδοσης ενός πλοίου, 2) να αυξηθεί η εμπιστοσύνη των πλοιοκτητών στην ακρίβεια της γάστρας και της έλικας με βάση τα στατιστικά στοιχεία απόδοσης, 3) Για να καταστεί δυνατή η αποτελεσματική διαχείριση των εγγυήσεων απόδοσης και των συμβάσεων και 4) για την εξαγωγή καθαρών και με διαφάνεια μετρήσεων των επιδόσεων της κάθε χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας. Ταυτόχρονα, με την αύξηση της απόδοσης του πλοίου μειώνονται οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου καθώς μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου γεγονός που συνεπάγεται μείωση του λειτουργικού κόστους του πλοίου. Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εφαρμογής και ανάλυσης του ISO19030 σε συγκεκριμένα πλοία βρέθηκε ο δείκτης απόδοσης των πλοίων να έχει μειωθεί σημαντικά, ιδιαίτερα που στην περίπτωση το πλοίο πλέει με ταχύτητα έρματος. Χωρίς την εφαρμογή του ISO δε θα ήταν δυνατόν ο έλεγχος της απόδοσης των πλοίων.



## **Abstract**

The aim of the current work is to analyze the ISO19030 and to apply it to actual ship data. The development of the new ISO standard was carried out with the initiative of private individuals, but for its development and integration, many teams were involved, such as researchers, shipowners and manufacturers, etc.,. This ISO was designed with four main objectives: 1) to increase the efficiency of a ship, 2) to increase the confidence of shipowners in the accuracy of the hull and propeller on the basis of performance statistics, 3) to enable efficient management of performance guarantees and contracts and 4) to have clear and transparent measurement of the performance of each used technology. At the same time, the increase in ship's efficiency reduces greenhouse gas emissions as fuel consumption is reduced, which reduces ship's operating costs. Based on the results of this application and analysis of ISO19030 on particular ships, the ship's performance index has been significantly reduced, especially in the case that a ship is being driven at ballast speed. Without the application of ISO, it would not be possible to control the performance of ships.

## Περιεχόμενα

1	Στόχοι και σκοπός του ISO 19030 .....	7
1.1	Εισαγωγή .....	7
1.2	Η σημαντικότητα του ISO-19030 και η σημαντικότητα ανάλυσης της απόδοσης μηχανής.....	13
1.3	Η σημαντικότητα του ISO-19030 για το περιβάλλον .....	18
1.4	Μεθοδολογία του ISO-19030 .....	20
1.4.1	Μεταβλητές εισόδου και αποτελέσματα λαμβάνοντας υπόψη το performance monitoring ως ένα κουτί .....	25
2	Γενικές αρχές και εφαρμογή του ISO .....	29
2.1	Πρόωση πλοίου και συνολική αντίσταση .....	29
2.2	Διαδικασία μέτρησης σύμφωνα με το ISO 19030.....	32
2.2.1	Συλλογή δεδομένων (Data acquisition).....	33
2.2.2	Αποθήκευση δεδομένων (Data storage).....	34
2.2.3	Προετοιμασία δεδομένων (Data preparation) .....	34
2.3	Παράμετροι μέτρησης .....	37
2.3.1	Κύριοι παράμετροι .....	37
2.3.2	Δευτερεύοντες παράμετροι .....	38
2.4	Υπολογισμός τιμών απόδοσης (Performance Values, PV) .....	40
2.5	Υπολογισμός δεικτών απόδοσης .....	41
2.5.1	Υπολογισμός ισχύος απόδοσης με βάση την ισχύ του άξονα.....	43
2.5.2	Υπολογισμός ισχύος απόδοσης με βάση την ισχύ πέδησης.....	44
2.5.3	Υπολογισμός ισχύος απόδοσης με βάση την πραγματική ταχύτητα ανέμου και κατεύθυνση.....	48
2.5.4	Διόρθωση με βάση την αντίσταση του ανέμου.....	52
2.5.5	Καμπύλες αναφοράς ταχύτητας-ισχύος .....	53
2.6	Εναλλακτική μέθοδος υπολογισμού δεικτών απόδοσης και απόδοσης ισχύος	56
3	Μέτρηση απόδοσης πραγματικής κοίτης και έλικας με βάση το ISO 19030 .....	58
3.1	Μεθοδολογία .....	58
4	Συμπεράσματα .....	71
5	Βιβλιογραφία.....	72

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1. Μηχανική βλάβη και bio-fouling [1].	7
Εικόνα 1.2. Διαδικασία bio-fouling κατά τη διάρκεια του χρόνου [1].	8
Εικόνα 1.3. Δημιουργία στρώματος bio-fouling και αντίσταση στην κίνηση του πλοίου [1].	8
Εικόνα 1.4. Μεταβολή της επιφάνειας στη διάρκεια του χρόνου κατά τη διαδικασία του bio-fouling [1].	9
Εικόνα 1.5. Δείκτης επίδοσης για τη διάρκεια του δεξαμενισμού (in-service performance indicator) .	14
Εικόνα 1.6. Δείκτης ξηρού δεξαμενισμού.	15
Εικόνα 1.7. Δείκτης στόχου συντήρησης.	16
Εικόνα 1.8. Δείκτης αποτελεσματικότητας.	16
Εικόνα 1.9. Η συνολική επίπτωση των τυπικών απωλειών της αποτελεσματικότητας του πλοίου από επιδείνωση της απόδοσης της κύτης και της απόδοσης της έλικας στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου [7].	19
Εικόνα 1.10. Η συνολική επίπτωση της δυνητικής βελτίωσης της αποτελεσματικότητας του πλοίου που σχετίζεται με την καλύτερη συντήρηση (για παράδειγμα επιλέγοντας καλύτερο αντιρρυπαντικό) σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου [7].	19
Εικόνα 1.11. Επίδραση παραγόντων στην απόδοση της κύτης [7].	20
Εικόνα 1.12. Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου προσομοίωσης για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας της τιμής της απόδοσης.	21
Εικόνα 1.13. Πηγές αβεβαιότητας στο κουτί διαχείρισης ενός πλοίου.	21
Εικόνα 1.14. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας εκτίμησης των δεικτών επίδοσης με βάση το ISO-19030.	26
Εικόνα 2.1. Διαδικασία μετρήσεων των μεταβολών της απόδοσης της κοίτης και της έλικας σύμφωνα με το ISO 19030.	32
Εικόνα 2.2. Σύμβαση σημάνσεων.	49
Εικόνα 2.3. Υπολογισμός της πραγματικής ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου στο ύψος αναφοράς.	49
Εικόνα 3.1. Προσέγγιση του ISO 19030.	58
Εικόνα 3.2. Μεθοδολογία υπολογισμού απόκλισης ταχύτητας.	59

Εικόνα 3.3. Εκτίμηση κινδύνου κατά την πλοήγηση με χρήση (αριστερά) και μη χρήση (δεξιά).....	61
Εικόνα 3.4. Καμπύλες κατασκευαστή για τα πλοία 137&45.....	63

### **Κατάλογος Πινάκων**

Πίνακας 1.1. Δείκτες απόδοσης με βάση το ISO-19030.....	17
Πίνακας 2.1. Ελάχιστοι ρυθμοί συλλογής δεδομένων. ....	33
Πίνακας 2.2. Ελάχιστες απαιτήσεις αισθητήρων, δευτερεύουσες παράμετροι μέτρησης.....	38
Πίνακας 2.3. Οδηγός σχετικά με την αναμενόμενη ακρίβεια των δεικτών απόδοσης. ....	42
Πίνακας 2.4. Ελάχιστες απαιτήσεις αισθητήρων, προσέγγιση ισχύος άξονα. ....	43
Πίνακας 2.5. Ελάχιστες απαιτήσεις αισθητήρα για την προσέγγιση μετρήσεων με τη μέθοδο ισχύος πέδησης. ....	45
Πίνακας 2.6. Απαιτήσεις δεδομένων δεξαμενής καυσίμων για την περίπτωση προσέγγισης με την ισχύ πέδησης.....	46

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Ισχύς άξονα συναρτήσει ταχύτητας για τα πλοία 147, 148. ....	60
Διάγραμμα 2. Ισχύς άξονα συναρτήσει ταχύτητας για τα πλοία 137, 45. ....	60
Διάγραμμα 3. Σύγκριση καμπυλών ταχύτητας πλοίου-ισχύος άξονα στην περίπτωση φορτίου και στην περίπτωση έρματος, για το πλοίο 137. ....	64
Διάγραμμα 4. Διάγραμμα ισχύος άξονα-συναρτήσει ταχύτητας GPS πλοίου για τα πλοία 137 & 45 για ταχύτητα από 10 έως 20 knots με βάση την πολυωνυμική εξίσωση. ....	65
Διάγραμμα 5. Διάγραμμα ισχύος άξονα-συναρτήσει ταχύτητας GPS πλοίου για τα πλοία 137 & 45 για ταχύτητα από 10 έως 20 knots με βάση την πολυωνυμική εξίσωση. ....	65
Διάγραμμα 6. Σύγκριση καμπυλών ταχύτητας πλοίου-ισχύος άξονα από τα δεδομένα sea trials, για το πλοίο 45. ....	66
Διάγραμμα 7. Απόλυτη τιμή απόκλισης ταχύτητας για το πλοίο 137 για ταχύτητα φορτίου. ....	67
Διάγραμμα 8. Απόλυτη τιμή απόκλισης ταχύτητας για το πλοίο 137 για ταχύτητα έρματος. ....	67
Διάγραμμα 9. Απόλυτη τιμή απόκλισης ταχύτητας με βάση το Διάγραμμα 4 για το πλοίο 45 για ταχύτητα φορτίου. ....	68
Διάγραμμα 10. Απόλυτη τιμή απόκλισης ταχύτητας για το πλοίο 45 για ταχύτητα έρματος. ....	68
Διάγραμμα 11. Διάγραμμα ισχύος άξονα-συναρτήσει ταχύτητας GPS πλοίου για τα πλοία 147 & 148. ....	69
Διάγραμμα 12. Διάγραμμα ισχύος άξονα-συναρτήσει ταχύτητας GPS πλοίου για τα πλοία 147 & 148 για ταχύτητα από 10 έως 20 knots με βάση την πολυωνυμική εξίσωση. ....	69
Διάγραμμα 13. Απόκλιση ταχύτητας για τα πλοία 147&148. ....	70

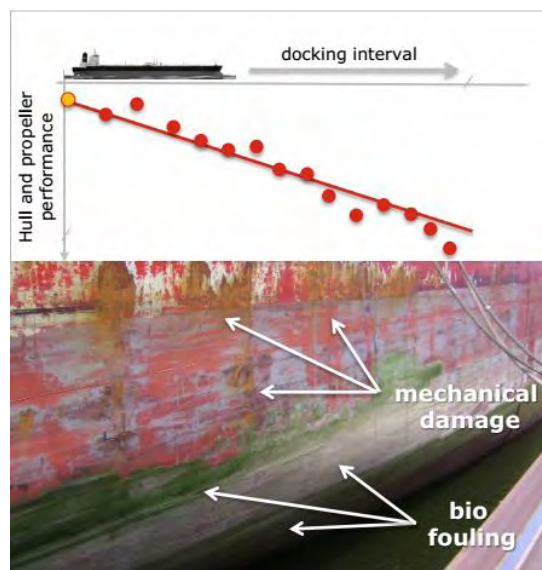
# 1 Στόχοι και σκοπός του ISO 19030

Στόχος του παρόντος Κεφαλαίου είναι η ανάλυση του νέου ISO 19030-1, το οποίο πραγματεύεται τις προδιαγραφές τις οποίες πρέπει να πληρούν το σύστημα της έλικας και η κοίτη του πλοίου κατά τη διαδικασία της συντήρησης αυτών. Επίσης μέσω της ανάλυσης του ISO στόχος είναι να δοθούν απαντήσεις στα ακόλουθα ερωτήματα:

1. Στόχος ύπαρξης της ανάλυσης της απόδοσης μηχανής.
2. Οφέλη ιδιαίτερη μνεία για το περιβάλλον.
3. Αν θεωρήσουμε το performance monitoring ως ένα κουτί, ποιά είναι τα στοιχεία μεταβλητές εισόδου και ποια τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας το.

## 1.1 Εισαγωγή

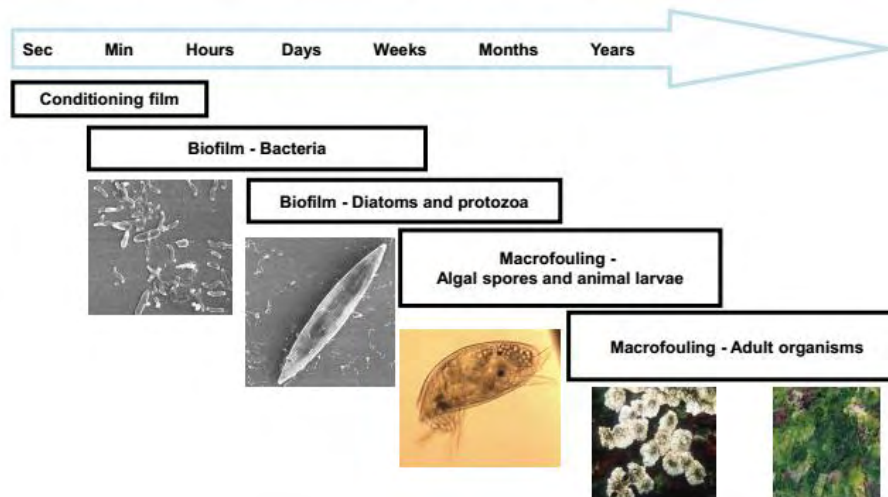
Ένα από τα βασικότερα προβλήματα που οδήγησε στην ανάπτυξη του ISO19030 είναι η βλάβη η οποία προκαλείται από στο μέρος της κοίτης που βρίσκεται κάτω από το νερό. Η βλάβη αυτή είναι το λεγόμενο bio-fouling και μηχανική βλάβη (Εικ.1.1). Οι δυο αυτοί παράγοντες επιδρούν σημαντικά στην απόδοση της έλικας δημιουργώντας σημαντικές απώλειες [1].



Εικόνα 1.1. Μηχανική βλάβη και bio-fouling [1].

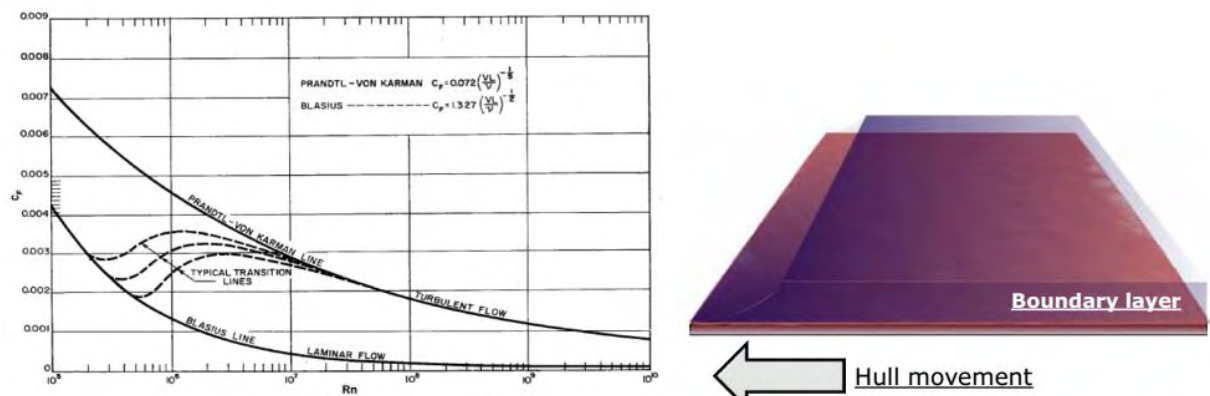
Στη βιβλιογραφία [2] έχουν αναφερθεί μέχρι και 20% απώλειες στο σύστημα πρόωσης λόγω των παραπάνω δύο παραγόντων, ενώ ταυτόχρονα παρατηρήθηκε και αύξηση στο ενεργειακό κόστος και στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου.

Το bio-fouling είναι μια διαδικασία δημιουργίας ενός επιφανειακού ανεπιθύμητου στρώματος, η οποία οφείλεται σε μικροοργανισμούς, οι οποίοι προσκολλώνται σε μια επιφάνεια και υπό τις κατάλληλες συνθήκες αναπτύσσονται (Εικ.1.2) [1].



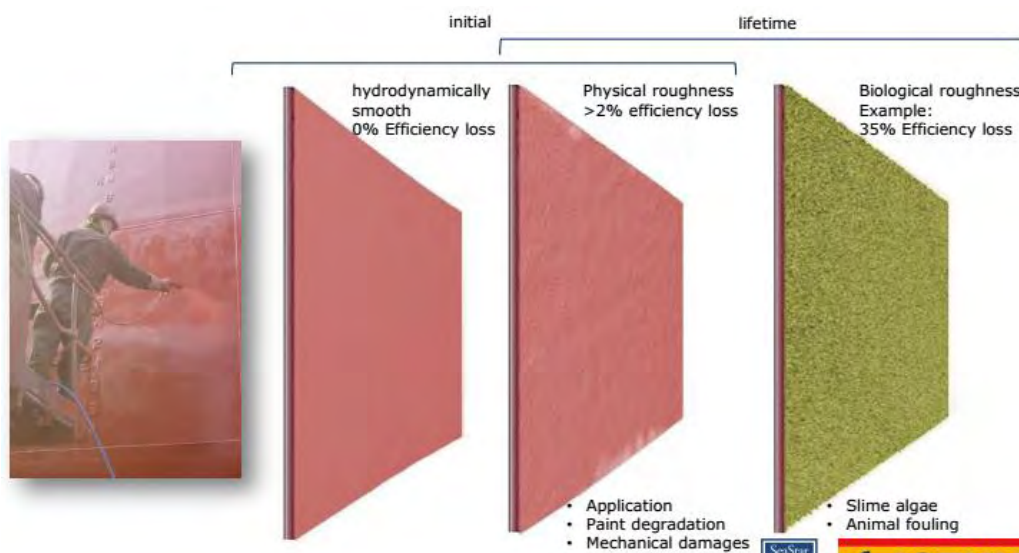
Εικόνα 1.2. Διαδικασία bio-fouling κατά τη διάρκεια του χρόνου [1].

Όπως απεικονίζεται στην Εικ.1.3 το bio-fouling έχει ως αποτέλεσμα την μείωση στην αντίσταση στην τριβή καθώς δημιουργείται ένα επιπλέον στρώμα το οποίο αντιτίθεται στην κίνηση του πλοίου [1].



Εικόνα 1.3. Δημιουργία στρώματος bio-fouling και αντίσταση στην κίνηση του πλοίου [1].

Αρχικά η επιφάνεια είναι υδροδυναμικά λεία και η κοίτη παρουσιάζει 0% απώλειες. Στη συνέχεια κατά τη διάρκεια του χρόνου παρουσιάζεται κάποια φυσική τραχύτητα και η απώλεια της απόδοσης είναι μεγαλύτερες του 2%. Στη συνέχεια σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα επέρχεται μεγαλύτερη σκληρότητα της επιφάνειας (Εικ.1.4) [1].



**Εικόνα 1.4. Μεταβολή της επιφάνειας στη διάρκεια του χρόνου κατά τη διαδικασία του bio-fouling [1].**

Για αυτό το λόγο εφαρμόζονται στις επιφάνειες του πλοίου διάφορες επιστρώσεις από ειδικά υλικά. Η διαδικασία αυτή προστασίας και καθαρισμού των επιφανειών ονομάζεται anti-fouling. Η ποιότητα του anti-fouling ορίζεται ουσιαστικά ως η ικανότητα της διαδικασίας να διατηρήσει την υποβρύχια επιφάνεια της κοίτης χωρίς ρύπανση και συνεπώς να διατηρηθεί η αλλαγή στην αντοχή στην τριβή στο μέγιστο μέχρι την περίοδο ελλιμενισμού. Η ποιότητα του anti-fouling εκτιμάται μετρώντας την αντίσταση τριβής.

Η διαδικασία για την ανάπτυξη του ISO-19030 ξεκίνησε όταν το περιβαλλοντικό ίδρυμα Bellona και Jotun A/S είχε άτυπες συζητήσεις σχετικά με τον τρόπο που θα μπορούσε να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση στο ναυτιλιακό τομέα. Το ίδρυμα Bellona προσπάθησε λοιπόν να βρει έγκυρο και επαληθεύσιμο τρόπο αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης έτσι ώστε να επέλθει και μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Με αυτό το σκοπό ουσιαστικά βρισκόταν σε αναζήτηση



συγκεκριμένων και έγκυρων τρόπων αξιολόγησης της απόδοσης της κύτης και της προπέλας [3].

Ταυτόχρονα μια σειρά από σεμινάρια που πραγματοποιούσε η εταιρία αύξησε τον αριθμό των ενδιαφερόμενων (κατασκευαστές, εταιρίες, πλοιοκτήτες) για ένα κοινό τρόπο παρακολούθησης μεταξύ των επιδόσεων. Έπειτα το ίδρυμα Bellona και Jotun παρουσίασαν στην IMO-MEPC (International marine organization-Marine environment protection committee) τον τρόπο μετρήσεων της απόδοσης της κύτης και της προπέλας [3].

Επίσημα οι εργασίες του ISO ξεκίνησαν τον Ιούνιο του 2013, όπου σχηματίστηκε το λεγόμενο Working Group 7. Η Svend Søyland από το Nordic τμήμα έρευνας έχει υπό την εποπτεία του το Working Group και η Geir Axel Oftedahl από τη Jotun είχε το ρόλο του Project Manager. Στη συνέχεια 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 [3].

Στις ομάδες εργασίες του ISO συμμετείχαν περισσότεροι από πενήντα εμπειρογνώμονες και παρατηρητές, που εκπροσωπούσαν πλοιοκτήτες, ενώσεις ναυτιλίας, νέα ναυπηγεία κατασκευής πλοίων, κατασκευαστές επιστρώσεων, ακαδημαϊκά ιδρύματα και ΜΚΟ. Όλοι οι συμμετέχοντες εκπρόσωποι μοιράστηκαν τις εμπειρίες τους και τα δεδομένα απόδοσης με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη ομάδα εργασίας να είναι μεγαλύτερη από μια συνηθισμένη ομάδα εργασίας που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία συστημάτων ISO και η μεγαλύτερη στο τμήμα τεχνολογίας των πλοίων [3].

Κατά τη διαδικασία σύνταξης αποκαλύφθηκε η ανάγκη για τη θέσπιση πιο αυστηρών μεθόδων λαμβάνοντας υπόψη τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται συνήθως προς την αξιολόγηση της απόδοσης. Αυτό οδήγησε στην κατηγοριοποίηση του ISO σε τρία μέρη. Ένα προσχέδιο του πρώτου και δεύτερου μέρους κατατέθηκε πρόχειρα το Μάρτιο του 2015 και το Δεκέμβριο του 2015 κατατέθηκαν τα προσχέδια και για τα τρία μέρη. Η επίσημη έκδοση του πρότυπου έγινε τον Ιούνιο του 2016 [3].

Η ομάδα εργασίας του πρότυπου θα παραμείνει ενεργή με σκοπό μελλοντικές παρεμβάσεις ή διορθώσεις του παρόντος πρότυπου. Εντωμεταξύ πολλές εταιρίες είναι

στη φάση υιοθέτησης του ISO στις διαδικασίες δεξαμενισμού υπογράφοντας μάλιστα συμβόλαια με την πιστοποίηση του ISO [3].

Σχετικά με το περιεχόμενο του ISO αυτό αναφέρεται στην απόδοση της κύτης και της έλικας ή προπέλας. Η απόδοση της έλικας και της κύτης του πλοίου αναφέρεται στη σχέση μεταξύ της κατάστασης του πλοίου και της έλικας υποβρυχίως και στην ισχύς που απαιτείται για να μετακινηθεί το πλοίο μέσα στο νερό σε μια δεδομένη ταχύτητα. Με τις μετρήσεις των μεταβολών της απόδοσης της έλικας και της κύτης στην πάροδο του χρόνου είναι δυνατόν να υποδειχθεί η επίδραση των διαδικασιών συντήρησης, επισκευής και μετασκευής στη συνολική ενεργειακή απόδοση του εν λόγω πλοίου.

Ο σκοπός αυτού του πρότυπου είναι να προδιαγράψει πρακτικές μεθόδους για τη μέτρηση των μεταβολών των πλοίων, πιο συγκεκριμένα των μεταβολών της απόδοσης της κύτης 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.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω το ISO 19030 χωρίζεται σε τρία μέρη:

- Το πρώτο μέρος περιγράφει τις γενικές αρχές και τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να μετρηθούν οι αλλαγές της απόδοσης της κύτης και της προπέλας του πλοίου και ορίζει ένα σύνολο δεικτών απόδοσης για το πλοίο και της συντήρησης της έλικας, επισκευής και τις δραστηριότητες μετασκευής.
- Το δεύτερο μέρος καθορίζει τη μέθοδο για τη μέτρηση των μεταβολών της κύτης και προπέλας και για τον υπολογισμό των δεικτών απόδοσης. Παρέχει επίσης καθοδήγηση για την αναμενόμενη ακρίβεια του κάθε δείκτη απόδοσης που ορίζει.
- Το τρίτο μέρος περιγράφει εναλλακτικές λύσεις στην περίπτωση που δεν μπορεί να εφαρμοστεί η προεπιλεγμένη 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.

Συνοπτικά λοιπόν το ISO 19030 ορίζει και περιγράφει τις γενικές αρχές από μια προεπιλεγμένη μέθοδο και επίσης ορίζει εναλλακτικές μεθόδους για τη μέτρηση των

μεταβολών της απόδοσης της κύτης και της έλικας (προπέλας) ενός πλοίου. Το πρότυπο 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.

Επισημαίνεται ότι το πρότυπο αυτό έχει ως στόχο να συγκρίνει τις μεταβολές στις επιδόσεις της κύτης και της έλικας στην πάροδο του χρόνου του ίδιου πλοίου. Τα συγγενή πλοία θεωρούνται ότι έχουν εγγενώς διαφορετικό προφίλ με βάση τις επιδόσεις και για αυτό το λόγο το πρότυπο δεν έχει αναπτυχθεί ως ένα εργαλείο για την κατάταξη των πλοίων με βάση τις επιδόσεις τους. Επίσης το πρότυπο μετράει σχετική απόδοση και όχι απόλυτη.

Το επίκεντρο του προτύπου αυτού περιορίζεται στην απόδοση της κύτης και της προπέλας και δεν καλύπτει τη συνολική απόδοση του πλοίου. Στην περίπτωση που η ομάδα εργασίας ήθελε να καλύψει και την απόδοση του πλοίου θα έπρεπε να λάβει υπόψη της και άλλους παράγοντες όπως για παράδειγμα η ποιότητα των καυσίμων, η αντίσταση του αέρα, κ.τ.λ.

Η προεπιλεγμένη μέθοδος που περιγράφεται στο δεύτερο μέρος του προτύπου καθορίζει πώς οι πλοιοκτήτες και οι διαχειριστές μπορούν να επιτύχουν την πιο ακριβή μέτρηση των μεταβολών της απόδοσης της κύτης και της έλικας. Η προεπιλεγμένη μέθοδος βασίζεται στην εφαρμογή του εξοπλισμού μέτρησης, πληροφορίες, διαδικασίες και μεθοδολογίες που είναι γενικά διαθέσιμες και διεθνώς αναγνωρισμένες. Φυσικά το πρότυπο με την πάροδο του χρόνου πρόκειται να εξελιχθεί και να υπάρξουν αναθεωρήσεις αυτού.

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

Με τη συνεχή παρακολούθηση παρέχονται περισσότερα δεδομένα επιτρέπεται μεγαλύτερη ακρίβεια κατά τη διάρκεια μικρότερης περιόδου αξιολόγησης και μειώνεται το ανθρώπινο λάθος ενώ φιλτράρονται διάφορες συνθήκες (για παράδειγμα μεταβατικές συνθήκες και άσχημες καιρικές συνθήκες). Η συνεχής παρακολούθηση είναι μια απαίτηση της προεπιλεγμένης μεθόδου που περιγράφεται στο δεύτερο μέρος.

Επίσης το δεύτερο μέρος έχει ελάχιστες απαιτήσεις που αφορούν στις προδιαγραφές των οργάνων, τη συντήρηση και τη βαθμονόμηση των διαδικασιών.

## **1.2 Η σημαντικότητα του ISO-19030 και η σημαντικότητα ανάλυσης της απόδοσης μηχανής**

Η μείωση της απόδοσης της κύτης και της έλικας οφείλεται σε μηχανικές βλάβες σε συνδυασμό με τη φθορά από φυσικούς παράγοντες όπως η ανάπτυξη φυτικών οργανισμών. Τα περισσότερα πλοία αφήνονται στα ναυπηγεία ή σε μια δεξαμενή μεταγενέστερη με την κύτη και την προπέλα σε αρκετά καλή κατάσταση. Στη συνέχεια, λόγω ενός συνδυασμού βιοαπόθεσης (fouling) και μηχανικής βλάβης, η απόδοση αυτών αρχίζει να επιδεινώνεται.

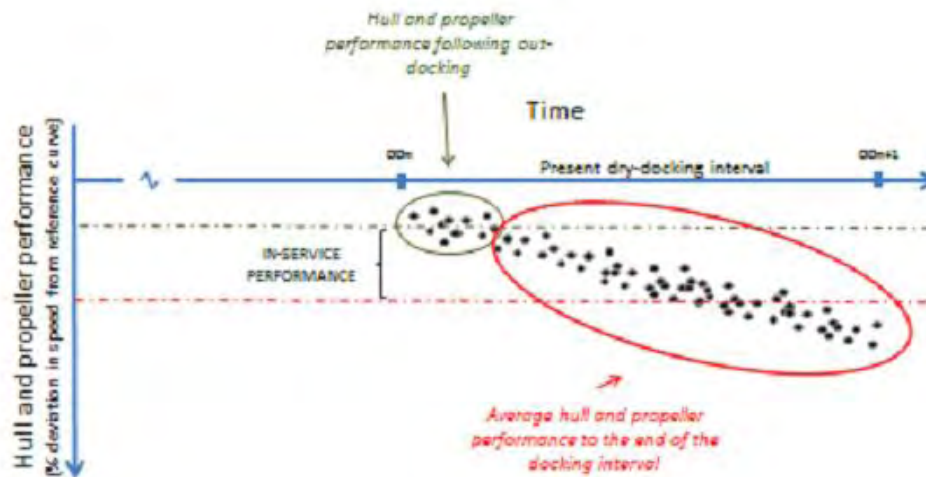
Στο παρελθόν, το πρόβλημα ήταν η έλλειψη της δυνατότητας μέτρησης της απόδοσης της μηχανής. Σήμερα, εμφανίζεται στην αγορά μια πληθώρα μεθόδων μετρήσεων της απόδοσης με διαφορετικά κριτήρια το καθένα από αυτά με αποτέλεσμα πολλές φορές η πραγματική απόδοση να απέχει πολύ από αυτή που μετράται.

Σε αυτό το σημείο έγκειται η σημαντικότητα του πρότυπου 19030, στη δημιουργία δηλαδή ενός ενιαίου και μοναδικού συνόλου τρόπου μετρήσεων με στόχο όχι μόνο την ορθή μέτρηση των αποδόσεων, αλλά και τη βελτίωση αυτών. Επίσης το ISO 19030 θα καταστήσει ευκολότερο για τους φορείς λήψης αποφάσεων όπως ο IMO (International Marine Organization) να λαμβάνουν καλύτερες και ενημερωμένες αποφάσεις για το μέλλον [4]. Οι αποφάσεις αυτές άμεσα αφορούν τη βελτίωση της απόδοσης του πλοίου και έμμεσα την προστασία του περιβάλλοντος. Ταυτόχρονα, παρέχεται διαφάνεια για τους αγοραστές και τους πωλητές των τεχνολογιών και υπηρεσιών που προορίζονται για τη βελτίωση της κύτης και της προπέλας.

Ένας από τους δείκτες αποδόσεων πολύ σημαντικός είναι «η επίδοση» (in-service performance). Η επίδοση αναφέρεται στη μέση μεταβολή της απόδοσης της κύτης και της έλικας κατά το διάστημα του 'δεξαμενισμού' (dry-docking). Σε αυτό το σημείο αναφέρεται ότι δεξαμενισμός είναι η διαδικασία όπου ένα πλοίο ανά τακτά χρονικά διαστήματα τοποθετείται σε μια δεξαμενή μόνιμη ή πλωτή προκειμένου να υποστεί μια σειρά ελέγχων και επιδιορθώσεων [5].

Με βάση το δείκτη επίδοσης για τη διάρκεια του δεξαμενισμού, συγκρίνεται η απόδοση του πρώτου έτους μετά τον ελλιμενισμό με αυτή του διαστήματος πριν το

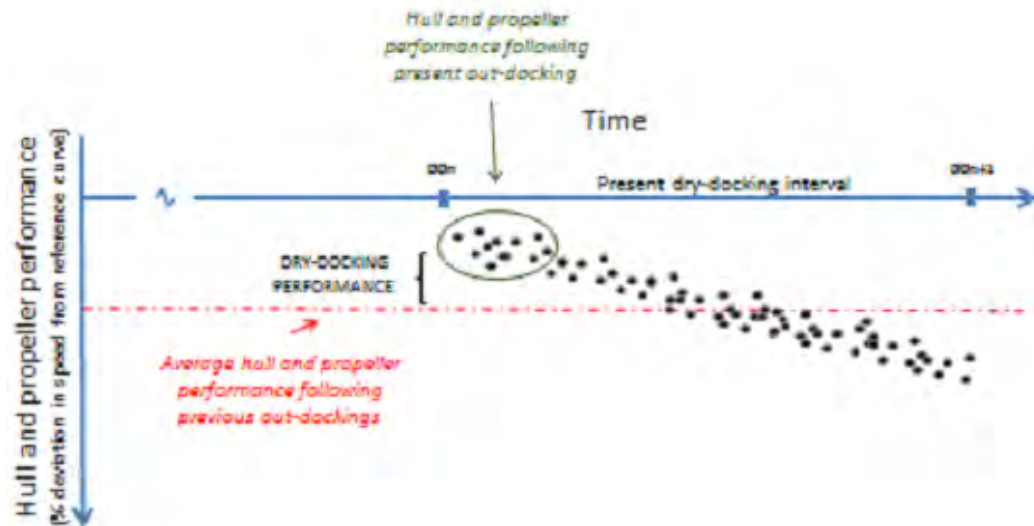
τέλος αυτού, συνήθως δύο έως τέσσερα έτη. Ο δείκτης αυτός της απόδοσης είναι χρήσιμος για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας, υποβρυχίως, του προστατευτικού υγρού που εφαρμόζεται μέσω της δημιουργίας προστατευτικού υμενίου (αφού στεγνώσει), για παράδειγμα στην κύτη.



**Εικόνα 1.5. Δείκτης επίδοσης για τη διάρκεια του δεξαμενισμού (in-service performance indicator) .**

Με βάση την Εικ.1.1 στον άξονα y παρουσιάζεται η απόδοση της κύτης και της προπέλας, ενώ στον άξονα x παρουσιάζεται η μεταβλητή του χρόνου. Στον άξονα των x με  $DD_n$  συμβολίζεται η χρονική στιγμή εισαγωγής του πλοίου ενώ με  $DD_{n+1}$  χρονική στιγμή του επόμενου ξηρού δεξαμενισμού και με  $DDI$  συμβολίζεται το διάστημα μεταξύ του  $DD_n$  και  $DD_{n+1}$ . Επίσης τα σημεία μέσα στο μαύρο κύκλο ορίζονται ως τα σημεία της περιόδου αναφοράς (reference period), κατά την οποία καταγράφεται η απόδοση της κύτης και της προπέλας πριν την έναρξη των διεργασιών συντήρησης, και μέσα στον κόκκινο κύκλο ορίζονται τα σημεία τη χρονική περίοδο κατά την οποία λαμβάνει χώρα η συντήρηση. Τέλος, η διαφορά αυτών είναι ο PI (performance indicator)-2μ δηλαδή ο δείκτης που ενδιαφέρει.

Συνολικά με βάση το ISO-19030 ορίζονται συνολικά τέσσερις δείκτες απόδοσης σύμφωνα με τον Πίνακα 1.1. Επίσης για να γίνει πιο κατανοητός ο σκοπός του κάθε δείκτη ως προς την αξιολόγηση του πλοίου και της συμπεριφοράς του οι υπόλοιποι δείκτες αντικατοπτρίζονται και στις Εικ. 1.6-1.8.



**Εικόνα 1.6. Δείκτης ξηρού δεξαμενισμού.**

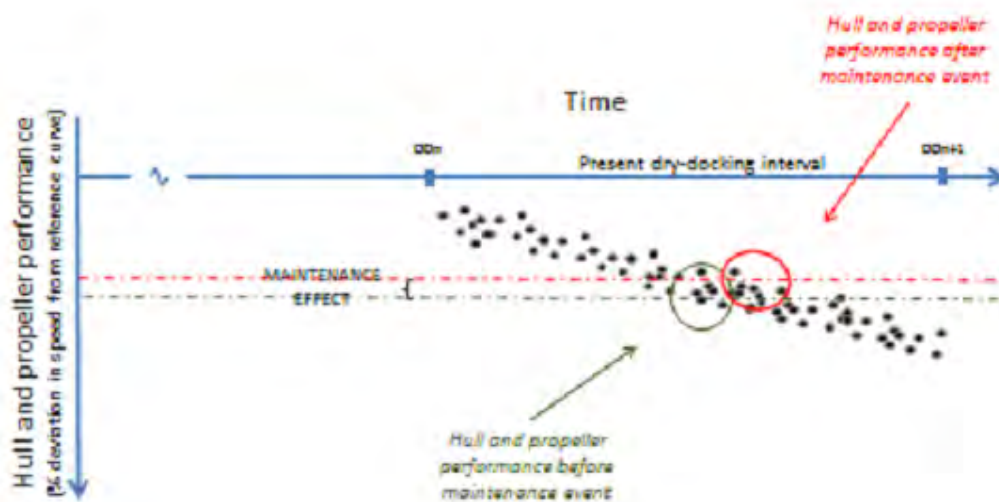
Στην Εικ. 1.6 αντικατοπτρίζεται ο δείκτης ξηρού δεξαμενισμού και είναι ουσιαστικά ο πρώτος δείκτης που πρέπει να εκτιμηθεί. Θεωρώντας ότι υπάρχουν δεδομένα από προηγούμενο έλεγχο (κόκκινη γραμμή αναφοράς) και κάνοντας τις απαραίτητες μετρήσεις πριν την έναρξη της συντήρησης λαμβάνονται νέα δεδομένα τα οποία μπορούν να συγκριθούν με τα προηγούμενα. Επομένως με αυτόν τον τρόπο εκτιμώνται και οι προηγούμενες διαδικασίες.

Στην Εικ.1.7 αντικατοπτρίζεται ο δείκτης στόχου συντήρησης, του οποίου η εκτίμηση έχει ως στόχο τη μέτρηση της μεταβολής της απόδοσης της κύτης και της προπέλας από την έναρξη του διαστήματος του ξηρού δεξαμενισμού μέχρι ενός σημείου που θεωρείται ότι και η κύτη και η προπέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο νερό. Για το λόγο αυτό οι μετρήσεις συγκρίνονται με αυτές ενός πλοίου που βρίσκεται εν κινήσει.



**Εικόνα 1.7. Δείκτης στόχου συντήρησης.**

Στην Εικ.1.8 απεικονίζεται ο δείκτης αποτελεσματικότητας για μια συγκεκριμένη διεργασία που λαμβάνει χώρα. Έτσι γίνονται μετρήσεις πριν τη συγκεκριμένη διεργασία και μετά από αυτή, με το μέσο όρο της διαφοράς αυτών να αποτελεί το δείκτη αποτελεσματικότητας.



**Εικόνα 1.8. Δείκτης αποτελεσματικότητας.**

**Πίνακας 1.1. Δείκτες απόδοσης με βάση το ISO-19030.**

<b>Δείκτης</b>	<b>Διαδικασία</b>	<b>Πληροφορία που παρέχεται</b>
<b>Δείκτης ξηρού δεξαμενισμού</b>	Συγκρίνεται η μεταβολή της απόδοσης της κύτης και της προπέλας μετά τις διαδικασίες ξηρού δεξαμενισμού με το μέσο όρο μεταβολών από προηγούμενες μετρήσεις δεξαμενισμού (reference period)	Παρέχεται πληροφορία σχετικά με την αποτελεσματικότητα των προηγούμενων διαδικασιών δεξαμενισμού και του τωρινού ξηρού δεξαμενισμού
<b>Δείκτης διάρκειας δεξαμενισμού</b>	Συγκρίνεται η απόδοση του πρώτου έτους μετά τον ελλειμισμό με αυτή του διαστήματος πριν το τέλος αυτού, συνήθως δύο έως τέσσερα έτη	Προσδιορισμός της αποτελεσματικότητας, υποβρυχίως, του προστατευτικού υγρού που εφαρμόζεται μέσω της δημιουργίας προστατευτικού υμενίου (αφού στεγνώσει), για παράδειγμα στην κύτη
<b>Δείκτης στόχου συντήρησης</b>	Συγκρίνεται η απόδοση της προπέλας και της κύτης στην έναρξη του διαστήματος δεξαμενισμού με ένα κινούμενο μέσο	Προσδιορίζεται η χρονική στιγμή που είναι απαραίτητη η συντήρηση της κύτης και της προπέλας, συμπεριλαμβανομένου της στίλβωσης της προπέλας και του καθαρισμού της κύτης.
<b>Δείκτης αποτελεσματικότητας</b>	Συγκρίνεται η απόδοση της κύτης και της προπέλας πριν και μετά την περίοδο συντήρησης για μια συγκεκριμένη διεργασία, για παράδειγμα στίλβωσης.	Παράγονται πληροφορίες για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας της συγκεκριμένης διαδικασίας

Τα παρακάτω βήματα ακολουθούνται για τον υπολογισμό κάθε δείκτη απόδοσης, PI:

- Προσδιορισμό συνθηκών αναφοράς.
- Καθιέρωση περιόδου αναφοράς και περιόδου αξιολόγησης.
- Εξαγωγή υποσυνόλων τιμών απόδοσης από το πλήρες σετ με τιμές που πληρούν τις προϋποθέσεις αναφοράς για μια περίοδο αναφοράς και την περίοδο αξιολόγησης.
- Υπολογισμός του δείκτη απόδοσης.



- Αξιολόγηση της ακρίβειας του δείκτη απόδοσης.

$$h = 3\sqrt{BT_M} \text{ και } h = 2.75 \frac{V_s^2}{g} \quad (1)$$

, όπου h: το βάθος του νερού [m]

B: το πλάτος του πλοίου [m]

T<sub>M</sub>: μέσος όρος βύθισης του πλοίου [m]

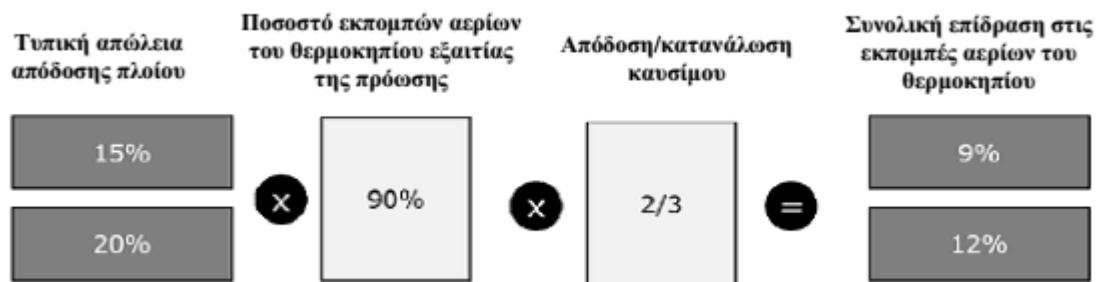
V<sub>s</sub>: η ταχύτητα του πλοίου [m/s]

Εάν οι τιμές βάθους νερού είναι «εκτός εμβέλειας» της περιοχής μέτρησης του αισθητήρα βάθους νερού, τότε δεν εφαρμόζεται η παραπάνω σχέση. Επίσης:

- Η παραδοθείσα ισχύς πρέπει να βρίσκεται εντός του εύρους των τιμών ισχύος που καλύπτονται από τις διαθέσιμες καμπύλες αναφοράς ταχύτητα-ισχύος. Για τα πλοία με διπλή έλικα, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το άθροισμα της παραδοθείσας ισχύος για τα δεξαμενόπλοια και τα άκρα τους.
- Η απόλυτη διαφορά ταχύτητας σε σχέση με το έδαφος και τη μέση ταχύτητα νερού μπορεί να είναι μικρότερη από 4,0 κόμβους.
- Η μετατόπιση πρέπει να είναι εντός  $\pm 5\%$  των τιμών μετατόπισης για τη διαθέσιμες καμπύλες αναφοράς ταχύτητας-ισχύος.
- Η απόλυτη τιμή της γωνίας του πηδαλίου πρέπει να είναι μικρότερη από 5° σε περίπτωση που η παραδοθείσα ισχύς υπολογίζεται με τη μέθοδο που περιγράφεται στο Παράρτημα Β. Η εκτιμώμενη παραδοθείσα ισχύς πρέπει να βρίσκεται εντός του εύρους τιμών ισχύος που καλύπτεται από την διαθέσιμη καμπύλη SFOC.

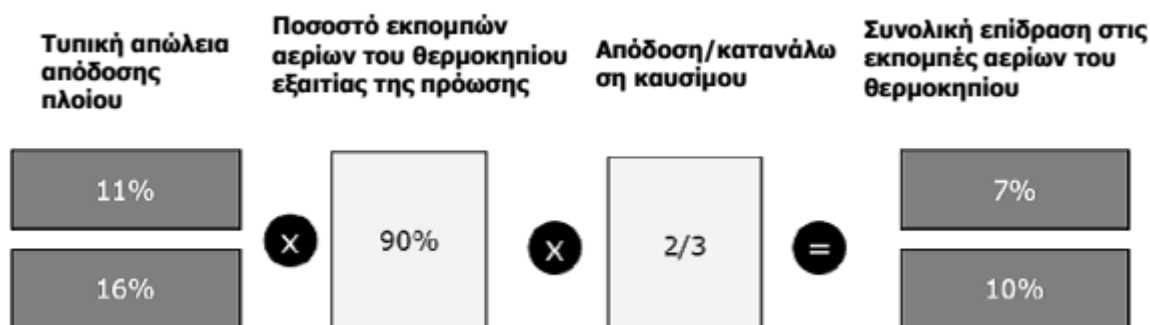
### 1.3 Η σημαντικότητα του ISO-19030 για το περιβάλλον

Με βάση τη βιβλιογραφία [6, 7] εκτιμάται ότι κατά 90% η χαμηλή απόδοση της έλικας είναι υπεύθυνη για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπως διοξειδίου του άνθρακα και άλλων επιβλαβών αερίων, ενώ η απόδοση της κύτης είναι υπεύθυνη για την αύξηση των εκπομπών κατά 2/3. Στην Εικ.1.9 αντικατοπτρίζεται σχηματικά η συμμετοχή του κάθε συστήματος ενός πλοίου στις εκπομπές επιβλαβών αερίων ρύπων, με το 9% των ρύπων να οφείλεται στη μείωση της απόδοσης της κύτης και το 12% στη μείωση της απόδοσης της έλικας [7].



**Εικόνα 1.9.** Η συνολική επίπτωση των τυπικών απωλειών της αποτελεσματικότητας του πλοίου από επιδείνωση της απόδοσης της κύτης και της απόδοσης της έλικας στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου [7].

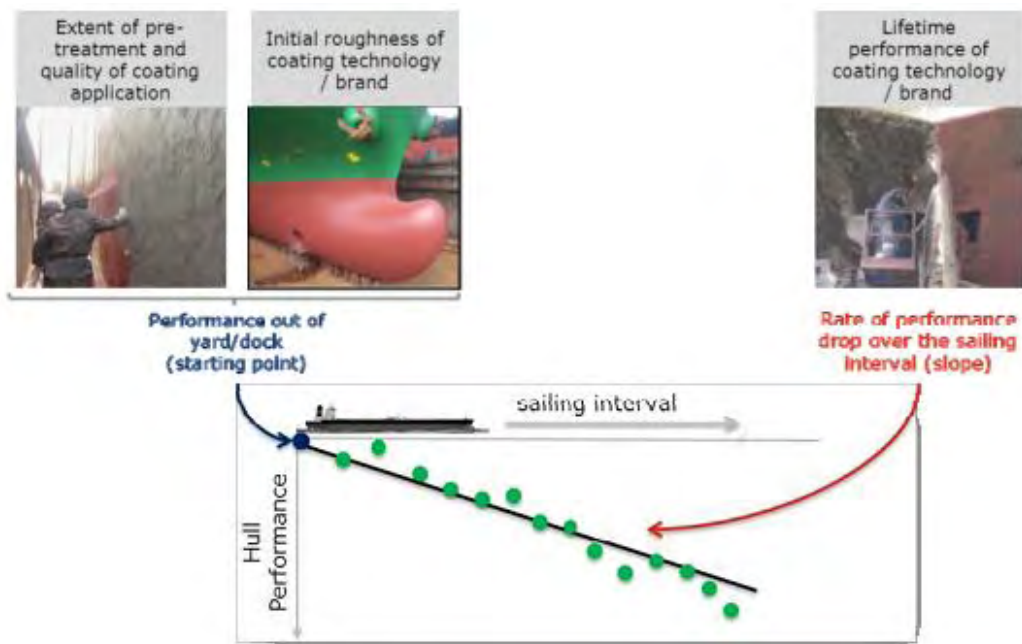
Η απόδοση της κύτης και της προπέλας επηρεάζεται με τη σειρά της από αποφάσεις που λαμβάνονται κατά το νέο στάδιο κατασκευής ή από κάθε μεταγενέστερη διαδικασία συντήρησης. Στη συνέχεια υποθέτοντας ότι το 90% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σχετίζονται με την πρόωση και ότι οι απώλειες ταχύτητας αντισταθμίζονται από την αύξηση της ισχύος του κινητήρα κατά 50%, με την καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία, η δυνατότητα μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με τη βελτίωση της απόδοσης της κύτης έτσι εκτιμάται ότι κυμαίνεται μεταξύ 7-10% (Εικ.1.10) [7].



**Εικόνα 1.10.** Η συνολική επίπτωση της δυναμικής βελτίωσης της αποτελεσματικότητας του πλοίου που σχετίζεται με την καλύτερη συντήρηση (για παράδειγμα επιλέγοντας καλύτερο αντιρρυπαντικό) σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου [7].

Η απόδοση της κύτους και της έλικας εκτός της θάλασσας καθορίζεται κυρίως από την ποιότητα του χρώματος εφαρμογής και στην περίπτωση μιας δεξαμενής από το επίπεδο και την ποιότητα και διάρκεια της προεπεξεργασίας. Το αντιρρυπαντικό

σύστημα έχει επίσης αντίκτυπο, αλλά η επίδραση αυτή είναι σχετικά μέτρια για τις διαδικασίες συντήρησης (Εικ.1.11) [7].



**Εικόνα 1.11. Επίδραση παραγόντων στην απόδοση της κύτης [7].**

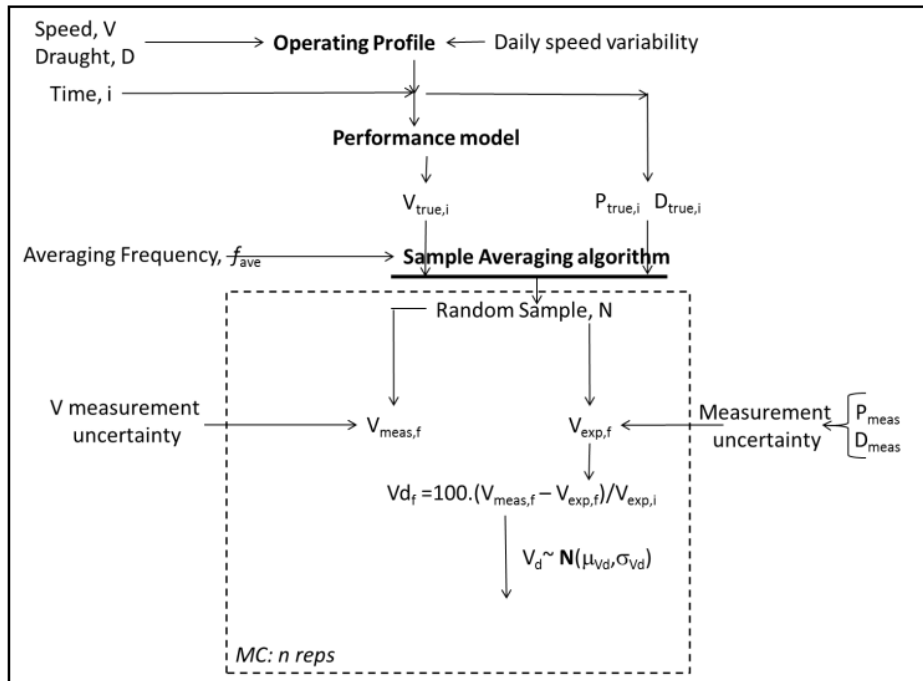
Με βάση τα παραπάνω βελτιώσεις στην απόδοση της κύτης και της έλικας όχι μόνο συμβάλλουν στη μείωση του λειτουργικού κόστους μέχρι και δισεκατομμύρια δολάρια, καθώς με μικρότερη ποσότητα καυσίμου μπορεί να αποδοθεί η ίδια απόδοση, αλλά συμβάλλουν σημαντικά και στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

#### **1.4 Μεθοδολογία του ISO-19030**

Το ISO 19030 υιοθετεί την ακόλουθη προσέγγιση:

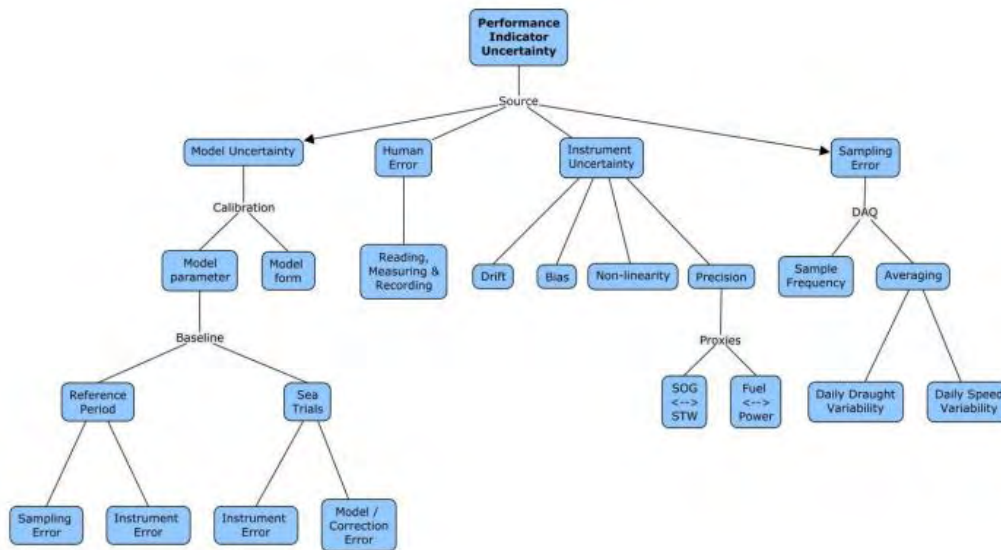
1. Προσδιορίζει κάθε στοιχειώδη πηγή αβεβαιότητας, ταξινομεί και καθορίζει παραμέτρους κατανομής πιθανότητας.
2. Προσομοιάζει προφίλ λειτουργίας του πλοίου και της τάσης απόδοσης και εκπροσωπεί την απόκτηση δεδομένων, τη δειγματοληψία και το φιλτράρισμα των δεδομένων.
3. Προωθεί τα σφάλματα μέσω του μοντέλου και της προσομοίωσης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Monte Carlo και καθορίζει κατανομές πιθανοτήτων για βασικές πηγές αβεβαιότητας (από το βήμα 1).

4. Διαμορφώνει την κατανομή των αποτελεσμάτων και αναφέρει τη συνολική αβεβαιότητα.



**Εικόνα 1.12. Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου προσομοίωσης για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας της τιμής της απόδοσης.**

Στους δείκτες απόδοσης υπάρχουν πολλές πηγές αβεβαιότητας όπως απεικονίζεται στην Εικ.1.13.



**Εικόνα 1.13. Πηγές αβεβαιότητας στο κουτί διαχείρισης ενός πλοίου.**

Στις ακόλουθες γραμμές περιγράφεται πώς προκύπτουν οι πηγές αβεβαιότητας σε ένα πλοίο.

1. Αβεβαιότητα οργάνων: Πηγές: Για κάθε έναν από τους αισθητήρες που περιλαμβάνονται στην ανάλυση (ταχύτητα/ισχύς/βύθισμα), ισχύουν οι ακόλουθες ιδιότητες των αισθητήρων:

- Ακρίβεια: Συμπεριλαμβάνεται στην ανάλυση Bias: Αποκλείεται επειδή, αν το bias αισθητήρα είναι σταθερό, τότε αυτό θα ακυρωθεί όταν % η απώλεια ταχύτητας συγκρίνεται για διαδοχικές χρονικές περιόδους. Υπάρχει ένα μικρό, ασήμαντο αποτέλεσμα εάν το πλοίο είναι σε λειτουργία συνεχούς ισχύος λόγω της μείωσης της ταχύτητας μεταξύ περιόδων. Αυτό θεωρείται ότι είναι αμελητέο.
- Drift: Θα επηρεάσει τη μεταβολή % στην απώλεια ταχύτητας μεταξύ περιόδων. Η ανάλυση υποθέτει ότι οι αισθητήρες διατηρούνται και εντός των ορίων βαθμονόμησης και έτσι η μετατόπιση θεωρείται αμελητέα.

Η επίδραση του πληρώματος που μετρά τα BF (ταχύτητα ανέμου) αντί να χρησιμοποιεί ένα ανεμόμετρο και ένα πτερύγιο για τη μέτρηση της αβεβαιότητας για την % απώλεια ταχύτητας μέσω ενδεχομένως ανακριβούς φιλτραρίσματος των καιρικών επιδράσεων θεωρείται αμελητέα και δεν παρουσιάζεται στα αποτελέσματα της μεθόδου 3 και 4. Αυτό δικαιολογείται επειδή η παράμετρος BF είναι μια παράμετρος φιλτραρίσματος και όχι μια κύρια μεταβλητή που απαιτείται για την εξαγωγή της απόδοσης της απώλειας ταχύτητας.

2. Λάθος δειγματοληψίας: Οι επιπτώσεις του σφάλματος δειγματοληψίας σχετίζονται με το μέγεθος του δείγματος και τις επιπτώσεις του μέσου όρου, το οποίο με τη σειρά του σχετίζεται με τη συχνότητα δειγματοληψίας. Οι εκτιμήσεις για τις πιο αντιπροσωπευτικές υποθέσεις για κάθε μία από αυτές τις επιδράσεις αποκτώνται με τη διερεύνηση των στατιστικών της λειτουργίας, της περιβαλλοντικής κατάστασης και των επιδόσεων ενός αντιπροσωπευτικού πλοίου.
3. Μέγεθος δείγματος: Το ποσοστό των δεδομένων που αφαιρούνται λόγω διήθησης (σύμφωνα με το κριτήριο φίλτρου που ορίζεται στο πρότυπο ISO19030-2 και 19030-3) εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές/επιχειρησιακές συνθήκες που αντιμετωπίζει το πλοίο.

Για παράδειγμα, εάν ένα πλοίο ξοδεύει το 80% του χρόνου του σε καιρικές συνθήκες όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη από την BF4, τότε τουλάχιστον το 80% των μετρήσεων του  $V_d$  θα παραλειφθεί από την εκτίμηση της απόδοσης μειώνοντας έτσι το μέγεθος του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του.

Εάν όλα τα υπόλοιπα είναι ίσα, θα γίνει ένα μικρότερο μέγεθος δείγματος και έτσι υπάρχει μεγαλύτερη αβεβαιότητα ως προς την απόδοση. Η ποσότητα δεδομένων που απορρίπτεται από τη διαδικασία φιλτραρίσματος είναι επίσης συνάρτηση της συχνότητας του δείγματος. Εάν χρησιμοποιείται δειγματοληψία χαμηλής συχνότητας (π.χ. ημερήσιας), τότε τυπικά μεγαλύτερο ποσοστό δεδομένων θα φιλτραριστεί λόγω της χρήσης μέσων τιμών στο κριτήριο φίλτρου.

Οι εκτιμήσεις της επίδρασης του φιλτραρίσματος στο μέγεθος του δείγματος λαμβάνονται συνήθως με την επιθεώρηση των μετρήσεων δεδομένων αντιπροσωπευτικών πλοίων. Το 70% των δεδομένων υποτίθεται ότι φιλτράρεται όπως παρουσιάζεται στο Σφάλμα!

Ωστόσο δε διαπιστώνεται η πηγή αναφοράς. Αναγνωρίζεται ότι αυτό εξαρτάται από ένα συγκεκριμένο πλοίο και εξαρτάται από το επιχειρησιακό προφίλ του πλοίου. Οι χρησιμοποιούμενες τιμές είναι συντηρητικές σε σχέση με την αβεβαιότητα που μπορεί να επιτευχθεί και η ποσότητα των δεδομένων στο φιλτράρισμα μπορεί να διαφέρει σημαντικά μεταξύ των πλοίων.

4. Συχνότητα δειγματοληψίας και μέσος όρος: Η ημερήσια μεταβλητότητα της ταχύτητας (λόγω των επιταχύνσεων, των αλλαγών της γωνίας του πηδαλίου ή των προτύπων συμπεριφοράς του πληρώματος (αργός ατμός για παράδειγμα κατά τη διάρκεια της νύχτας) μπορεί να εισαγάγει σφάλματα στην ποσοτικοποίηση της τιμής απόδοσης όταν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι χαμηλή (καθημερινά). Για τους λόγους αυτούς, εισάγεται ένα επίπεδο μεταβλητότητας της ταχύτητας λειτουργίας στην προσομοίωση της "πραγματικής" ταχύτητας σε συχνότητα μικρότερη από καθημερινή.

Η προσομοιωμένη μεταβλητότητα εκτιμάται από τα δεδομένα για το αντιπροσωπευτικό πλοίο να είναι 1,74% της ημερήσιας μέσης ταχύτητας (μετά το φιλτράρισμα για ταχύτητα ανέμου  $BF > 4$ ).

Αυτό χρησιμοποιείται ως παραδοχή στην προσομοίωση και περιλαμβάνεται με την προσθήκη κανονικά κατανομημένου θορύβου στην ταχύτητα του πλοίου.

Η επίδραση του μέσου όρου της ημερήσιας μεταβλητότητας της ταχύτητας είναι η μεταβολή της συνολικής % απώλειας της ταχύτητας (όχι ακρίβεια). Αυτό σημαίνει ότι αν μεταβληθεί η υποκείμενη ημερήσια ταχύτητα μεταβάλλεται μεταξύ των περιόδων τότε ο υπολογισμός της απώλειας ταχύτητας μπορεί να είναι προκαθορισμένος. Αυτό το μέγεθος της επίδρασης της συμπεριλαμβάνεται στα υπολογισθέντα αποτελέσματα του παρόντος παραρτήματος. Η επίδραση του μέσου όρου της ημερήσιας μεταβλητότητας της βύθισης (που οφείλεται στο καύσιμο που καταναλώνεται) δεν συμπεριλαμβάνεται, αλλά θεωρείται αμελητέα.

5. Αβεβαιότητα του μοντέλου: κατά τη μετατροπή της μετρηθείσας ισχύος σε αναμενόμενη ταχύτητα, η μέθοδος υποθέτει ότι η σχέση ταχύτητας-ισχύος του πλοίου ορίζεται από ένα κυβικό. Εάν ο πραγματικός εκθέτης της ταχύτητας του πλοίου βρίσκεται στην πραγματικότητα μεταξύ 3,15 και 4,0, όπως παρουσιάζεται από το International Marine Coatings, για πλοία υψηλής ταχύτητας, όπως τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, τότε αυτό θα προκαλέσει μια αλλαγή στην προκατάληψη και την ακρίβεια της απώλειας ταχύτητας έτσι ώστε αυτό να μπορεί να οδηγήσει σε μια αύξηση της αβεβαιότητας της μέτρησης.

Στην πρακτική εφαρμογή αυτής της μεθόδου (στο ISO 19030-2 και 19030-3), η αβεβαιότητα του μοντέλου σχετίζεται με το ενδεχόμενο η καμπύλη αναφοράς ταχύτητας-ισχύος (είτε από τη δοκιμή ταχύτητας, τη δοκιμή CFD είτε τη δεξαμενή ρυμούλκησης) να μην είναι απόλυτα ακριβής αναπαράσταση της μεταβολής της ισχύος με την ταχύτητα του πλοίου.

Ωστόσο, δεδομένου ότι η αιτία της προκύπτουσας μετατόπισης είναι πιθανό να είναι σταθερή στην αναφορά και στην αξιολόγηση τότε οι επιπτώσεις τους στον υπολογισμό της αβεβαιότητας θεωρούνται αμελητέες.

Το αποτέλεσμα της υπόθεσης της φόρμουλα του ναυαρχείου αντιπροσωπεύει επαρκώς τις αλλαγές στο σχέδιο για την ταχύτητα του πλοίου και η ισχύς δεν έχει διερευνηθεί, αλλά θεωρείται αμελητέα σε σχέση με άλλες πηγές αβεβαιότητας.

6. Ανθρώπινο λάθος: το ανθρώπινο λάθος (το οποίο συχνά κατηγοριοποιείται ως αβεβαιότητα του οργάνου) μπορεί να συμβεί σε οποιοσδήποτε μετρήσεις όταν λειτουργούν, διαβάζουν ή καταγράφουν τις τιμές των αισθητήρων εάν η ολοκλήρωση της αναφοράς δεν είναι αυτοματοποιημένη.

Για παράδειγμα το μεσημέρι η εισαγωγή δεδομένων δεν μπορεί να συμβαίνει την ίδια ακριβώς ώρα κάθε μέρα, η καταγραφή του "χρόνου που αφιερώνεται στον ατμό" μπορεί να μην έχει ρυθμιστεί ώστε να αντισταθμίζεται η διασταύρωση των χρονικών ζωνών και είναι πιθανό να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί αισθητήρες για το ίδιο πεδίο. Πιο συγκεκριμένα κάποιο πλήρωμα μπορεί να αναφέρει την ταχύτητα από την έλικα και οι υπόλοιποι να αναφέρουν την ταχύτητα πάνω από το έδαφος.

Η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου μέσω των παρατηρήσεων του πληρώματος μπορεί επίσης να υπόκειται αβεβαιότητες. Το ανθρώπινο σφάλμα είναι τόσο δύσκολο να προσδιοριστεί ποσοτικά, όσο και προκλητικό να γενικευθεί, δεδομένου ότι εξαρτάται από αυτό το πλήρωμα και τις διαδικασίες του χειριστή που διαφέρουν από πλοίο σε πλοίο καθώς και από εταιρεία σε εταιρεία. Και για τους δύο λόγους, δεν περιλαμβάνεται στο ISO αυτό, αν και με βάση τους υπεύθυνους ανάπτυξης του ISO η συνέπεια αυτής της εξαίρεσης είναι ότι τα αποτελέσματα είναι πιθανό να εκτιμηθούν βάσει της συνολικής αβεβαιότητας.

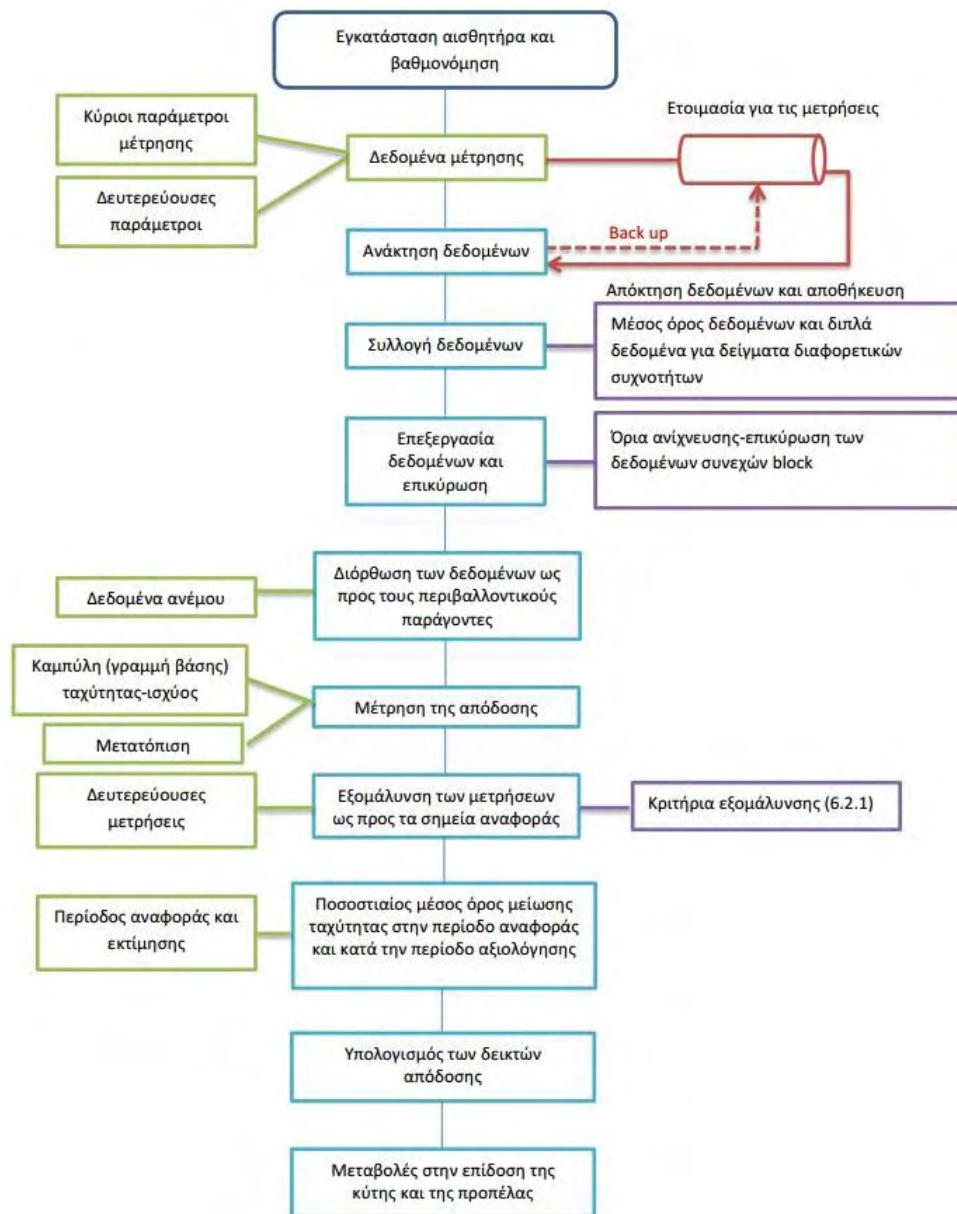
#### *1.4.1 Μεταβλητές εισόδου και αποτελέσματα λαμβάνοντας υπόψη το performance monitoring ως ένα κουτί*

Η διαδικασία εκτίμησης των δεικτών απόδοσης με βάση το ISO 19030 περιγράφεται σχηματικά στην Εικ. 1.12. Η ακρίβεια μιας μέτρησης προσδιορίζεται από δύο παράγοντες την αξιοπιστία της μέτρησης και την ακρίβεια [8]. Η αξιοπιστία σχετίζεται με την εγγύτητα του μέσου όρου των αποτελεσμάτων των μετρήσεων στην πραγματική τιμή και η ακρίβεια αναφέρεται στη συμφωνία των μετρήσεων μεταξύ τους.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθούν κάποια στοιχεία σχετικά με τις μετρήσεις έτσι ώστε να γίνει κατανοητός ο λόγος για τον οποίο γίνεται εξομάλυνση των δεδομένων και γενικότερα οι διαδικασίες που απεικονίζονται στην Εικ.1.8. Η ακρίβεια είναι συνάρτηση τόσο της επαναληψιμότητας όσο και της αναπαραγωγιμότητας των μετρήσεων. Η αναπαραγωγιμότητα αναφέρεται στη διακύμανση των μετρήσεων που προκύπτει χρησιμοποιώντας την ίδια διαδικασία μέτρησης μεταξύ διαφορετικών μέσων και φορέων και χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από ένα μήνα. Οι διαδικασίες μέτρησης έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην επαναληψιμότητα και στην ακρίβεια των δεικτών απόδοσης. Η επαναληψιμότητα



σχετίζεται με το γεγονός αν μπορούν να ληφθούν πάνω από μια φορά υπό τις ίδιες συνθήκες και από το ίδιο πρόσωπο τα ίδια αποτελέσματα μιας μέτρησης.



**Εικόνα 1.14. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας εκτίμησης των δεικτών επίδοσης με βάση το ISO-19030.**

Όπως απεικονίζεται και στην Εικ.1.12 τα δεδομένα τα οποία λαμβάνονται διορθώνονται ως προς την αιολική ενέργεια με βάση μετρήσεις του ανέμου που έχουν γίνει επί του σκάφους. Πιο αναλυτικά στο τρίτο παράρτημα του πρώτου μέρους δίνεται επεξηγηματικά πώς μπορεί να υπολογιστεί η πραγματική ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου. Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού χρησιμοποιείται για

να εξομαλύνει τις συνθήκες πάγου καθώς το πρότυπο δεν λαμβάνει άμεσα υπόψη την κατάσταση των πάγων (για θερμοκρασία μικρότερη από 2°C). Επιπλέον στις μετρήσεις δε λαμβάνονται υπόψη τα κύματα, αλλά ο άνεμος που δημιουργούν έμμεσα λαμβάνεται υπόψη κατά την εξομάλυνση των στοιχείων για την αιολική ενέργεια.

Συνοψίζοντας τρεις σημαντικές πηγές αβεβαιότητας επηρεάζουν την ακρίβεια των δεικτών απόδοσης:

1. Η αβεβαιότητα μέτρησης (π.χ. σχετική με την ακρίβεια ενός αισθητήρα – υπάρχει και το ενδεχόμενο ελέγχου του αισθητήρα σε ένα εργαστήριο δοκιμών σε ιδανικές συνθήκες). 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.
2. Η αβεβαιότητα μιας μεταβλητής που έχει διακυμάνσεις 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.
3. Η αβεβαιότητα που εισάγεται μέσω της χρήσης εξισώσεων που έχουν απλοποιηθεί αναγκαστικά για τη διαχείριση της πολυπλοκότητας, είτε λόγω ελλιπούς ενημέρωσης.

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη την Εικ. 1.12 οι μεταβλητές εισόδου είναι οι ακόλουθες:

**Κύριες παράμετροι:** η ταχύτητα του πλοίου μέσα στο νερό (**V**) και η αποδιδόμενη ισχύς (**P<sub>Delivered</sub>**) ορίζονται ως οι δυο κύριοι παράμετροι για τη μέτρηση των μεταβολών στην απόδοση της κύτης και της έλικας.

Η ταχύτητα του πλοίου πρέπει να εκτιμάται άμεσα σε κόμβους χρησιμοποιώντας ένα αρχείο καταγραφής της ταχύτητας με αισθητήρα με ελάχιστη ακρίβεια ±1%. Η αποδιδόμενη ισχύς πρέπει να προσεγγίζεται με βάση τους υπολογισμούς της δύναμης του άξονα (**P<sub>shaft</sub>**) από τις της ροπής και στρέψης.

Σε περίπτωση που δεν είναι τα παραπάνω διαθέσιμα οι υπολογισμοί θα πρέπει να βασίζονται στους υπολογισμούς της δύναμης της πέδησης (**P<sub>brake</sub>**) από έναν κινητήρα με βάση μια συγκεκριμένη καμπύλη αναφοράς SFOC, συνεχών μετρήσεων της ροής του καυσίμου και της θερμοκρασίας και της ανάλυσης καυσίμων σχετικά με τη θερμιδική αξία, την πυκνότητα και την ταχύτητα αλλαγής της πυκνότητας των καυσίμων που καταναλώνεται. Έτσι μπορεί να ειπωθεί ότι η δύναμη του άξονα ή η δύναμη της πέδησης μπορεί να θεωρηθούν έμμεσα μεταβλητές εισόδου.

**Δευτερεύουσες παράμετροι:** Για τη δημιουργία των συγκρίσιμων συνθηκών αναφοράς και για το φιλτράρισμα και την εξομάλυνση των δεδομένων τόσο οι περιβαλλοντικοί παράγοντες όσο και η συμπεριφορά του πλοίου πρέπει να εκτιμηθούν. Δηλαδή η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου μετρούμενες στο ύψος του ανεμόμετρου, η ταχύτητα πάνω από το έδαφος, οι στροφές του άξονα, το βάθος του νερού, η θερμοκρασία του νερού, η γωνία του πηδαλίου, τα στατικά σχέδια του μπροστινού και του πίσω μέρους. Όλα τα προαναφερόμενα αποτελούν μεταβλητές εισόδου.

Τα αποτελέσματα τα οποία αναμένονται είναι οι αρχικές τιμές των μεταβλητών εισόδων για να χρησιμοποιηθούν στη συνολική διαδικασία της εκτίμησης των αποδόσεων και τα τελικά αποτελέσματα τα οποία αναμένονται είναι οι δείκτες απόδοσης της κύτης και της προπέλας. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι μεταβολές στην απόδοση της κύτης και της προπέλας.

## 2 Γενικές αρχές και εφαρμογή του ISO

Η απόδοση της έλικας και της κοίτης αναφέρονται στη σχέση μεταξύ της κατάστασης της κοίτης και της έλικα του πλοίου υποβρυχίως και της ισχύος που απαιτείται για να μετακινηθεί το πλοίο μέσω του νερού σε μια δεδομένη ταχύτητα. Η απόδοση της κοίτης και της έλικας σχετίζονται με διακυμάνσεις στην ισχύ, επειδή η αντίσταση της κοίτης του πλοίου και η αντίσταση της έλικας δεν είναι άμεσα μετρήσιμες ποσότητες.

### 2.1 Πρόωση πλοίου και συνολική αντίσταση

Η απόδοση της έλικας και της κοίτης είναι στενά συνδεδεμένες έννοιες με την αποδοτικότητα πρόωσης των πλοίων και της αντίστασης των πλοίων. Η απόδοση της κοίτης με βάση το ISO βασίζεται στη σχέση μεταξύ της παρεχομένης ισχύος και της συνολικής αντίστασης. Η παρεχόμενη ισχύς,  $P_D$ , μπορεί να εκφραστεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$P_D = \frac{R_T \times V}{\eta_Q} \quad (1)$$

, όπου  $R_T$ : η συνολική αντίσταση σε χρήση, (N)

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

$\eta_Q$ : υποθετική απόδοση πρόωσης, (-)

Η συνολική αντίσταση υπολογίζεται από το άθροισμα πολλαπλών αντιστάσεων:

$$R_T = R_{SW} + R_{AA} + R_{AW} + R_{AH} \quad (2)$$

, όπου  $R_{SW}$ : η αντίσταση ακίνητου νερού, (N)

$R_{AA}$ : η αντίσταση λόγω αέρα, (N)

$R_{AW}$ : η αντίσταση λόγω κυμάτων, (N)

$R_{AH}$ : η αντίσταση λόγω μεταβολών στην κατάσταση της κοίτης (μηχανικές βλάβες, αποκόλληση στρώματος βαφής, κ.ά.).

Παρομοίως η υποθετική απόδοση πρόωσης υπολογίζεται από τη συνεισφορά πολλαπλών στοιχείων:

$$\eta_Q = \eta_O \eta_H \eta_R \quad (3)$$

, όπου  $\eta_o$  : η απόδοση της έλικας στα ανοιχτά

$\eta_H$  : η απόδοση της κοίτης

$\eta_R$  : σχετική απόδοση περιστροφής

Η επιπλέον αντίσταση λόγω μεταβολών στην κατάσταση της κοίτης μπορεί να εκφραστεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$R_{AH} = \frac{P_D \times \eta_\rho}{V} - (R_{SW} + R_{AA} + R_{AW}) \quad (4)$$

Όπου η ταχύτητα του πλοίου μέσα στο νερό,  $V$ , μπορεί να μετρηθεί άμεσα, ενώ η αποδιδόμενη ισχύς,  $P_D$ , πρέπει να υπολογίζεται με βάση την ισχύ του άξονα,  $P_s$ , από μετρήσεις της ροπής του άξονα και τις στροφές του άξονα, ή εναλλακτικά, από τους υπολογισμούς της δύναμης πέδησης,  $P_B$ , από καμπύλες αναφοράς SFOC, μετρήσεις ροής καυσίμου και θερμοκρασίας και από δεδομένα για τη θερμαντική αξία ή το ρυθμό μεταβολής της πυκνότητας του καυσίμου που καταναλώνεται.

Οι μεταβολές που απαιτούνται στην αποδιδόμενη ισχύ για να μετακινηθεί το πλοίο μέσω νερού σε μια δεδομένη ταχύτητα υπό τις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες και λειτουργικό προφίλ, οφείλονται σε αλλαγές στην απόδοση της έλικας ή/και σε αλλαγές της υποβρύχιας αντίστασης της κοίτης.

Οι αλλαγές στην υποβρύχια αντίσταση της κοίτης οφείλονται σε μεταβολές στην κατάσταση της κοίτης. Οι αλλαγές στην απόδοση της έλικας οφείλονται πρώτον στις μεταβολές της κατάστασης της έλικας και δεύτερον στις μεταβολές στη ροή του νερού προς την έλικα (το κύτος εγρήγορσης) ως συνέπεια των αλλαγών στην κατάσταση της κοίτης.

Για μια κοίτη σε λειτουργία, τόσο οι περιβαλλοντικές συνθήκες όσο και το λειτουργικό προφίλ (π.χ. ταχύτητα, φόρτωση, τελειώματα) ποικίλλουν. Για τη μέτρηση των αλλαγών στη σχέση ταχύτητας-ισχύος για μια κοίτη σε λειτουργία, πρέπει κανείς να συγκρίνει δύο περιόδους (περίοδος αναφοράς και μια περίοδος αξιολόγησης).

Σε αυτές τις περιόδους, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και το λειτουργικό προφίλ πρέπει να είναι επαρκώς συγκρίσιμα και να εφαρμόζονται διορθώσεις. Υπάρχει ένας αριθμός εναλλακτικών διαδικασιών για το φιλτράρισμα και για την εξομάλυνση των παρατηρούμενων δεδομένων. Αυτές οι διαδικασίες έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους όσον αφορά στην προκύπτουσα ακρίβεια των μετρήσεων.

Με βάση το πρότυπο ISO 19030 ορίζονται κάποιες διαδικασίες φιλτραρίσματος και κανονικοποίησης έτσι ώστε τα δεδομένα να δοθούν με επαρκή ακρίβεια. Για παράδειγμα, η μέτρηση των αλλαγών στην αποδιδόμενη ισχύς που απαιτείται για να μετακινηθεί το πλοίο μέσω νερού σε μία δεδομένη ταχύτητα μεταξύ δύο περιόδων και το φιλτράρισμα και/ή κανονικοποίηση των παρατηρούμενων δεδομένων, καθώς και το περιβαλλοντικό και λειτουργικό προφίλ επιτρέπουν τον υπολογισμό της επίδρασης της συντήρησης της έλικας, της κοίτης και του υπολοίπου εξοπλισμού στην ενεργειακή απόδοση του πλοίου.

Από τον παραπάνω ορισμό της απόδοσης της έλικας και της κοίτης δίνεται η ταχύτητα και η αποδιδόμενη ισχύς οι οποίες θεωρούνται κύριες παράμετροι κατά τη μέτρηση των μεταβολών της απόδοσης της έλικας και τη κοίτης. Στην περίπτωση ωστόσο που απομονώνεται η απόδοση της κοίτης από την απόδοση της έλικας, θα πρέπει να μετρηθεί και η πρόωση της έλικας. Για αυτές τις παραμέτρους, κανονικά θα πρέπει να εφαρμόζονται διαφορετικές προσεγγίσεις μέτρησης, καθώς και για κάθε προσέγγιση, διαφορετικοί αισθητήρες με διαφορετικές ποιότητες σήματος.

Στην περίπτωση λοιπόν που δεν είναι διαθέσιμοι αισθητήρες με διαφορετική ποιότητα σήματος ακολουθούνται εναλλακτικές μέθοδοι μέτρησης, οι οποίες περιγράφονται στο τρίτο μέρος του ISO 19030. Όπως προαναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 1 για την εφαρμογή των διαδικασιών φιλτραρίσματος και εξομάλυνσης, που απαιτούνται για να γίνουν συγκρίσιμες η περίοδος αναφοράς και η περίοδος αξιολόγησης, οι μετρήσεις της περιβαλλοντικής κατάστασης και του λειτουργικού προφίλ είναι απαραίτητες. Οι σχετικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι:

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

Οι σχετικές λειτουργικές παράμετροι είναι:

- Ταχύτητα
- Συνθήκες φόρτωσης
- Δυναμικές συνθήκες φόρτωσης
- Γωνία και συχνότητα πηδαλίου

## 2.2 Διαδικασία μέτρησης σύμφωνα με το ISO 19030

Σύμφωνα με το ISO υπάρχουν τρία βασικά στάδια μέτρησης των μεταβολών στην απόδοση της έλικας και της κοίτης, όπως υποδεικνύονται γραφικά στην Εικ. 2.1.

**1<sup>ο</sup> βήμα: συλλογή των δεδομένων.** η συλλογή των δεδομένων αναφέρεται στη συστηματική διαδικασία συλλογής των σημάτων από σχετικούς αισθητήρες - χειροκίνητα και/ή αυτόματα και από εξοπλισμό που εγκαθίσταται επί του σκάφους ή από εξωτερικές πηγές πληροφόρησης. Επίσης μία φορά την ημέρα πραγματοποιείται και χειροκίνητη συλλογή δεδομένων. Η αυτοματοποιημένη συλλογή δεδομένων πραγματοποιείται συνήθως με πολύ υψηλότερη συχνότητα.



**Εικόνα 2.1. Διαδικασία μετρήσεων των μεταβολών της απόδοσης της κοίτης και της έλικας σύμφωνα με το ISO 19030.**

**2<sup>ο</sup> βήμα: Διατήρηση δεδομένων.** Η διατήρηση δεδομένων αναφέρεται στην αποθήκευση και στη διατήρηση των δεδομένων που συλλέγονται σε κατάλληλη μορφή αποθήκευσης. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τη διατήρηση προηγούμενων αποθηκευμένων δεδομένων σε συνδυασμό με τα νέα δεδομένα, και διατάσσεται σε μια σειρά, έτσι ώστε να είναι εύκολο να ανακτηθούν όταν κριθεί απαραίτητο.

**3<sup>ο</sup> βήμα: 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. Οι δείκτες απόδοσης μπορούν επίσης να υπολογιστούν από διαφορετικά υποσύνολα των τιμών απόδοσης και η διαδικασία μπορεί να είναι μερικώς ή πλήρως αυτοματοποιημένη.

Η ακρίβεια μιας μέτρησης προσδιορίζεται από την ορθότητα και την ακρίβεια (ISO 5725) της. Η ορθότητα αναφέρεται στην εγγύτητα του μέσου όρου των αποτελεσμάτων των μετρήσεων στην πραγματική αξία και η ακρίβεια αναφέρεται στην εγγύτητα της συμφωνίας στο πλαίσιο των επιμέρους αποτελεσμάτων. Η ακρίβεια είναι συνάρτηση τόσο της επαναληψιμότητας και αναπαραγωγισημότητας, όπου η αναπαραγωγισημότητα αναφέρεται στη μεταβολή που προκύπτει χρησιμοποιώντας την ίδια διαδικασία μέτρησης μεταξύ των διαφόρων οργάνων και φορέων, καθώς και για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους. Οι διαδικασίες μέτρησης έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην αναπαραγωγισημότητα τους και ως εκ τούτου στην ακρίβεια των δεικτών απόδοσης.

### 2.2.1 Συλλογή δεδομένων (Data acquisition)

Τα δεδομένα πρέπει να συλλέγονται αυτόματα και συνεχώς από το σύστημα συλλογής δεδομένων (δηλ. καταγραφέας δεδομένων) όπως καταγράφεται στον Πίνακα 2.1.

**Πίνακας 2.1. Ελάχιστοι ρυθμοί συλλογής δεδομένων.**

	Παράμετρος	Ελάχιστος ρυθμός συλλογής δεδομένων
<b>Πρωταρχικοί παράμετροι</b>	Ταχύτητα πλοίου στο νερό	Μια μέτρηση ανά 15 s (0.07Hz)
	Ισχύς	Ίδια με την ταχύτητα του πλοίου και τη χρονική περίοδο του πλοίου
	Στροφές άξονα	Μια μέτρηση ανά 15 s (0.07Hz)
	Σχετική ταχύτητα ανέμου/κατεύθυνση	Μια μέτρηση ανά 15 s (0.07Hz)
<b>Δευτερεύουσες παράμετροι</b>	Ταχύτητα εδάφους και κατεύθυνση πλοίου	Μια μέτρηση ανά 15 s (0.07Hz)
	Γωνία πηδαλίου	Μια μέτρηση ανά 15 s (0.07Hz)
	Βάθος νερού	Μια μέτρηση ανά 15 s (0.07Hz)
	Στατικό σχέδιο μπροστά και πίσω	Όταν αλλάζουν οι συνθήκες του φορτίου
	Θερμοκρασία νερού	Μια μέτρηση ανά 15 s (0.07Hz)



Οι μετρήσεις των αισθητήρων που απαιτούνται για την εκτίμηση της παραδοθείσας ισχύος είτε από το παράρτημα Α είτε από το Β καταγράφονται στο ελάχιστο ποσοστό απόκτησης για τις κύριες παραμέτρους και στην ίδια χρονική στιγμή.

Το ποσοστό δειγματοληψίας των δεδομένων πρέπει να παραμένει αμετάβλητο για ολόκληρη την περίοδο μέτρησης (περίοδος αναφοράς και περίοδος αξιολόγησης). Σε σύντομο χρονικό διάστημα, ο ρυθμός δειγματοληψίας δεδομένων μπορεί να συμπίπτει με τη συχνότητα ενός φυσικού φαινομένου για το εν λόγω πλοίο (π.χ. συχνότητα συνάντησης κύματος), επηρεάζοντας έτσι την ακρίβεια του σχετικού σημείου δεδομένων.

### 2.2.2 Αποθήκευση δεδομένων (*Data storage*)

Όλα τα δεδομένα που συλλέγονται κατά την περίοδο μέτρησης αποθηκεύονται στο σύστημα απόκτησης δεδομένων. Όλα τα δεδομένα πρέπει να αποθηκεύονται ως ανεπεξέργαστα δεδομένα μαζί με τις χρονικές περιόδους που δείχνουν το χρονικό σημείο συλλογής των δεδομένων.

Επίσης συνίσταται τα δεδομένα να υποστηρίζονται σε κατάλληλη εφεδρική εγκατάσταση τουλάχιστον μία φορά κάθε μήνα. Εάν το σύστημα απόκτησης δεδομένων διατηρείται στο ίδιο το πλοίο, συνίσταται η εφεδρική εγκατάσταση να βρίσκεται αλλού. Οποιαδήποτε στιγμή πρέπει να είναι δυνατό ο ιδιοκτήτης των δεδομένων να ανακτήσει όλα τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στο σύστημα.

Όλα τα δεδομένα που συλλέγονται πρέπει να αποθηκεύονται στο σύστημα συλλογής δεδομένων ή/και στη μονάδα δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας τουλάχιστον κατά τη διάρκεια της υπολειπόμενης ζωής του εν λόγω πλοίου ή όπως καθορίζεται από τη χρήση του προτύπου.

### 2.2.3 Προετοιμασία δεδομένων (*Data preparation*)

Η προετοιμασία των δεδομένων περιλαμβάνει την ανάκτηση, την κατάρτιση, το φιλτράρισμα και την επικύρωση των συλλεγόμενων δεδομένων, προκειμένου να παρέχεται ένατη δομή, μορφή και ποιότητα που είναι κατάλληλα για περαιτέρω επεξεργασία και προκειμένου να καταστεί δυνατή η λήψη διορθωτικών μέτρων εάν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν δεν είναι έγκυρα (π.χ. λόγω της μετατόπισης του αισθητήρα). Περιλαμβάνεται επίσης υπολογισμός των τιμών απόδοσης, Φ/Β, που

χρησιμοποιούνται για τον μεταγενέστερο υπολογισμό των δεικτών απόδοσης (Performance Indicators, PIs).

Σημειώνεται ότι τα δεδομένα πρέπει να εκπονούνται τακτικά, ώστε να είναι δυνατή η έγκαιρη λήψη διορθωτικών μέτρων (π.χ. επαναβαθμονόμηση αισθητήρων). Η προτεινόμενη συχνότητα είναι μια φορά το μήνα.

Τα συλλεγμένα δεδομένα θα πρέπει να ανακτηθούν έτσι ώστε ένα αντίγραφο των αρχικά αποθηκευμένων ακατέργαστων δεδομένων να παραμείνει στα δεδομένα του συστήματος απόκτησης ή να υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας (αντί της διαγραφής). Αυτό εξασφαλίζει ότι ένα αντίγραφο των αρχικών ανεπεξέργαστων αποθηκευμένων δεδομένων παραμένει πάντα διαθέσιμο.

Στη συνέχεια τα δεδομένα πρέπει να καταρτίζονται σε μορφή πίνακα και να ταξινομούνται διαδοχικά με βάση τη χρονική στιγμή των δεδομένων των παραμέτρων μέτρησης. Η χρονική στιγμή καταγραφής των δεδομένων κύριας παραμέτρου χρησιμεύει ως το μοναδικό αναγνωριστικό, UI.

Τα δεδομένα που συλλέγονται σε υψηλότερη συχνότητα από τις κύριες παραμέτρους μέτρησης υπολογίζονται κατά μέσο όρο 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:

$$\alpha_{i+f^{-1}} = \frac{1}{n_k} \sum_1^{n_k} m_k \quad \text{για } i < k \leq i + f^{-1} \quad (5)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (5) όλες οι τιμές μέτρησης υψηλής συχνότητας  $m_k$  τη χρονική στιγμή  $k$  υπολογίζονται κατά μέσον όρο σε μέση τιμή  $\alpha$  εάν το  $k$  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 από σήματα που συλλέγονται σε χαμηλότερη συχνότητα από τις κύριες παραμέτρους μέτρησης θα διπλασιαστούν κατά το σχετικό χρονικό διάστημα. Η τιμή μέτρησης χαμηλής συχνότητας  $m_k$  τη χρονική στιγμή  $k$  πρέπει να αντιγραφούν 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  $k-t^{-1}$  (εξίσωση 6).  $t$  είναι η συχνότητα με την οποία μετράται η παράμετρος μέτρησης χαμηλότερης συχνότητας.

$$\alpha_i = m_k \text{ για όλα τα } i \text{ σε } k-t^{-1} < i \leq k \quad (6)$$

Στην περίπτωση πλοίων με διπλή έλικα, ο αριθμητικός μέσος όρος των στροφών ανά λεπτό και το άθροισμα της παραδοθείσας ισχύος του λιμένα και των αξόνων της έλικας θα υπολογιστούν και θα προστεθούν στο σύνολο δεδομένων.

Ο συνδυασμός ενός μοναδικού αναγνωριστικού, του UI και ενός πλήρους συνόλου δεδομένων από όλα τα σημεία αναφέρεται ως a σημείο δεδομένων. Το σύνολο των ανακτηθέντων σημείων δεδομένων θα αναφέρεται ως το σύνολο δεδομένων που έχει ανακτηθεί.

Στο σύνολο των δεδομένων που ανακτώνται οι ακραίες και οι ελλείπουσες τιμές θα πρέπει να επισημαίνονται ως μη έγκυρες. Για το σκοπό αυτό σε διαδοχικά διαστήματα που υπερβαίνουν τα 10 λεπτά, τα δεδομένα για κάθε παράμετρο θα πρέπει να φιλτράρονται σύμφωνα με το κριτήριο του Chauvent (Παράρτημα Δ του ISO19030).

Εάν τα δεδομένα για μια παράμετρο προσδιορίζονται ως απόκλιση, το πλήρες σημείο δεδομένων σημειώνεται ως μη έγκυρο. Εάν τα δεδομένα για μία ή περισσότερες παραμέτρους λείπουν για ένα σημείο δεδομένων, αυτό το σημείο δεδομένων θα επισημαίνεται επίσης ως μη έγκυρο.

Επιπλέον, το σύνολο δεδομένων χωρίζεται σε μη αλληλεπικαλυπτόμενα, διαδοχικά 'μπλοκ' των 10 λεπτών και για κάθε ένατο μπλοκ των 10 λεπτών υπολογίζονται το μέσο, η τυπική απόκλιση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή για κάθε παράμετρο. Αυτό το δεσμευμένο σύνολο δεδομένων χρησιμοποιείται στις διαδικασίες επικύρωσης (παράρτημα E) και όλα τα σημεία δεδομένων για μη έγκυρα μπλοκ με δεδομένα πρέπει να επισημαίνονται ως μη έγκυρα. Το σύνολο δεδομένων όπου αποκλείονται όλα τα μη έγκυρα δεδομένα θα αναφέρεται ως το επικυρωμένο σύνολο δεδομένων.

Οι καταχωρημένες τιμές ισχύος για τα σημεία δεδομένων του επικυρωμένου συνόλου δεδομένων πρέπει να διορθώνονται για την αντοχή στον αέρα. Η διόρθωση του ανέμου υπολογίζεται σύμφωνα με το παράρτημα ΣΤ. Για δοχεία με διπλή έλικα, το άθροισμα της παραδοθείσας ισχύος για τους άξονες πρέπει να διορθώνεται για την αντοχή στον αέρα.

Επισημαίνεται ότι η διόρθωση των κυμάτων θα εξεταστεί σε μελλοντικές αναθεωρήσεις του παρόντος προτύπου για την περαιτέρω ευθυγράμμιση με τα

σχετικά πρότυπα, π.χ. ISO 15016. Το νέο σύνολο δεδομένων αναφέρεται ως το σύνολο διορθωμένων δεδομένων.

Μια πρακτική προσέγγιση για τη συλλογή δεδομένων, αποθήκευση δεδομένων και προετοιμασία δεδομένων που αποδίδει μια υψηλή τιμή ακρίβειας για την προεπιλεγμένη μέθοδο με βάση το ISO 19030 για τη μέτρηση των μεταβολών της κοίτης και της έλικας θα αναπτυχθεί στα επόμενα Κεφάλαια.

## 2.3 Παράμετροι μέτρησης

Στα αρχικά Κεφάλαια αναφέρθηκαν κάποιοι πρωταρχικές και δευτερεύουσες παράμετροι. Στο δεύτερο μέρος του ISO-19030-2 αναφέρει πιο αναλυτικά τις παραμέτρους για τη διεξαγωγή των μετρήσεων.

### 2.3.1 Κύριοι παράμετροι

Στο ISO 19030-1 η ταχύτητα,  $V$  του πλοίου μέσω του νερού, και της παραδοθείσας ισχύος,  $P_D$ , ορίζονται όπως προαναφέρθηκε ως οι δύο κύριες παράμετροι μέτρησης για τη μέτρηση των αλλαγών στην απόδοση της κοίτης και της προπέλας.

Η ταχύτητα του πλοίου μέσω του νερού μετράται απευθείας, σε κόμβους, χρησιμοποιώντας ένα ημερολόγιο ταχύτητας με έναν ελάχιστο αισθητήρα ακρίβειας  $\pm 1\%$ , σε  $1\sigma^1$  της ταχύτητας του πλοίου ή  $\pm 0,1$  κόμβους, σε  $1\sigma$  (και οι δύο προσδιορίζονται από τον αισθητήρα του κατασκευαστή), όποια από τις δυο ταχύτητες είναι μεγαλύτερη.

Σε αυτό το σημείο σημειώνεται ότι δεδομένου ότι η συνολική ακρίβεια σχετίζεται με τις μετρήσεις της απόδοσης της κοίτης και της έλικας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε αβεβαιότητες στη μέτρηση της ταχύτητας, και το ISO είναι σκοπίμως αυστηρότερο από τις ισχύουσες απαιτήσεις της SOLAS.

Η παραδοθείσα ισχύς πρέπει να υπολογίζεται με βάση τους υπολογισμούς της ισχύος άξονα ( $P_S$ ) από τις μετρήσεις του άξονα ροπής στρέψης και τις περιστροφές του άξονα. Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμος μετρητής στρέψης με την απαιτούμενη ποιότητα σήματος και τους όρους που ορίζονται στο παράρτημα Β, τότε οι υπολογισμοί πρέπει να βασίζονται σε υπολογισμό της ισχύος φρένων (Power brake,  $P_B$ ) από έναν κινητήρα από μια ειδική καμπύλη αναφοράς SFOC, συνεχείς μετρήσεις ροής καυσίμου και θερμοκρασίας και ανάλυσης δεδομένων δεξαμενής σχετικά με τη

θερμιδική αξία, την πυκνότητα και την μεταβολή της πυκνότητας για το καύσιμο που καταναλώνεται.

Οι προσεγγίσεις για τον υπολογισμό της ισχύος άξονα και της ισχύος φρένων καθώς και των ελάχιστων απαιτούμενων αισθητήρων και η ακρίβεια των αισθητήρων για καθένα από αυτά, προσδιορίζονται στο παράρτημα Α και στο παράρτημα Β αντιστοίχως του ISO, όπως θα συζητηθεί ακολούθως. Σημειώνεται ότι σε όλη την έκταση αναφοράς και περιόδους αξιολόγησης πρέπει να χρησιμοποιείται η ίδια προσέγγιση για την προσέγγιση της παραδοθείσας ισχύος.

### 2.3.2 Δευτερεύοντες παράμετροι

Για τη δημιουργία συγκρίσιμων συνθηκών αναφοράς και ως συνεισφορά στην προετοιμασία δεδομένων (φιλτράρισμα, κανονικοποίηση), τόσο οι περιβαλλοντικοί παράγοντες όσο και το επιχειρησιακό προφίλ του πλοίου πρέπει να μετρηθούν. Οι ελάχιστες απαιτήσεις αισθητήρων για τις δευτερεύουσες παραμέτρους μέτρησης καθορίζονται στον Πίνακα 2.2.

**Πίνακας 2.2. Ελάχιστες απαιτήσεις αισθητήρων, δευτερεύουσες παράμετροι μέτρησης.**

Παράμετρος	Αποδεκτή συσκευή/πηγή	Μονάδα μέτρησης
Σχετική ταχύτητα ανέμου και κατεύθυνση ανέμου στο ύψος του ανεμομέτρου	Ανεμόμετρο πλοίου - Ελάχιστη ακρίβεια αισθητήρα $\pm 1 \text{ m/s}$ , $\pm 5^\circ$	[m/s], [°]
Ταχύτητα εδάφους	GPS	[knots]
Κατεύθυνση πλοίου	Πυξίδα	[°]
Στροφές άξονα	Συναγερμός, οπτικός αισθητήρας, μετρητής στροφών πλοίων w/ ελάχιστη ακρίβεια αισθητήρα $\pm 0,5\%$ , $1\sigma$	[min <sup>-1</sup> ]
Στατικό σχέδιο εμπρός και πίσω	Πληροφορίες από υπολογιστή μέτρησης φορτίου ή σταθερότητας ή ισοδύναμες πηγές για στατικό ρεύμα. ΣΗΜΕΙΩΣΗ Προτίμηση για το παρατηρούμενο σχέδιο - όταν είναι διαθέσιμο.	[m]

Βάθος νερού	Αισθητήρας ήχου πλοίου με ακρίβεια	[m]
	- +/- 0.5m σε εύρος κλίμακας 20 m, αντίστοιχα	
	+/- 5m σε εύρος κλίμακας 200m	
	- +/- 2.5% του υποδεικνυόμενου βάθους, όποιο από τα δυο είναι μεγαλύτερο	
Γωνία στροφής	Ένδειξη γωνία στροφής	[°]
	- Ελάχιστη ακρίβεια αισθητήρα ±1°	
Θερμοκρασία νερού θάλασσας	Θερμόμετρο	[°C]

Σημειώνεται ότι για τα πλοία με διπλή έλικα οι στροφές του άξονα πρέπει να μετρηθούν και στους δυο άξονες.

Όλοι οι αισθητήρες εγκαθίστανται, συντηρούνται και βαθμονομούνται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή και σύμφωνα με τις απαιτήσεις του σχεδιαζόμενου συστήματος συντήρησης του πλοιοκτήτη. Το ίδιο σύνολο αισθητήρων πρέπει να χρησιμοποιείται στην περίοδο αναφοράς και στην περίοδο αξιολόγησης. Επιπλέον, τα δεδομένα πρέπει να καταγράφονται με την ίδια ακρίβεια την περίοδο αναφοράς και αξιολόγησης και να καταγράφονται τουλάχιστον τρία σημαντικά στοιχεία για όλες τις παραμέτρους (εκτός του χρόνου και της ημερομηνίας).

Επίσης οι καμπύλες ταχύτητας-ισχύος για διαφορετικές συνθήκες φόρτωσης πρέπει να είναι διαθέσιμες για το εν λόγω σκάφος. Αυτές μπορεί να προέρχονται από μία από τις τρεις ακόλουθες πηγές:

- Από δοκιμές ταχύτητας πλήρους κλίμακας που διεξήχθησαν και αναλύθηκαν σύμφωνα με το πρότυπο ISO 15016: 2015.
- Από τις δοκιμές της δεξαμενής ρυμούλκησης που έχουν αποδείξει τη συμμόρφωση με τα διεθνή πρότυπα ποιότητας.
- Από τη δυναμική των υπολογιστικών υγρών, το CFD, τις προσομοιώσεις οι οποίες διεξάγονται και αναλύονται σύμφωνα με τις τρέχουσες ITTC συστάσεις.

## 2.4 Υπολογισμός τιμών απόδοσης (Performance Values, PV)

Για κάθε σημείο δεδομένων στο διορθωμένο σύνολο δεδομένων υπολογίζεται μια τιμή απόδοσης. Η ένωση του διορθωμένου συνόλου δεδομένων και οι τιμές απόδοσης, PV, αναφέρονται ως σύνολο προετοιμασμένων δεδομένων. Η τιμή απόδοσης, PV, ορίζεται ως η ποσοστιαία απώλεια ταχύτητας σε σύγκριση με την βασική σχέση ισχύος- ταχύτητας.

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

$$V_d = 100 \square \frac{V_m - V_e}{V_e} \quad (7)$$

Η αναμενόμενη ταχύτητα μέσω του νερού διαβάζεται από την καμπύλη βασικής γραμμής ταχύτητας-ισχύος στις διορθωμένες τιμές της ισχύος που δίνεται. Η αυθεντικότητα των καμπυλών βασικής γραμμής ταχύτητας-ισχύος ορίζεται και η ίδια καμπύλη αναφοράς ταχύτητας-ισχύος, πρέπει να χρησιμοποιείται στις περιόδους αναφοράς και στις περιόδους αξιολόγησης.

Αν είναι διαθέσιμο ένα πυκνό, εξίσου κατανεμημένο σύνολο βασικών καμπυλών ταχύτητας-ισχύος (5 ή περισσότερες καμπύλες πάνω από το συνολικό σχέδιο), η αναμενόμενη ταχύτητα στη μετρούμενη μετατόπιση και το περιθώριο εκτιμάται παρεμβάλλοντας μεταξύ αυτών των καμπυλών.

Εναλλακτικά, η αναμενόμενη ταχύτητα διαβάζεται από την καμπύλη βασικής γραμμής ταχύτητας-ισχύος για τη μετατόπιση και τακτοποίηση πλησιέστερα προς τη μετρούμενη μετατόπιση. Η τελική τιμή διορθώνεται για τις υπόλοιπες διακυμάνσεις (+/- 5% σε εκτόπισμα) ακολουθώντας τον τύπο Admiralty.

Εάν είναι διαθέσιμες επίσης οι καμπύλες αναφοράς εξάρτησης ταχύτητας-ισχύος, πρέπει να χρησιμοποιούνται οι σχετικές καμπύλες.

$$V_{e,2} = V_{e,1} \left( \frac{\Delta_1^{2/3}}{\Delta_2^{2/3}} \right)^{1/3} \quad (8)$$

, όπου  $V_{e,1}$ : η αναμενόμενη ταχύτητα στη μετρούμενη μετατόπιση

$V_{e,1}$ : η αναμενόμενη ταχύτητα στη μετατόπιση στην καμπύλη αναφοράς

$\Delta_1$ : μετρούμενη μετατόπιση

$\Delta_2$ : μετατόπιση αναφοράς

Η μετατόπιση ενός δεδομένου όγκου πρέπει να διαβάζεται από τους πίνακες μετατόπισης του πλοίου υπό διερεύνηση. Η μετατόπιση υπολογίζεται από το στατικό βύθισμα του πλοίου.

## 2.5 Υπολογισμός δεικτών απόδοσης

Η μέση απώλεια ταχύτητας κατά την περίοδο αναφοράς μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\bar{V}_{d,ref} = \frac{1}{k} \sum_j^k \frac{1}{n} \sum_i^n V_{d,j,i} \quad (9)$$

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 μια περίοδο αναφοράς j.

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

Για τον υπολογισμό του μέσου ποσοστού απώλειας ταχύτητας κατά τη διάρκεια της περιόδου αξιολόγησης χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:

$$\bar{V}_{d,eval} = \frac{1}{n} \sum_i^n V_{d,eval,i} \quad (10)$$

, όπου n: ο αριθμός των σημείων στην περίοδο της αξιολόγησης κατά τη διάρκεια περιόδου αναφοράς.

$V_{d,eval,i}$ : ποσοστό απώλειας ταχύτητας για το σημείο (δεδομένο) i από ένα σύνολο δεδομένων την περίοδο αξιολόγησης.

$\bar{V}_{d,eval}$ : μέσος όρος ποσοστού απώλειας ταχύτητας από ένα σύνολο δεδομένων κατά την περίοδο αξιολόγησης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεταβολή του μέσου όρου της απώλειας ταχύτητας από την περίοδο αναφοράς στην περίοδο αξιολόγησης ονομάζεται δείκτης απόδοσης:

$$k_{HP} = \bar{V}_{D,eval} - \bar{V}_{D,ref} \quad (11)$$



, όπου  $\bar{V}_{D,eval}$ : μέσος όρος ποσοστού απώλειας ταχύτητας από ένα σύνολο δεδομένων κατά την περίοδο αξιολόγησης

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

$k_{HP}$ : δείκτης απόδοσης, Performance indicator

Οι δείκτες απόδοσης πρέπει να χαρακτηρίζονται και από κάποια ακρίβεια έτσι ώστε να γίνεται κατανοητό σε ποιο βαθμό επηρεάζει η ακρίβεια τον κάθε δείκτη απόδοσης. Οι δείκτες απόδοσης με την αντίστοιχη ακρίβεια που πρέπει να έχουν καταγράφονται στον Πίνακα 2.3.

**Πίνακας 2.3. Οδηγός σχετικά με την αναμενόμενη ακρίβεια των δεικτών απόδοσης.**

<b>Δείκτης απόδοσης (PI)</b>	<b>Εκτιμώμενη αβεβαιότητα, με ποσοστό 95%διάστημα εμπιστοσύνης, που σχετίζεται με τις εκτιμώμενες τιμές PI (σε ποσοστιαίες μονάδες)</b>
<b>Δείκτης ξηρού δεξαμενισμού:</b> Προσδιορισμός της αποτελεσματικότητας της στεγάνωσης (δραστηριότητες επισκευής ή/και αναβάθμισης)	$\pm 0,3$ % (θεωρώντας μια περίοδο αναφοράς)
<b>Δείκτης διάρκειας δεξαμενισμού:</b> Προσδιορισμός της αποτελεσματικότητας της κοίτης και έλικας (συμπεριλαμβανομένων οποιωνδήποτε δραστηριότητες συντήρησης που έχουν συμβεί πορεία του πλήρους διαστήματος στεγνής σύνδεσης)	$\pm 0,3$ % (θεωρώντας μια περίοδο αξιολόγησης ενός χρόνου/και δυο χρόνια ξηρού δεξαμενισμού)
<b>Δείκτης στόχου συντήρησης:</b> Ενεργοποίηση της κοίτης υποβρυχίως και συντήρηση της έλικας, συμπεριλαμβανομένης και της επιθεώρησης της έλικας ή/και της γάστρας	$\pm 0,5$ %
<b>Δείκτης αποτελεσματικότητας:</b> Προσδιορισμός της αποτελεσματικότητας ενός συγκεκριμένου συμβάντος συντήρησης, συμπεριλαμβανομένου κάθε καθαρισμό της έλικας και/ή της κοίτης	$\pm 0,5$ %

### 2.5.1 Υπολογισμός ισχύος απόδοσης με βάση την ισχύ του άξονα

Η ισχύς που αποδίδεται υπολογίζεται με βάση τους υπολογισμούς της ισχύος του άξονα ( $P_s$ ) από συνεχείς μετρήσεις της ροπής του άξονα και των στροφών του άξονα με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$P_s[kW] = Q_s[kNm] \times (2\pi / 60) \times n_s[\text{min}^{-1}] \quad (2.1)$$

όπου  $Q_s$  : ροπή άξονα

$n_s$  : στροφές άξονα

Για τις παραπάνω εκτιμήσεις είναι απαραίτητες οι ακόλουθες απαιτήσεις σε αισθητήρες, όπως αναφέρονται στον Πίνακα 2.4.

**Πίνακας 2.4. Ελάχιστες απαιτήσεις αισθητήρων, προσέγγιση ισχύος άξονα.**

Μέτρηση	Αποδεκτή συσκευή μέτρησης	Μονάδα μέτρησης
Ροπή στρέψης ( $Q_s$ )	Μετρητής στρέψης: - ελάχιστη ακρίβεια αισθητήρα για ροπή στρέψης $\pm 0,5\%$ ( $1\sigma$ )	[kNm]
Στροφές άξονα μετάδοσης κίνησης ( $n_s$ )	Παρεμβολή, οπτικός αισθητήρας, μετρητής στροφών πλοίων - ελάχιστη ακρίβεια αισθητήρα $\pm 0,5\%$ ( $1\sigma$ )	[ $\text{min}^{-1}$ ]

Για την κοίτη με διπλό άξονα (διπλή έλικα), οι στροφές του άξονα και η ροπή στρέψης πρέπει να μετρηθούν και στους δύο άξονες. Συνίσταται να χρησιμοποιείτε ο ίδιος τύπος αισθητήρα και στους δύο άξονες. Η ισχύς του άξονα υπολογίζεται και για τους δύο άξονες από την αντίστοιχη μετρούμενη ροπή στρέψης και τις επαναλήψεις του άξονα που ακολουθούν τον ανωτέρω τύπο και χρησιμοποιούνται ως προσέγγιση της ισχύος που αποδίδεται στο δεξιό άξονα και στον άξονα προλιμενισμού, αντίστοιχα.

Για την εφαρμογή του παρόντος παραρτήματος του ISO 19030 πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Οι στροφές του άξονα μετάδοσης κίνησης και η ροπή στρέψης να μετρούνται μετά από τα ρουλεμάν όπως φαίνεται από τον κύριο κινητήρα.

- Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ‘κλάσης’, η γραμμή άξονα, συμπεριλαμβανομένων των ρουλεμάν, πρέπει να διατηρείται επαρκώς ώστε να εξασφαλίζει ότι η απόδοση της μετάδοσης της ισχύος (ισχύς άξονα έναντι ισχύος που αποδίδεται) παραμένει αμετάβλητη καθ’ όλη τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς και περιόδου αξιολόγησης.

### 2.5.2 Υπολογισμός ισχύος απόδοσης με βάση την ισχύ πέδησης

Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμος μετρητής στρέψης με την απαιτούμενη ποιότητα σήματος και εάν πληρούνται οι συνθήκες που αναφέρονται παρακάτω, η ισχύς που αποδίδεται πρέπει να υπολογίζεται με βάση τους υπολογισμούς ισχύος πέδησης (power brake). Η ισχύς πέδησης από ειδικό ISO 3046-1: 2002 κινητήρα και κανονική καμπύλη αναφοράς SFOC με διόρθωση καυσίμου, συνεχείς μετρήσεις ροής καυσίμου και δεδομένα θερμοκρασίας και ανάλυσης καυσίμων σχετικά με την θερμοδική αξία, την πυκνότητα και την ταχύτητα μεταβολής της πυκνότητας για το καύσιμο που καταναλώνεται δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$P_B = f(M_{FOC}) \times \frac{LCV}{42,7} \quad (2.2)$$

, όπου  $M_{FOC}$ : η μάζα καυσίμου η οποία καταναλώνεται από την κύρια μηχανή (kg/hour)

$LCV$ : η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου (MJ/kg)

Η μάζα του αναλωμένου καυσίμου μπορεί να ληφθεί από μετρητή ροής μάζας ή μετρητή όγκου ροής. Σε περίπτωση που η μάζα του αναλωμένου πετρελαίου μαζούτ λαμβάνεται από μετρητή ροής όγκου, η μάζα του πετρελαίου υπολογίζεται από τον όγκο του καυσίμου ( $V_{FOC}$ ) και τη θερμοκρασία ( $T_{FO}$ ) του αναλωμένου πετρελαίου:

$$M_{FOC} = V_{FOC} \times [\rho_{FO} - \alpha_T \times (T_{FO} - 15)] \quad (2.3)$$

, όπου  $V_{FOC}$ : ο όγκος του αναλωμένου καυσίμου ανά μονάδα χρόνου για τον κύριο κινητήρα

$\rho_{FO}$ : η πυκνότητα του καυσίμου στους 15°C (kg/l)

$\alpha_T$ : ο ρυθμός μεταβολής της πυκνότητας ανά 1°C μεταβολής της θερμοκρασίας του καυσίμου (kg/l)

$T_{FO}$ : η θερμοκρασία του καυσίμου στην είσοδο του μετρητή ροής

Η καμπύλη SFOC που θα χρησιμοποιείται θα πρέπει να βασίζεται σε πραγματικές δοκιμές από εμπορικά πλοία με ένα συγκεκριμένο κινητήρα και να καλύπτει όλο το εύρος εξόδου του κινητήρα και θα πρέπει να διορθωθούν για περιβαλλοντικούς παράγοντες σύμφωνα με το πρότυπο ISO 3046-1: 2002 και για κανονικό καύσιμο 42700 kJ/kg.

Οι ακόλουθοι αισθητήρες με τις ακόλουθες ελάχιστες απαιτήσεις που καταγράφονται στον Πίνακα 2.5.

**Πίνακας 2.5. Ελάχιστες απαιτήσεις αισθητήρα για την προσέγγιση μετρήσεων με τη μέθοδο ισχύος πέδησης.**

Μέτρηση	Αποδεκτή συσκευή μέτρησης	Μονάδα μέτρησης
Όγκος καυσίμου που καταναλώνεται στη μονάδα του χρόνου από την κύρια μηχανή ( $V_{FOC}$ )	Ροόμετρο - Ελάχιστη ακρίβεια αισθητήρα $\pm 0,5\%$ για όλο το εύρος εργασίας	[l/h]
Θερμοκρασία καυσίμου στην είσοδο του ροόμετρου ( $T_{FO}$ )	Θερμόμετρο - Ελάχιστη ακρίβεια αισθητήρα ( $0,3\%+0,005t$ ) % όπου t είναι οι °C	[°C]

Οι μετρήσεις των  $V_{FOC}$  και  $T_{FO}$  διεξάγονται και διατίθενται για συλλογή από τα δεδομένα σύμφωνα με τις απαιτήσεις ποσοστού δειγματοληψίας που καθορίζονται στο παρόν ISO. Οποιαδήποτε αλλαγή στο καύσιμο που καταναλώνεται από τον κύριο κινητήρα, η οποία θα προκαλέσει αλλαγή στην θερμοκρασιακή τιμή και/ή στην πυκνότητα πρέπει είτε να εισαχθεί αυτόματα είτε χειροκίνητα στο σύνολο δεδομένων έτσι ώστε να είναι ο χρόνος της αλλαγής να είναι σαφώς καθορισμένος και οι νέες τιμές είναι διαθέσιμες για τον υπολογισμό του MFOC.

Επίσης πρέπει να καταγράφονται νέα σημεία δεδομένων κατά τη μετάβαση από μια παρτίδα καυσίμου σε άλλη παρτίδα καυσίμου ή για οποιαδήποτε μεταβολή από τα υπολειπόμενα καύσιμα σε καύσιμα απόσταξης. Επιπλέον, για τα καύσιμα που καταναλώνονται σε δεδομένο χρονικό σημείο, τα ακόλουθα δεδομένα αναλύσεων δεξαμενής θα πρέπει να είναι διαθέσιμα. Στον Πίνακα 2.6 καταγράφονται αυτά τα στοιχεία τα οποία της δεξαμενής τα οποία θα πρέπει να είναι διαθέσιμα.

**Πίνακας 2.6. Απαιτήσεις δεδομένων δεξαμενής καυσίμων για την περίπτωση προσέγγισης με την ισχύ πέδησης.**

<b>Δεδομένα δεξαμενής</b>	<b>Αποδεκτή πηγή</b>	<b>Μονάδα μέτρησης</b>
<b>Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (LCV)</b>	Αποθήκη καυσίμου	MJ/kg
<b>Πυκνότητα καυσίμου στους 15°C</b>	Αποθήκη καυσίμου	(kg/l)
<b>Ρυθμός μεταβολής πυκνότητας ανά 1 °C μεταβολής της θερμοκρασίας καυσίμου</b>	ASTM 54B και 56 ή ισοδύναμα	(kg/l/°C)

Η διόρθωση SFOC πραγματοποιείται σύμφωνα με το ISO3046-1: 2002. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τις διορθώσεις είναι συλλέγονται αυτόματα και λαμβάνονται από κατάλληλους αισθητήρες.

Για την εφαρμογή του παρόντος παραρτήματος πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Το παράρτημα εφαρμόζεται μόνο σε κοίτη μονής ή διπλής έλικας με σύστημα προώθησης άμεσης κίνησης και δεν εφαρμόζεται στα πλοία που τροφοδοτούνται με υγρό φυσικό αέριο ούτε στα διπλά καύσιμα.
- Το παράρτημα B (δηλαδή εκτίμησης της αποδιδόμενης ισχύος μέσω της ισχύος πέδησης) δεν εφαρμόζεται σε κοίτη όπου από τον κύριο κινητήρα μπορεί να αφαιρεθεί ισχύς για βοηθητική δύναμη.

Επίσης η συγκεκριμένη μέθοδος που περιγράφεται στην παρούσα υποενότητα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν:

- Υπάρχουν μεταβολές στη μέγιστη συνεχή βαθμολογία του κινητήρα.
- Υπάρχουν μεταβολές στις συνιστώσες του τεχνικού φακέλου που δημιουργούνται κανονικά από τον κατασκευαστή του κινητήρα και εγκρίνονται από τη Διοίκηση σύμφωνα με την παράγραφο 2.4.1.1 του NOx Τεχνικού Νόμου του 2008 αρχείο (NTC).
- Υπάρχουν μεταβολές στις ρυθμίσεις εκτός αποδεκτού εύρους στο τεχνικό φάκελο που συνήθως δημιουργείται από τον κατασκευαστή του κινητήρα και εγκρίνεται από τη διοίκηση σύμφωνα με το σημείο 2.4.1.2 της οδηγίας 2008 NTC.

Επίσης ο μετρητής ροής καυσίμου πρέπει να τοποθετείται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μετράει αποκλειστικά τον πραγματικό όγκο καυσίμου που καίγεται από τον κύριο κινητήρα:

- Πρέπει να μετράται ο όγκος της οπίσθιας πλύσης από το φίλτρο πετρελαίου πριν από τον κύριο κινητήρα και να αφαιρείται από τον όγκο του αναλωμένου πετρελαίου.
- Με ημιμόνιμο σύστημα καυσίμου (με ξεχωριστή γραμμή κυκλοφορίας για τον κύριο κινητήρα και τους βοηθητικούς κινητήρες αντίστοιχα παρέχεται ένα σύνολο μετρητών ροής στη γραμμή τροφοδοσίας καυσίμου/πετρελαίου ντίζελ για τον κύριο κινητήρα (μετά την απόσπαση σε βοηθητικούς κινητήρες).
- Με μονό σύστημα καυσίμου (με κοινή γραμμή κυκλοφορίας για τον κύριο κινητήρα και τους βοηθητικούς κινητήρες), η ροή από τους μετρητές πρέπει να παρέχεται ως εξής:
  - Ένας ρυθμισμένος στην κοινή τροφοδοσία πετρελαίου καυσίμου για τον κύριο κινητήρα και τους βοηθητικούς κινητήρες.
  - Ένας ρυθμισμένος στη γραμμή τροφοδοσίας λαδιού καυσίμου για τους βοηθητικούς κινητήρες.
  - Ένας ρυθμισμένος στη γραμμή επιστροφής λαδιού καυσίμου για τους βοηθητικούς κινητήρες.
  - Η κατανάλωση καυσίμου για τον κύριο κινητήρα υπολογίζεται στη συνέχεια ως προσθαφαίρεση των παραπάνω μετρήσεων.

Ακόμα επισημαίνεται ότι σύμφωνα με τις απαιτήσεις των εταιρειών ταξινόμησης ο κύριος κινητήρας πρέπει να συντηρείται συνεχώς και σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή του κινητήρα προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η απόδοση του κινητήρα παραμένει αμετάβλητη καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς και της περιόδου αξιολόγησης.

Η διάρκεια συντήρησης των εξαρτημάτων που είναι φθαρμένα (αντικατασταθέντα εξαρτήματα) μετά την αντικατάσταση πρέπει να είναι εντός των συστάσεων του κατασκευαστή του κινητήρα. Επίσης τα διαστήματα καθαρισμού του υπερσυμπιεστή και του ψύκτη πρέπει να διατηρούνται αυστηρά.

Οι κύριες επιδόσεις του κινητήρα πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς και να τηρούνται επαρκείς εγγραφές προκειμένου να επιτραπεί η επαλήθευση ότι η απόδοση του κινητήρα δεν μεταβάλλεται καθ' όλη τη διάρκεια της αναφοράς και καθόλη τη

διάρκεια της περιόδου περιόδοι αξιολόγησης. Η γραμμή της έλικας συμπεριλαμβανομένων των ρουλεμάν, πρέπει να είναι επαρκώς συντηρημένη ώστε να εξασφαλίζεται ότι η αποτελεσματικότητα της μετάδοσης παραμένει αμετάβλητη σε όλες τις περιόδους αναφοράς και αξιολόγησης.

Διαφορετικές κατανομές συνθηκών σχεδίασης/επιδιόρθωσης σε ολόκληρη την περίοδο αξιολόγησης και αναφοράς και/ή μεγάλη- μεταβλητότητα στο SFOC για μια ομάδα από καμπύλες έλικας που καλύπτουν το τυπικό εύρος λειτουργίας του συγκεκριμένου πλοίου υπό διερεύνηση θα αυξήσει την αβεβαιότητα κατά την προσέγγιση της παραδοθείσας ισχύος με βάση τους υπολογισμούς της ισχύος πέδησης.

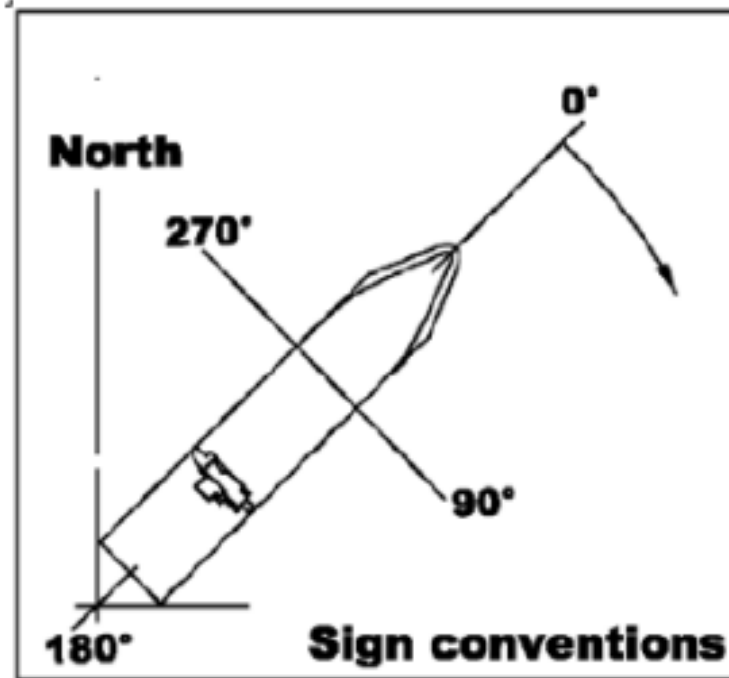
### 2.5.3 Υπολογισμός ισχύος απόδοσης με βάση την πραγματική ταχύτητα ανέμου και κατεύθυνση

Η πραγματική ταχύτητα του ανέμου,  $v_{wt}$  [m/s] η πραγματική κατεύθυνση του ανέμου,  $\psi_{wt}$  [radians] στο ύψος του ανεμόμετρου υπολογίζεται 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 ( $\psi_{sp}$  [radians] και την πλοήγηση,  $\psi_0$  [radians], σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

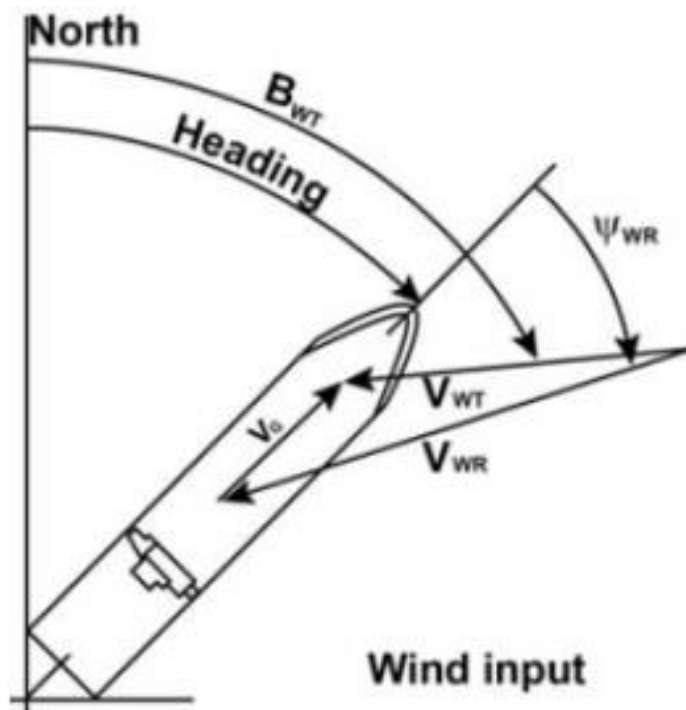
$$v_{wt} = \sqrt{v_{wr}^2 + v_g^2 - 2v_{wr}v_g \cos \psi_{wr}} \quad (2.4)$$

$$\psi_{wt} = \tan^{-1} \left\{ \frac{v_{wr} \sin(\psi_{wr} + \psi_0) - v_g \sin(\psi_0)}{v_{wr} \cos(\psi_{wr} + \psi_0) - v_g \cos(\psi_0)} \right\} \quad (2.5)$$

Στην Εικ.2.2 αντικατοπτρίζεται η σύμβαση σημάνσεων για οδηγίες σχετικά με την καθοδήγηση του πλοίου. Στην Εικ.2.3 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 2.2. Σύμβαση σημάνσεων.



Εικόνα 2.3. Υπολογισμός της πραγματικής ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου στο ύψος αναφοράς.

Για τον υπολογισμό της αντοχής στον αέρα, η ταχύτητα του ανέμου και η κατεύθυνση στο ύψος αναφοράς της σήραγγας πρέπει να χρησιμοποιούνται οι



δοκιμές στις οποίες βασίζονται οι συντελεστές αντίστασης ανέμου. Επομένως, η ταχύτητα του ανέμου και η κατεύθυνση της ταχύτητας στο ύψος του ανεμόμετρου πρέπει να διορθώνεται σε σχέση με το ύψος αναφοράς. Εάν δεν είναι διαθέσιμο ένα ύψος αναφοράς των δοκιμών αεροδυναμικής σήραγγας, επιλέγεται ένα ύψος αναφοράς 10m. Η διαφορά μεταξύ του ύψους του ανεμόμετρου και του ύψους αναφοράς για την αντίσταση στον αέρα διορθώνεται με τη βοήθεια του προφίλ ταχύτητας ανέμου που δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$v_{wt,ref} = v_{wt} \left( \frac{Z_{ref}}{Z_{\alpha}} \right)^{1/7} \quad (2.6)$$

, όπου:  $v_{wt,ref}$  : πραγματική ταχύτητα στο ύψος αναφοράς σε μονάδες m/s

$v_{wt}$  : πραγματική ταχύτητα ανέμου στο ύψος του ανεμόμετρου σε μονάδες m/s

$Z_{ref}$  : ύψος αναφοράς πάνω από το επίπεδο της θάλασσας σε μονάδες m

$Z_{\alpha}$  : το ύψος του ανεμόμετρου πάνω από το επίπεδο της θάλασσας σε μονάδες, m

Η σχετική ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς πάνω από το επίπεδο της θάλασσας σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$v_{r,ref} = \sqrt{v_{wt,ref}^2 + v_g^2 + 2v_{wt,ref}v_g \cos(\psi_{wt} + \psi_0)} \quad (2.7)$$

Η σχετική κατεύθυνση του ανέμου στο ύψος αναφοράς πάνω από τη θάλασσα σε ακτίνια δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\psi_{wr,ref} = \tan^{-1} \left\{ \frac{v_{wt,ref} \sin(\psi_{wt} - \psi_0)}{v_g + v_{wt,ref} \cos(\psi_{wt} - \psi_0)} \right\} \quad (2.8)$$

Οι οριακές τιμές είναι πολύ κρίσιμες καθώς μπορεί να μεταβάλλουν το μέσο όρο. Οι οριακές τιμές θα πρέπει να ανιχνεύονται με βάση το κριτήριο Chauvent. Ο μέσος όρος  $\mu$  και η τυπική απόκλιση  $\sigma$  για τα  $N$  δεδομένα σε ένα σύνολο δεδομένων με τιμές  $d_j$  υπολογίζονται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_i^N d_i \quad (2.9)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (d_i - \mu)^2} \quad (2.10)$$

Η πιθανότητα εμφάνισης οποιασδήποτε τιμής  $d_i$  υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$P(d_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d_i-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.11)$$

Ένα δεδομένο θεωρείται οριακή τιμή όταν πληρείται ο ακόλουθος τύπος:

$$P(d_i) \cdot N < 0,5 \quad (2.12)$$

Για κάθε μπλοκ 10 λεπτών  $j$  με τιμές  $N$  δεδομένων οι μέσες τιμές και η τυπική απόκλιση υπολογίζεται σύμφωνα με τους τύπους (2.9) και (2.10) για τα δεδομένα των παραμέτρων RPM, την ταχύτητα μέσω νερού και την ταχύτητα πάνω από τη γη και η γωνία του πηδαλίου.

Εάν η τυπική απόκλιση οποιασδήποτε από τις παραμέτρους είναι μεγαλύτερη από τα κατώτατα καθορισμένα όρια, το 10λεπτό μπλοκ  $j$  δεν είναι έγκυρο για όλες τις παραμέτρους. Τιμές του κατώτατου ορίου για την τυπική απόκλιση:

- RPM:  $3 \text{ λεπτά}^{-1}$
- Ταχύτητα μέσω του νερού: 0,5 κόμβους.
- Ταχύτητα πάνω από το έδαφος: 0,5 κόμβους.
- Γωνία στροφής: 1 μοίρα.

Επίσης ο μέσος όρος για ένα μπλοκ δεδομένων  $j$  των 10 λεπτών θα είναι πλησίον του μέσου του προηγούμενου μπλοκ  $j-1$  για τις RPM παραμέτρους, την ταχύτητα διαμέσου του νερού, την ταχύτητα πάνω από το έδαφος, την κλίση πρόσθιας και οπίσθιας κατεύθυνσης και τη γωνία πηδαλίου: ο μέσος όρος του μπλοκ δεδομένων  $j$  πρέπει να είναι εντός μιας τυπικής απόκλισης γύρω από το μέσο όρο των προηγούμενων δεδομένων block  $j-1$  για κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\mu_{j-1} - \sigma_{j-1} \leq \mu_j \leq \mu_{j-1} + \sigma_{j-1} \quad (2.13)$$

Στην περίπτωση που δεν επαληθεύεται η παραπάνω εξίσωση για καμία από τις παραμέτρους τότε το σύνολο δεδομένων από το μπλοκ  $j$  δεν είναι έγκυρο.

Ακόμα στην περίπτωση κοίτης διπλής έλικας (δηλ. διπλού άξονα), η διαφορά μεταξύ της μέσης τιμής ισχύος που παρέχεται για τον δεξιό άξονα και στον άξονα θύρας σε μπλοκ δεδομένων 10 λεπτών πρέπει να είναι μικρότερη από 5%. Οι διαφορές στη μέση δεξιά και αριστερή πλευρά των δεδομένων RPM σε μπλοκ δεδομένων 10 λεπτών πρέπει να είναι μικρότερη από 1%. Διαφορετικά, το μπλοκ δεδομένων δεν είναι έγκυρο.

Το σύνολο των δεδομένων αναλύεται για τη συνοχή των στροφών ανά λεπτό (RPM), την ταχύτητα μέσω των τιμών νερού και της ισχύος: Εάν η σχετική τυπική

απόκλιση του λόγου ισχύος άξονα σε (ταχύτητα διαμέσου του νερού) ή η σχετική τυπική απόκλιση του λόγου της ταχύτητας μέσω του νερού σε στροφές άξονα για ένα μπλοκ 10 λεπτών με δεδομένα είναι μεγαλύτερη από 10% το μπλοκ δεδομένων δεν είναι έγκυρο. Οι σχετικές τυπικές αποκλίσεις υπολογίζονται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$\sigma_{j,r} = \frac{\sigma_j}{\mu_j} \quad (2.14)$$

Ακόμα τα δεδομένα θα πρέπει να αναλύονται για την μετατόπιση του αισθητήρα.

#### 2.5.4 Διόρθωση με βάση την αντίσταση του ανέμου

Τα δεδομένα εισαγωγής της ισχύος που αποδίδεται θα πρέπει να διορθωθούν με βάση την αντίσταση του ανέμου αφαιρώντας τη διόρθωση από την αντίσταση του αέρα σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$P_{s,corr} = P_D - \Delta P_w \quad (2.15)$$

, όπου  $P_{D,corr}$  : η διορθωμένη τιμή της αποδιδόμενης ισχύος

Ως βάση για τη διόρθωση, οι συντελεστές αντίστασης ανέμου από τις δοκιμές αεροδυναμικής σήραγγας του συγκεκριμένου πλοίου πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Εάν δεν είναι διαθέσιμες οι συντελεστές αντίστασης ανέμου για τον συγκεκριμένο τύπο πλοίου σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 15016 και MEPC (2013) τότε πρέπει να ακολουθούνται οι ακόλουθες εξισώσεις:

$$\Delta P_w = \frac{(R_{rw} - R_{0w}) \cdot v_g}{\eta_{D0}} + P_D \left(1 - \frac{\eta_{DM}}{\eta_{D0}}\right) \quad (2.16)$$

, όπου  $R_{0w} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot v_g^2 \cdot A \cdot C_{0w}(0)$

$\Delta P_w$  : η διόρθωση του ανέμου [kW]

$R_{rw}$  : η αντίσταση του ανέμου σε σχέση με το σχετικό άνεμο [kN]

$R_{0w}$  : η αντίσταση του αέρα χωρίς να φυσάει άνεμος [kN]

$v_g$  : η ταχύτητα του πλοίου επί εδάφους [m/s]

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

$C_{rw}$  : ο συντελεστής αντίστασης του ανέμου εξαρτώμενος από την κατεύθυνση του σχετικού ανέμου,  $\psi_{wr,ref}$

$C_{0w}$ : ο συντελεστής αντίστασης του ανέμου για το μπροστινό μέρος του ανέμου (0 μοίρες κατεύθυνση ανέμου)

$\rho_a$ : η πυκνότητα του αέρα [ $\text{kg/m}^3$ ]

A: εγκάρσια προβαλλόμενη περιοχή σε συνθήκες τρέχουσας φόρτισης [ $\text{m}^2$ ]

$\psi_{wr,ref}$ : σχετική κατεύθυνση του ανέμου σε σχετικό ύψος [radians]

$\eta_{D0}$ : συντελεστής προώθησης σε ήρεμη κατάσταση

$\eta_{DM}$ : συντελεστής προώθησης σε πραγματικές συνθήκες πλεύσης

### 2.5.5 Καμπύλες αναφοράς ταχύτητας-ισχύος

Στην περίπτωση που οι καμπύλες αναφοράς ταχύτητας-ισχύος είναι διαθέσιμες από εξωτερικές πηγές για διαφορετικές συνθήκες φορτίου, αλλά δεν καλύπτουν ένα σχετικό εύρος ενδιάμεσου δεξαμενισμού, πρέπει να υπάρχουν πρόσθετες καμπύλες ταχύτητας-ισχύος οι οποίες πρέπει να σχηματίζονται με παρεμβολή μεταξύ διαθέσιμων καμπυλών ή εφαρμόζοντας γενικά αποδεκτές μεθόδους προσέγγισης της ισχύος. Επίσης πρέπει να τεκμηριωθεί ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάζονται οι καμπύλες.

Θεωρείται πιο αξιόπιστο να εκτελούνται επιπρόσθετες δοκιμές ταχύτητας, δοκιμές μοντέλων ή υπολογισμοί CFD για να ληφθούν οι πρόσθετες καμπύλες ταχύτητας-ισχύος.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν καμπύλες αναφοράς ταχύτητας-ισχύος από εξωτερικές πηγές, οι καμπύλες ταχύτητας-ισχύος αναφοράς εξάγονται από δεδομένα εν χρήσει σύμφωνα με την έννοια των "μόνιμων δοκιμαστικών ταξιδιών", όπως περιγράφονται παρακάτω.

Το μόνιμο δοκιμαστικό ταξίδι πρέπει να πραγματοποιείται για μια δεδομένη μετατόπιση και αποκοπή κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού σε ήρεμη θάλασσα, σε σταθερή κατάσταση, σε βαθιά νερά και κύματα:

α) Βαθέων υδάτων: εξαιρούνται τα ρηγά νερά, στους τύπους 6 και 7 της υποπαραγράφου 6.2.1,

β) Ήρεμη θάλασσα: οι κινήσεις του πλοίου είναι κάτω από ένα προκαθορισμένο πολύ χαμηλής κύλισης + βήματος (μέγιστο πλάτος ενός βήματος  $< 2^\circ$ , μέγιστο πλάτος απλού βήματος  $< 0,1^\circ$ ),

γ) "Σταθερή": δε χρειάζεται να αλλάξει πορεία λόγω κυκλοφορίας και/ή ναυτιλιακών αναγκών για τουλάχιστον 1 ώρα ανά διαδρομή.

δ) Κύματα και άνεμος: Γωνία πλήρους κύματος κάτω από 40°, απόλυτη πραγματική διεύθυνση ανέμου κάτω από 40°.

Το μόνιμο δοκιμαστικό ταξίδι περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- i) Ενεργοποιήστε τον αυτόματο πιλότο και ρυθμίστε τη λειτουργία με τη χαμηλότερη δραστηριότητα του πηδαλιού (να διατηρηθεί κατά τη διάρκεια του ολόκληρου σύνολα διαδρομών.
- ii) Ρυθμίστε τις στροφές του κύριου κινητήρα κατά προσέγγιση σύμφωνα με το επιθυμητό επίπεδο ταχύτητας (ξεκινήστε με το χαμηλότερο).
- iii) Περιμένετε περίπου 30 λεπτά μέχρι να είναι σταθερό το επίπεδο ταχύτητας / στροφών.
- iv) Ξεκινήστε την περίοδο εγγραφής (δείκτης σε μόνιμη εγγραφή) και καταγράψτε για τουλάχιστον 1 ώρα χωρίς να αλλάξετε οτιδήποτε.
- v) Τέλος περιόδου εγγραφής (δείκτης σε μόνιμη εγγραφή).
- vi) Ρυθμίστε τις κύριες στροφές του κινητήρα σύμφωνα με το επιδιωκόμενο επίπεδο ταχύτητας (επόμενο υψηλότερο επίπεδο ταχύτητας).
- vii) Επανάληψη (iii) – (vi) έως ότου τελειώσει η σειρά εγγραφών σε δεδομένη κατάσταση φόρτωσης.

Για μια δεδομένη κατάσταση φορτίου, η μόνιμη δοκιμή θα πρέπει να διεξάγεται σε τουλάχιστον τρία διαφορετικά επίπεδα ταχύτητας (π.χ. δοχεία υπερβολικά αργός ατμός ~ 10 κόμβοι, αργός ατμός 14-15 κόμβοι, και ταχύτητα σχεδιασμού). Ο ελάχιστος χρόνος σταθερής/ήρεμης κατάστασης που απαιτείται για ένα πλήρες σετ εγγραφών σε μία κατάσταση φόρτωσης σε τρία επίπεδα ταχύτητας είναι περίπου 6 ώρες.

Οι μόνιμες δοκιμαστικές διαδρομές συνίσταται να εκτελούνται εντός του συντομότερου χρονικού διαστήματος (συνιστάται: όχι περισσότερο από 6 μήνες). Θα πρέπει να επαληθεύεται ότι τόσο η υποβρύχια γάστρα όσο και η έλικα είναι καθαρές και άθικτες κατά τη διάρκεια του πλήρους χρονικού διαστήματος των δοκιμαστικών ταξιδιών και των ημερομηνιών των δοκιμαστικών ταξιδιών που καταγράφονται.

Οι ακόλουθες παράμετροι καταγράφονται συνεχώς και αυτόματα κατά τη διάρκεια των μόνιμων δοκιμαστικών ταξιδιών:

- Ταχύτητα μέσα στο νερό.

- Ταχύτητα πάνω από το έδαφος.
- RPM του άξονα.
- Στατικό σχέδιο εμπρός και πίσω.
- Δυναμική προσαρμογή.
- Σχετική ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου.
- Ρύθμιση κίνησης/ρύθμιση αυτόματου πιλότου.
- Κινήσεις των πλοίων (πλάτη και περιόδους κυλίνδρου και κλίσης).
- Βάθος νερού
- Θερμοκρασία νερού και αλατότητα (όχι απαραίτητα μόνιμη ή αυτόματη).
- Σημαντικό ύψος κύματος και γωνία συναντήσεων (όχι απαραίτητα μόνιμη ή αυτόματη).
- Ημερομηνία και θέση GPS.

Επιπλέον, καταγράφεται η παραδοθείσα ισχύς. Η παραδοθείσα ισχύς υπολογίζεται με βάση τους υπολογισμούς της δύναμης άξονα,  $P_s$ , από τις μετρήσεις της ροπής στρέψης του άξονα και των στροφών του άξονα. Στην περίπτωση που η απαιτούμενη ποιότητα σήματος του αισθητήρα δεν είναι διαθέσιμη και δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις που ορίζονται για τον υπολογισμό της ισχύος τότε η παραδοθείσα ισχύς υπολογίζεται από την ισχύ πέδησης, από την καμπύλη αναφοράς SFOC που είναι ειδική για κινητήρες, από τις συνεχείς μετρήσεις της ροής καυσίμου και τη θερμοκρασία και τα στοιχεία ανάλυσης δεξαμενής σχετικά με την θερμοδυναμική αξία, την πυκνότητα και τον ρυθμό μεταβολής πυκνότητας για το καύσιμο που καταναλώνεται, όπως αναλύθηκε στις προηγούμενες υποενότητες.

Οι προσεγγίσεις για τον υπολογισμό της ισχύος άξονα και της ισχύος φρένων καθώς και των ελάχιστων απαιτούμενων αισθητήρων και ακρίβεια αισθητήρων ή για καθένα από αυτά, αναλύθηκαν στις προηγούμενες υποενότητες.

Επιπλέον, πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες συνθήκες:

- Η θερμοκρασία του νερού είναι μεγαλύτερη από  $+2^\circ$  εάν δεν υπάρχει άλλη ένδειξη ότι το σκάφος κινείται μέσα στον πάγο.
- Η πραγματική ταχύτητα ανέμου είναι μεταξύ 0 - 7,9 m/s (BF0 -BF4).
- Η απόλυτη πραγματική κατεύθυνση του ανέμου είναι μικρότερη από  $40^\circ$  (άνεμος κεφαλής).
- Η απόλυτη διαφορά στην ταχύτητα πάνω από το έδαφος και την ταχύτητα μέσω του νερού να είναι κάτω από 4,0 κόμβους.

- Η μέγιστη απόλυτη γωνία του πηδαλίου να είναι μικρότερη από 5°.

Μετά το φιλτράρισμα της παραδοθείσας ισχύος, οι τιμές διορθώνονται για τον αέρα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο που περιγράφεται στην προηγούμενη υποενότητα. Για κάθε κατάσταση φορτίου και σε κάθε επίπεδο ταχύτητας, η ταχύτητα μέσω νερού και οι διορθωμένες τιμές ισχύος που απομένουν μετά το φιλτράρισμα υπολογίζονται κατά μέσο όρο σε αριθμητικές μέσες τιμές. Από τη μέση ταχύτητα μέσω των τιμών νερού και των μέσων τιμών αναφοράς καμπύλης ταχύτητας-ισχύος για τον άξονα εκτιμάται η συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης.

## 2.6 Εναλλακτική μέθοδος υπολογισμού δεικτών απόδοσης και απόδοσης ισχύος

Η μέθοδος που προδιαγράφεται σε όλα τα μέρη της παρούσας υποενότητας παραμένει σχετική εκτός από εκείνα τα μέρη που προσδιορίζονται παρακάτω, τα οποία αντικαθίστανται στο σύνολό τους με τα ακόλουθα:

- ➔ Η ποσοστιαία αύξηση ισχύος: Η Ποσοστιαία αύξηση της ισχύος,  $P_d$ , υπολογίζεται ως η σχετική διαφορά του ποσοστού μεταξύ της μετρούμενης διορθωμένης παραδοθείσας ισχύος,  $P_m$  και της αναμενόμενης παραδοθείσας ισχύος,  $P_e$ :

$$P_d = 100 \cdot \frac{P_m - P_e}{P_e} \quad (2.17)$$

Η αναμενόμενη παραδοθείσα ισχύς,  $P_e$ , εκτιμάται από την καμπύλη βασικής γραμμικής ταχύτητας-ισχύος στη μετρούμενη ταχύτητα μέσω του νερού  $V_m$ . Η αρχή της καμπύλης ταχύτητας-ισχύος και της μεθόδου για την παρεμβολή μεταξύ των καθορισμένων καμπυλών πρέπει να εκτελείται όπως ορίστηκε σε προηγούμενες υποενότητες. Εάν πρόκειται να εκτελεστούν διορθώσεις μετατόπισης, ισχύει η ακόλουθη διατύπωση του τύπου Admiralty:

$$P_{e,2} = P_{e,1} \frac{\Delta_1^{3/2}}{\Delta_2^{3/2}} \quad (2.18)$$

$P_{e,1}$ : αναμενόμενη παραδοθείσα ισχύς στη μετρούμενη μετατόπιση

$P_{e,2}$ : αναμενόμενη παραδοθείσα ισχύς σε μετατόπιση αναφοράς

$\Delta_1$ : η μετρούμενη μετατόπιση

$\Delta_2$ : η μετατόπιση αναφοράς

Η μέση αύξηση του ποσοστού κατά τη διάρκεια της(των) περιόδου(ων) αναφοράς υπολογίζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\bar{P}_{d,ref} = \frac{1}{k} \sum_j^k \frac{1}{n} \sum_i^n P_{d,j,i} \quad (2.19)$$

- , όπου  $k$ : αριθμός περιόδων αναφοράς  
 $j$ : μετρητής περιόδων αναφοράς  
 $n$ : αριθμός σημείων δεδομένων στο σύνολο επεξεργασμένων δεδομένων υπό συνθήκες αναφοράς στην περίοδο αναφοράς  $j$   
 $i$ : μετρητής σημείων δεδομένων στην περίοδο αναφοράς  $j$   
 $P_{d,j,i}$ : αύξηση της ποσοστιαίας ισχύος για το σημείο δεδομένων  $i$  κατά την περίοδο αναφοράς  $j$   
 $\bar{P}_{d,ref}$ : μέση αύξηση της εκατοστιαίας ισχύος κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς

Για το σύνολο δεδομένων περιόδου αξιολόγησης, η μέση αύξηση της εκατοστιαίας ισχύος κατά την περίοδο αξιολόγησης,  $P_{d,eval}$ , υπολογίζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\bar{P}_{d,eval} = \frac{1}{n} \sum_i^n P_{d,eval,i} \quad (2.20)$$

- , όπου  $n$ : ο αριθμός σημείων δεδομένων στο σύνολο επεξεργασμένων δεδομένων υπό συνθήκες αναφοράς της περιόδου αξιολόγησης  
 $P_{d,eval,i}$ : αύξηση της εκατοστιαίας ισχύος για το δεδομένο  $i$  σε ένα σύνολο δεδομένων της περιόδου αξιολόγησης  
 $\bar{P}_{d,eval}$ : μέση αύξηση της εκατοστιαίας ισχύος σε σύνολο δεδομένων της περιόδου αξιολόγησης

Η μεταβολή της μέσης αύξησης ισχύος στην περίοδο αναφοράς και η μέση αύξηση της ισχύος σε περίοδο αξιολόγησης ορίζεται ως δείκτης απόδοσης ισχύος, PPI, και υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$k_{HP-P} = \bar{P}_{d,eval} - \bar{P}_{d,ref} \quad (2.21)$$



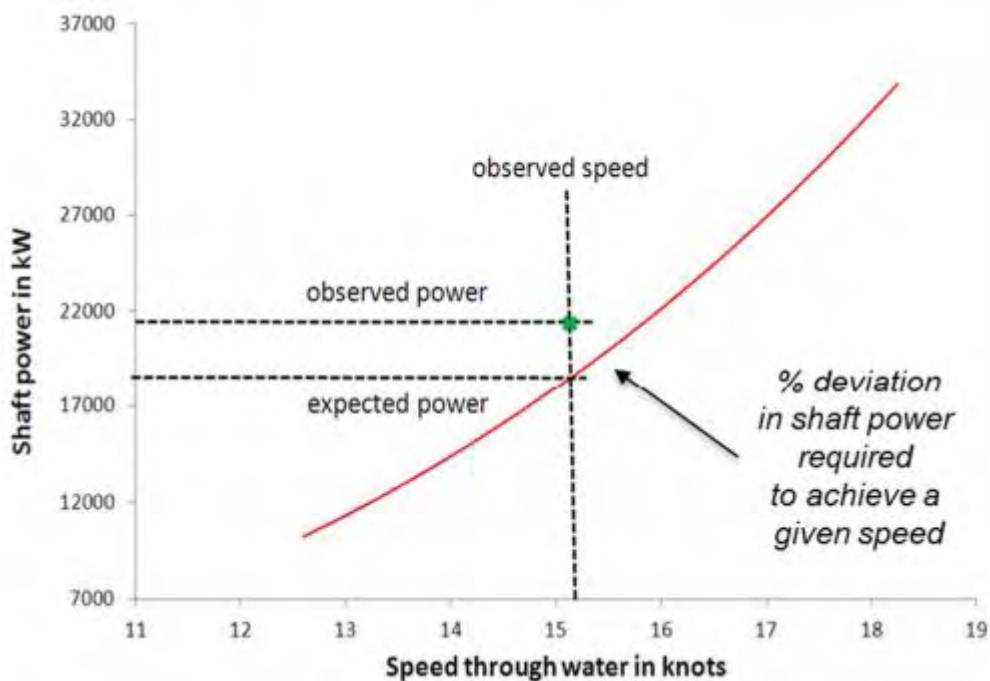
### 3 Μέτρηση απόδοσης πραγματικής κοίτης και έλικας με βάση το ISO 19030

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση δυο ζευγών πλοίων με βάση το νέο ISO19030. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να υπολογιστεί ο δείκτης της απόδοσης των πλοίων.

#### 3.1 Μεθοδολογία

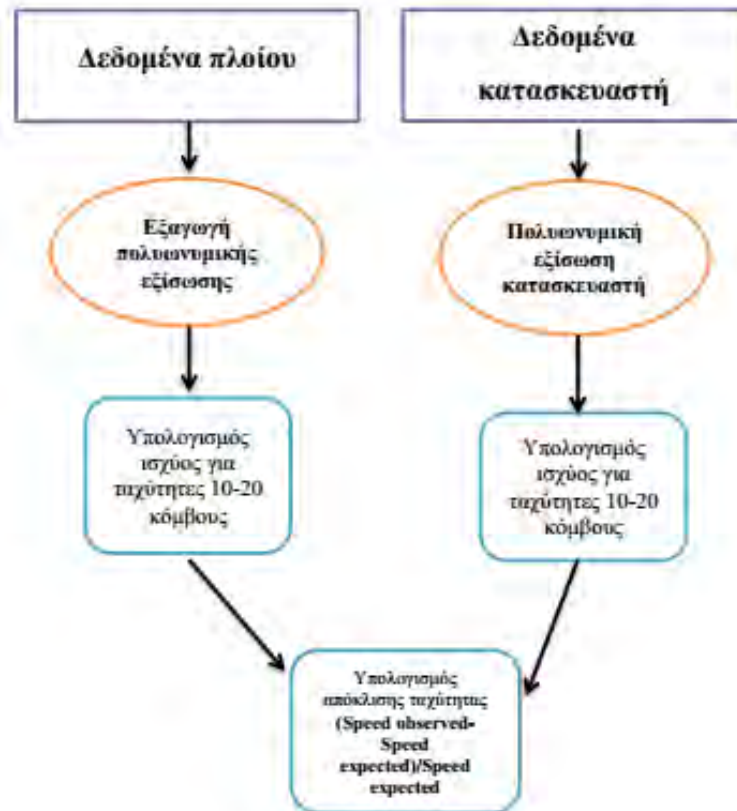
Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται με βάση την ακόλουθη εξίσωση και την Εικ.3.1:

$$\text{speed dev.} = \frac{\text{speed}_{\text{obs.}} - \text{speed}_{\text{exp.}}}{\text{speed}_{\text{exp.}}} \quad (1)$$



Εικόνα 3.1. Προσέγγιση του ISO 19030.

Με βάση την Εικ.3.1 γίνεται κατανοητό ότι για μια συγκεκριμένη ταχύτητα του πλοίου, όσο πιο μικρή η απόκλιση της τιμής της ισχύος του άξονα από την καμπύλη της αναμενόμενης ισχύος τόσο λιγότερη είναι η επιπλέον ισχύς που θα πρέπει να εφαρμοστεί. Η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται στην Εικ.3.2.



**Εικόνα 3.2. Μεθοδολογία υπολογισμού απόκλισης ταχύτητας.**

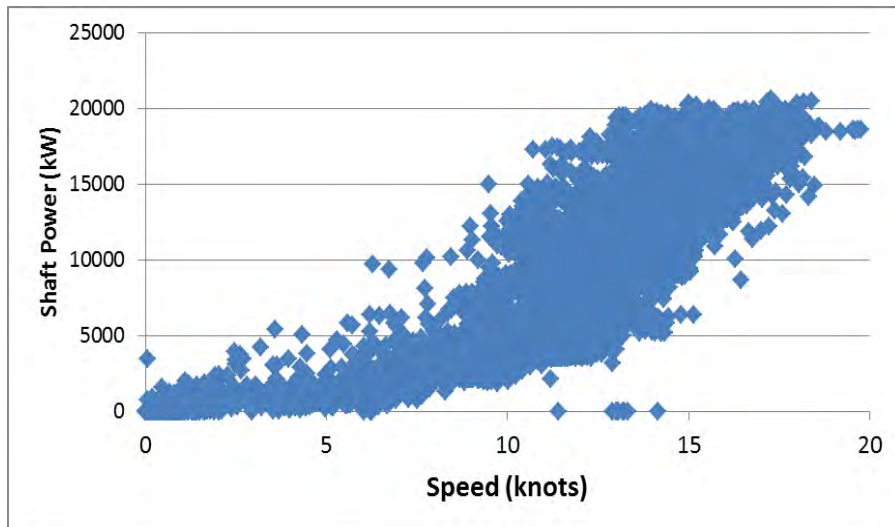
Με βάση το παράρτημα Α του ISO η ισχύς που αποδίδεται υπολογίζεται με βάση τη ροπή του άξονα, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση (2.1):

$$P_s[kW] = Q_s[kNm] \times (2\pi / 60) \times n_s[\text{min}^{-1}]$$

, όπου  $Q_s$  : ροπή άξονα

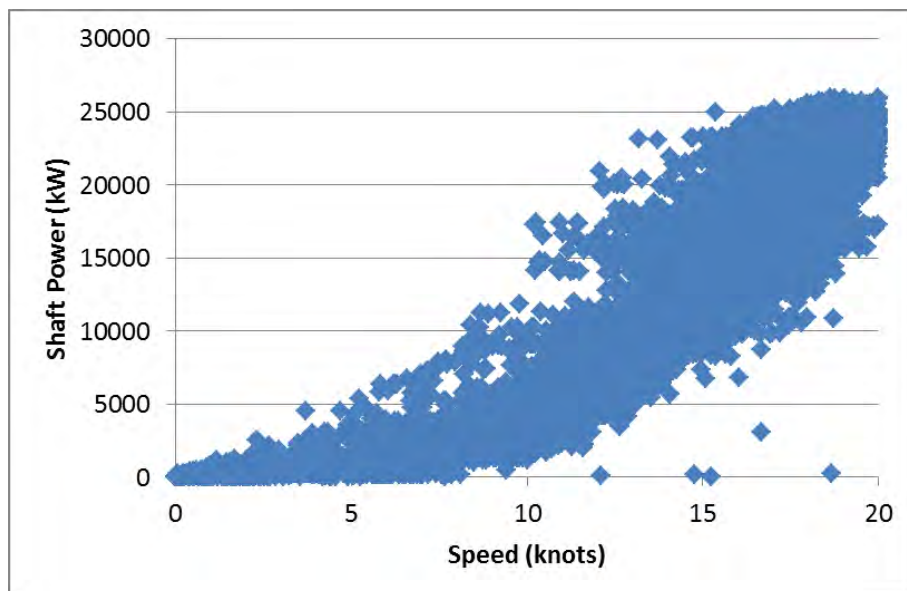
$n_s$  : στροφές άξονα

Στα Διαγράμματα 1 & 2 αντικατοπτρίζονται για τα πλοία 147& 148 και τα πλοία 137 & 45, αντίστοιχα η ισχύς από τα πραγματικά δεδομένα των πλοίων συναρτήσει της ταχύτητας των πλοίων στο νερό.



**Διάγραμμα 1. Ισχύς άξονα συναρτήσει ταχύτητας για τα πλοία 147, 148.**

Για τα πλοία 147 και 148 παρατηρείται μια αύξηση της ισχύος καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του πλοίου, με τη μέγιστη ισχύ του πλοίου να φτάνει τα 20.000kW για περίπου 20 κόμβους ταχύτητα.

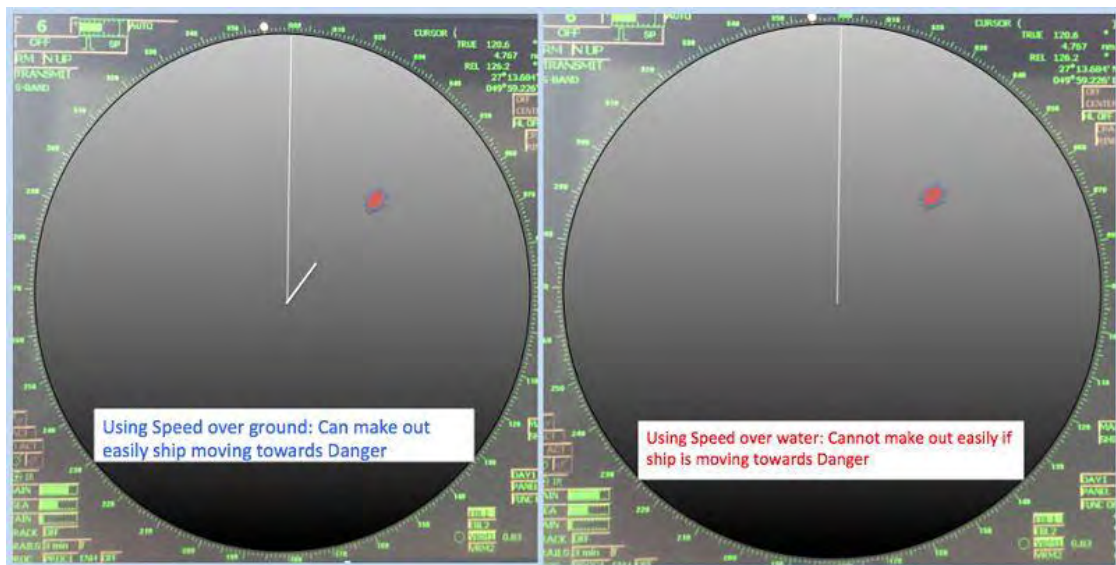


**Διάγραμμα 2. Ισχύς άξονα συναρτήσει ταχύτητας για τα πλοία 137, 45.**

Με βάση το Διάγραμμα 2 η ισχύς του άξονα για περίπου 20 κόμβους ταχύτητα είναι μεγαλύτερη, προσεγγίζοντας σχεδόν τα 25.000kW. Με βάση λοιπόν τα καταγεγραμμένα δεδομένα μπορεί να ειπωθεί ότι ο βαθμός απόδοσης της πρόωσης για τα 137, 45 είναι μικρότερος σε σύγκριση με το βαθμό απόδοσης της πρόωσης για τα 147 & 148.

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η ταχύτητα από το GPS. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί η διαφορά μεταξύ της ταχύτητας του πλοίου από το έδαφος και την ταχύτητα του πλοίου πάνω από το νερό. Γενικότερα, οι πλοηγούμενοι πρέπει να χρησιμοποιούν τόσο ταχύτητα πάνω από το νερό όσο και ταχύτητα πάνω από το έδαφος με σύνεση. Η ταχύτητα πάνω από το νερό πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για αποφυγή σύγκρουσης και όχι απαραίτητα για πλοήγηση.

Χρησιμοποιώντας την ταχύτητα πάνω από το έδαφος, ο πλοηγός έχει μεγαλύτερη επίγνωση της κατάστασης από ό, τι διαφορετικά. Για παράδειγμα, αν το πλοίο παρασύρεται προς κίνδυνο, ο πλοηγός θα το γνωρίζει καλύτερα εάν έχει ταχύτητα πάνω από το έδαφος σε ραντάρ. Αυτό συμβαίνει επειδή, με την ταχύτητα πάνω από το έδαφος, το ραντάρ θα δείξει ένα διάνυσμα που φυσικά έχει γίνει καλά (ο φορέας πρέπει να επιλεγεί ως αληθής σε αυτήν την περίπτωση).



**Εικόνα 3.3. Εκτίμηση κινδύνου κατά την πλοήγηση με χρήση (αριστερά) και μη χρήση (δεξιά).**

Όπως απεικονίζεται στην Εικ.3.3, με ταχύτητα πάνω από το νερό ο πλοηγός μπορεί να πάρει την εντύπωση ότι το πλοίο κινείται μακριά από τον κίνδυνο. Στην πραγματικότητα μπορεί να παρασύρεται προς τον κίνδυνο. Έτσι, θα πρέπει να χρησιμοποιείται η ταχύτητα εδάφους ως εργαλείο για καλύτερη πλοήγηση και αποφυγή κινδύνων.

Ο καταγραφέας ταχύτητας (log speed) δεν επηρεάζεται από κάποιο ρεύμα θαλάσσης. Για το λόγο αυτό, σε κανονική δύναμη του ανέμου, η ταχύτητα που καταγράφεται είναι πολύ κοντά στις στροφές του κινητήρα. Οι στροφές του κινητήρα

υπολογίζονται με την απόσταση του προωστήρα διαιρούμενη με το χρόνο. Η απόσταση του προωστήρα επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας την ολική περιστροφή με μια σταθερά. Αυτή η σταθερά είναι ανάλογη προς το βήμα του προωστήρα:

$$\text{Engine speed} = (\text{total revs} \times \text{constant}) / \text{time} \quad (1)$$

Σε κανονικές συνθήκες ανέμου, αυτή η ταχύτητα του κινητήρα θα είναι ίση με την ταχύτητα πάνω από το νερό (ή την ταχύτητα που προκύπτει από το ημερολόγιο). Αν συνήθως δεν είναι το ίδιο, μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα σημαντικά συμπεράσματα:

1. **Ο καταγραφέας καταγράφει λανθασμένα:** Αυτό μπορεί να είναι μια καλή ένδειξη για την καταγραφή δίνοντας ακανόνιστες αναγνώσεις. Το συμπέρασμα όμως πρέπει να επαληθευθεί και με άλλα μέσα. Αυτές περιλαμβάνουν τη σύγκριση με την ταχύτητα GPS σε ήρεμους καιρούς χωρίς ρεύμα.
2. **Απόθεση ακαθαρσιών:** Υπάρχει ένα άλλο συμπέρασμα που μπορεί να αντληθεί από τη διαφορά στην πραγματική ταχύτητα του κινητήρα και την ταχύτητα της εγγραφής. Υπάρχουν πιθανότητες το σκάφος να έχει σημαντική ποσότητα θαλάσσιας ανάπτυξης. Αυτό θα αυξήσει την αντίσταση του πλοίου και η ταχύτητα του πλοίου πάνω από το νερό θα μειωθεί σε σύγκριση με την καθαρή κύτη.

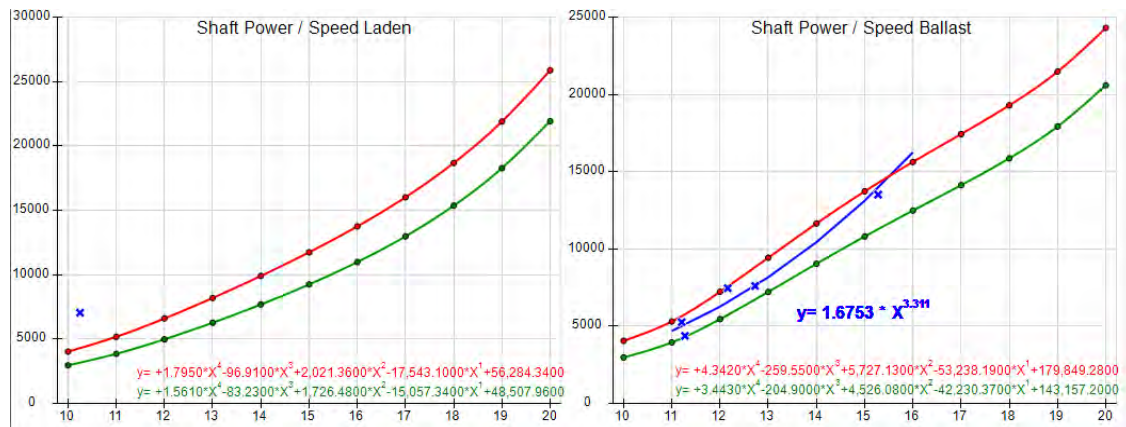
Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική διαφορά μεταξύ της ταχύτητας του κινητήρα και της ταχύτητας του κινητήρα πάνω από το νερό. Υπάρχει ένας άλλος τρόπος για να επιβεβαιωθεί αυτό. Εάν η κύτη είναι ρυπασμένη, το πλοίο μπορεί να μην είναι σε θέση να κινείται σε στροφές NCR λόγω υπερβολικής ροπής. Κατά την εκτέλεση σε NCR είναι πολύ πιθανό να χτυπήσει συναγερμός ορίου ροπής στον κινητήρα.

Συμπερασματικά λοιπόν η ταχύτητα πάνω από το νερό και η ταχύτητα πάνω από το έδαφος είναι δύο ξεχωριστά εργαλεία και δεν αντικαθιστά το ένα το άλλο. Ο πλοηγός θα πρέπει να κάνει πλήρη χρήση αυτών των ταχυτήτων, όπου αυτές ταιριάζουν καλύτερα. Για παράδειγμα, ο πλοηγός θα πρέπει να χρησιμοποιεί ταχύτητα πάνω από το νερό για αποφυγή σύγκρουσης.

Για την πλοήγηση θα πρέπει να χρησιμοποιείται ταχύτητα πάνω από το έδαφος. Χρησιμοποιώντας ταχύτητα πάνω από το νερό, ένας πλοηγός μπορεί να είναι σίγουρος για την εκτίμησή του σχετικά με την κατάστασή του. Η χρήση της ταχύτητας πάνω από το έδαφος μπορεί να δώσει πρώιμες ενδείξεις αν το πλοίο

παρασύρεται προς έναν κίνδυνο. Με βάση λοιπόν τα παραπάνω η ταχύτητα του εδάφους (GPS) είναι μεγαλύτερης ακριβείας.

Σε συνέχεια της ανάλυσης των δεδομένων για τα τέσσερα πλοία εξάγονται τα ακόλουθα Διαγράμματα τα οποία απεικονίζουν πώς μεταβάλλεται η ισχύς στον άξονα με βάση την ταχύτητα με έρμα και την ταχύτητα του πλοίου με φορτίο. Οι υπολογισμοί της ισχύος έγιναν με βάση τις καμπύλες του κατασκευαστή έτσι όπως απεικονίζεται στην Εικ.3.3.



**Εικόνα 3.4. Καμπύλες κατασκευαστή για τα πλοία 137&45.**

Όπως παρατηρείται στο Διάγραμμα 3 όταν η ταχύτητα έρματος μεταβάλλεται από 10 σε 20 κόμβους η ισχύς άξονα μεταβάλλεται από σχεδόν  $5,0 \times 10^5$  kW έως  $3,0 \times 10^6$  kW μέγιστη ισχύς. Σε αντίθεση η ισχύς άξονα με βάση την ταχύτητα φορτίου είναι πολύ μικρότερη από αυτήν που υπολογίζεται από την ταχύτητα έρματος. Πιο συγκεκριμένα μεταβάλλοντας την ταχύτητα φορτίου από 10 σε 20 κόμβους η ισχύς άξονα αυξάνεται από  $3,0 \times 10^5$  kW σε  $1,2 \times 10^6$  kW.

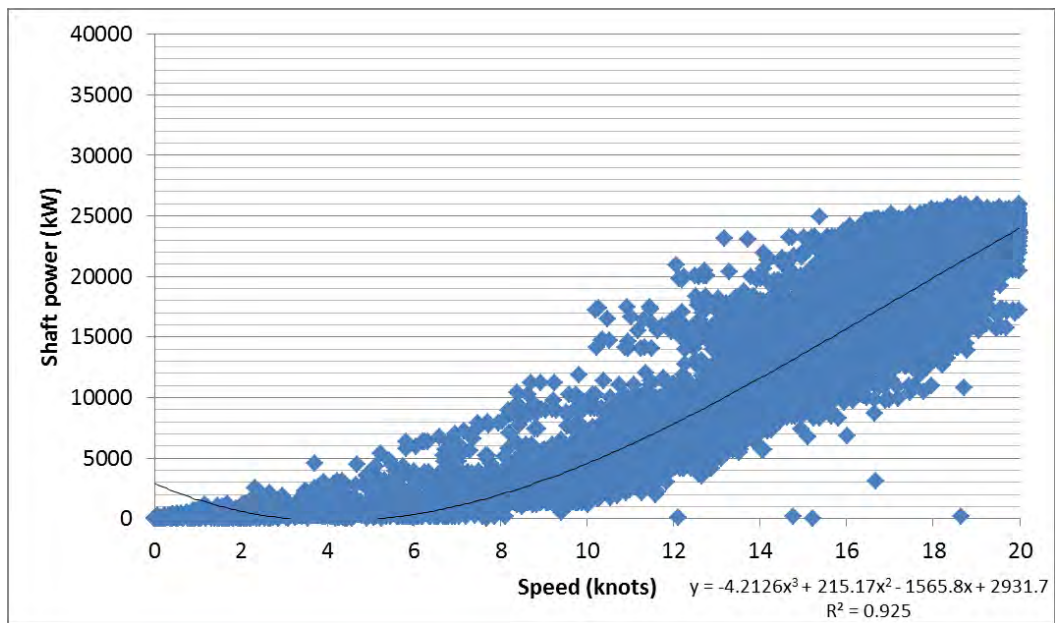




**Διάγραμμα 3. Σύγκριση καμπυλών ταχύτητας πλοίου-ισχύος άξονα στην περίπτωση φορτίου και στην περίπτωση έρματος, για το πλοίο 137.**

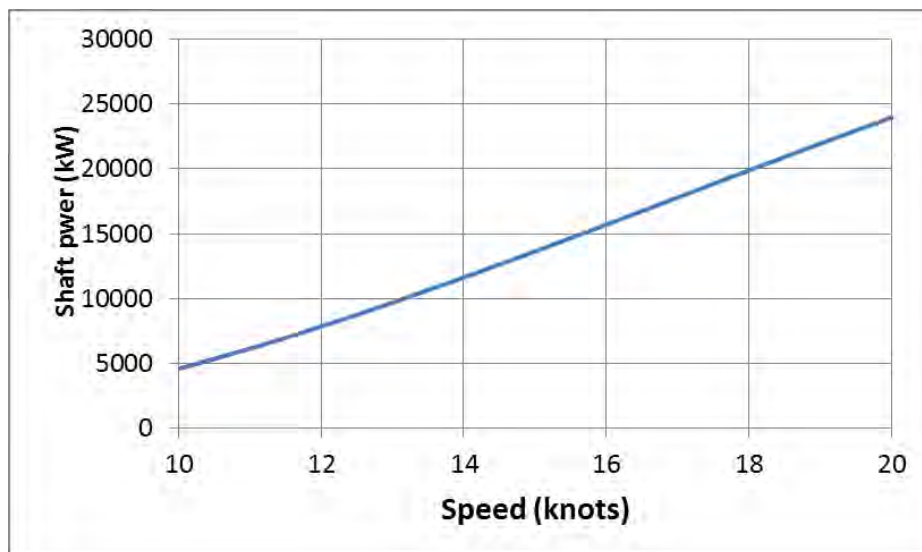
Χαρακτηριστικό είναι ότι και για τις δυο ταχύτητες όσο αυξάνεται η ταχύτητα τόσο αυξάνεται και η ισχύς του άξονα. Παρατηρείται η αύξηση να είναι πιο απότομη και έντονη στην περίπτωση ταχύτητας έρματος από ότι στην περίπτωση ταχύτητας φορτίου. Επίσης όταν το πλοίο είναι σε ταχύτητα φορτίου τότε απαιτείται μικρότερη τιμή απόκλισης από την ορθή τιμή ισχύος από ότι όταν το πλοίο είναι σε ταχύτητα έρματος.

Στο Διάγραμμα 4 δίνεται το Διάγραμμα της ισχύος άξονα με την ταχύτητα και την αντίστοιχη πολυωνυμική εξίσωση για τα πλοία 137&45, για εύρος ταχυτήτων από 10 έως 20 κόμβους.



**Διάγραμμα 4.** Διάγραμμα ισχύος άξονα-συναρτήσει ταχύτητας GPS πλοίου για τα πλοία 137 & 45 για ταχύτητα από 10 έως 20 knots με βάση την πολυωνομική εξίσωση.

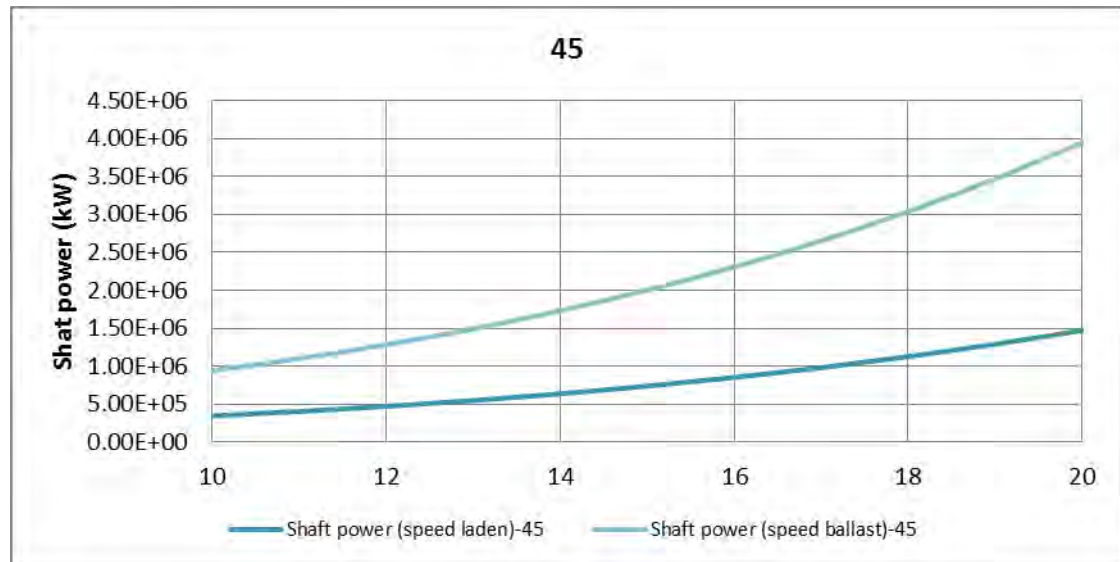
Οι αντίστοιχες τιμές έτσι όπως προκύπτουν από την εφαρμογή της πολυωνομικής εξίσωσης με βάση τα δεδομένα του Διαγράμματος 4 για συγκεκριμένες τιμές ταχύτητας από 10 έως 20 κόμβους αντικατοπτρίζονται στο Διάγραμμα 5.



**Διάγραμμα 5.** Διάγραμμα ισχύος άξονα-συναρτήσει ταχύτητας GPS πλοίου για τα πλοία 137 & 45 για ταχύτητα από 10 έως 20 knots με βάση την πολυωνομική εξίσωση.

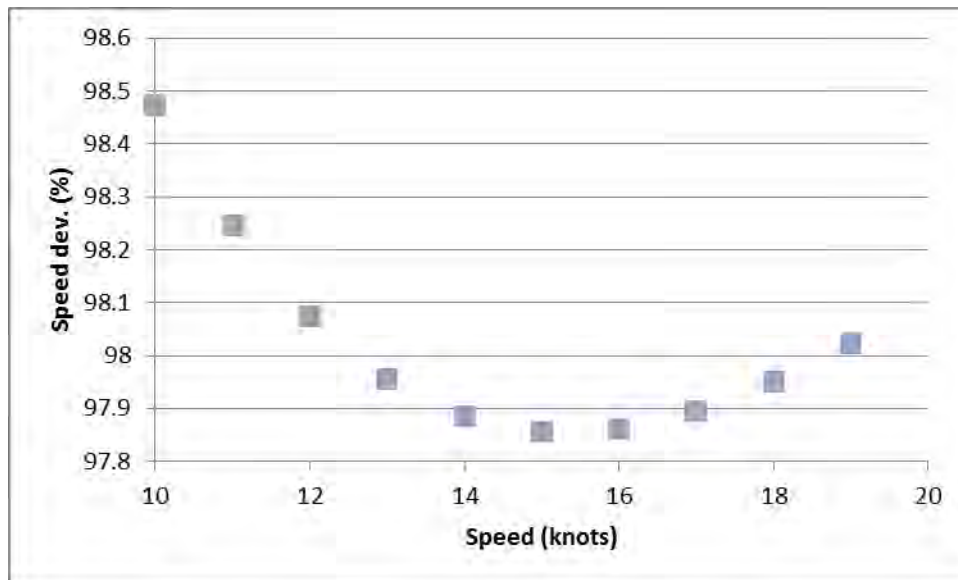


Με βάση το Διάγραμμα 6 το πλοίο 45 παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση ισχύος άξονα όσο αυξάνεται η ταχύτητα έρματος, με τη μέγιστη ισχύ στους 20 κόμβους να λαμβάνει την τιμή  $3,9 \times 10^6$  kW, δηλαδή κατά 1,0 kW παραπάνω από ότι το πλοίο 137.



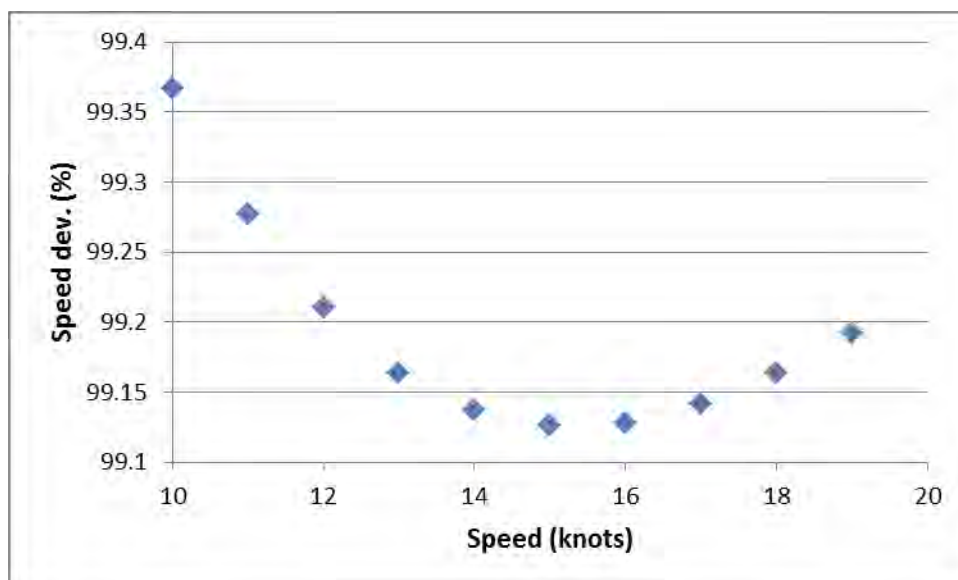
**Διάγραμμα 6. Σύγκριση καμπυλών ταχύτητας πλοίου-ισχύος άξονα από τα δεδομένα sea trials, για το πλοίο 45.**

Η απόκλιση της ταχύτητας απεικονίζεται στο Διάγραμμα 7. όσο αυξάνεται η ισχύς μέχρι τους 15 κόμβους τόσο αυξάνεται η απόκλιση των δυο ταχυτήτων, ωστόσο από τους 15 κόμβους μέχρι τους 20 παρατηρείται η απόκλιση της ταχύτητας να μειώνεται κατά 0,2%.



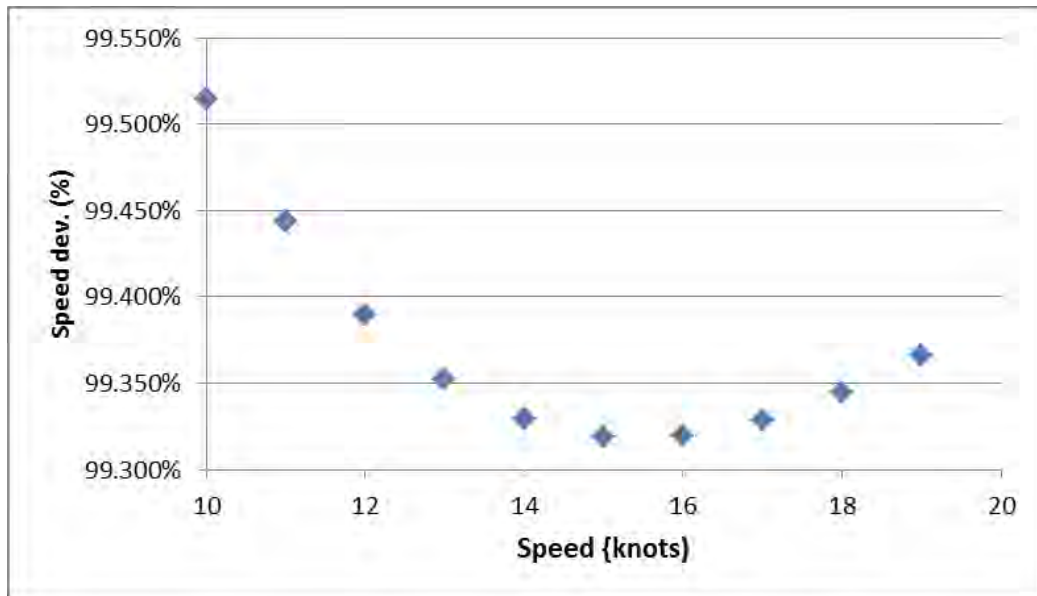
**Διάγραμμα 7. Απόλυτη τιμή απόκλισης ταχύτητας για το πλοίο 137 για ταχύτητα φορτίου.**

Γενικότερα για το πλοίο 137 η απόκλιση της ταχύτητας κυμαίνεται σχεδόν 100% για ταχύτητα 10 και 20 κόμβους, αντίστοιχα. Είτε πρόκειται για ταχύτητα έρματος ή για ταχύτητα φορτίου μπορεί να ειπωθεί ότι η απόκλιση είναι παρόμοια και προσεγγίζει σχεδόν το 100%.



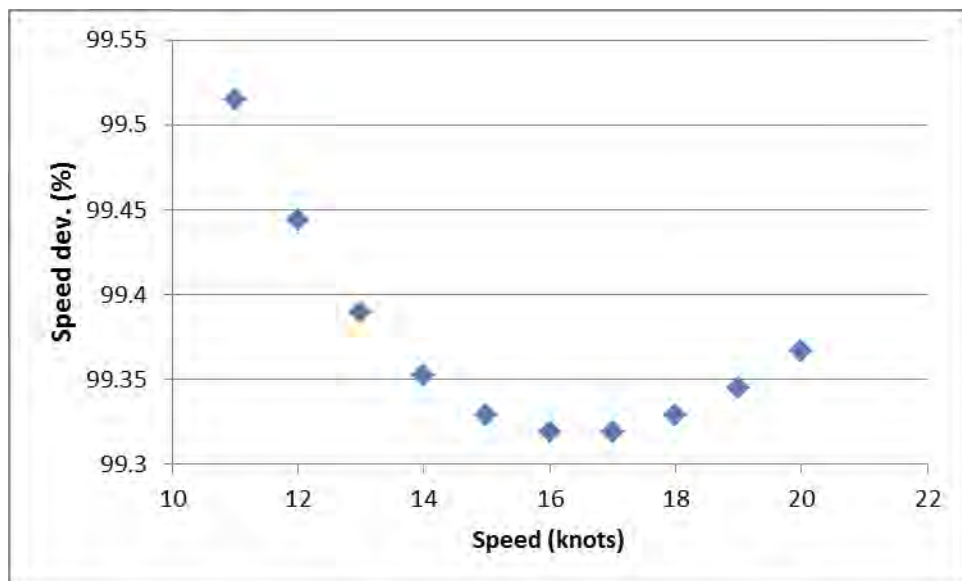
**Διάγραμμα 8. Απόλυτη τιμή απόκλισης ταχύτητας για το πλοίο 137 για ταχύτητα έρματος.**

Στο Διάγραμμα 9 απεικονίζεται η απόκλιση της ταχύτητας για το πλοίο 45 σε ταχύτητες φορτίου. Η συμπεριφορά είναι παρόμοια με αυτή του πλοίου 137, όπου παρατηρείται η ελάχιστη απόκλιση σε ταχύτητα 15 κόμβους.

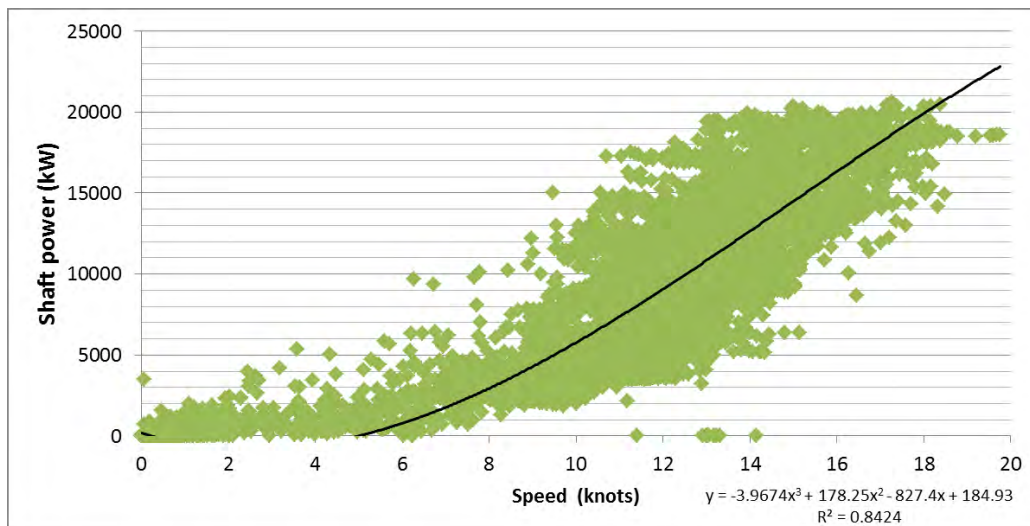


**Διάγραμμα 9.** Απόλυτη τιμή απόκλισης ταχύτητας με βάση το Διάγραμμα 4 για το πλοίο 45 για ταχύτητα φορτίου.

Στην περίπτωση του πλοίου 45 με βάση το Διάγραμμα 10 παρατηρείται η ελάχιστη απόκλιση να μετατοπίζεται στους 16 κόμβους ταχύτητας. Και σε αυτήν την περίπτωση η απόκλιση της ταχύτητας προσεγγίζει το 100%.

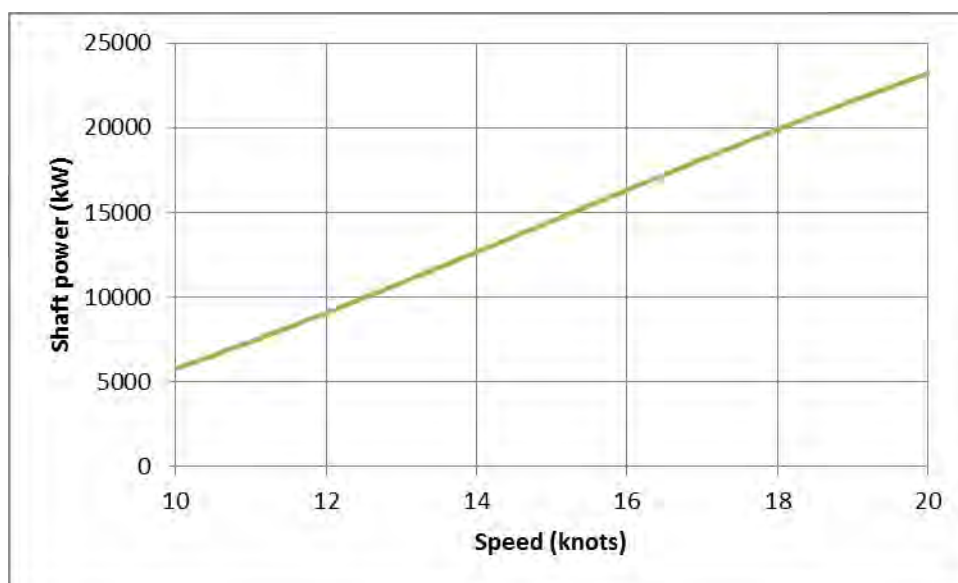


**Διάγραμμα 10.** Απόλυτη τιμή απόκλισης ταχύτητας για το πλοίο 45 για ταχύτητα έρματος.



**Διάγραμμα 11. Διάγραμμα ισχύος άξονα-συναρτήσει ταχύτητας GPS πλοίου για τα πλοία 147 & 148.**

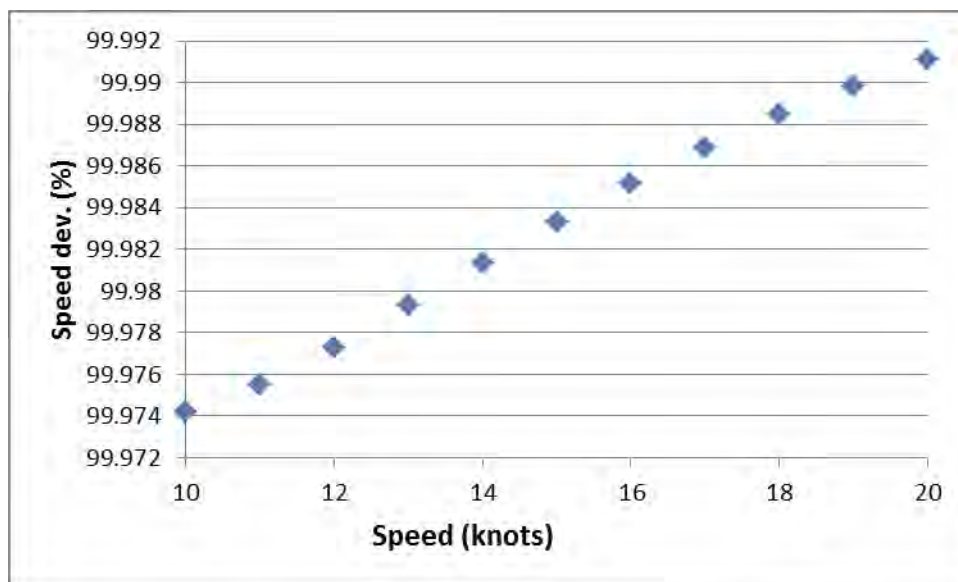
Στη συνέχεια με βάση την πολυωνυμική εξίσωση υπολογίζεται η ισχύς του άξονα για τις ίδιες ταχύτητες που δίνονται από τα δεδομένα του sea trials. Από το Διάγραμμα 11 όπου απεικονίζεται η καμπύλη της πολυωνυμικής εξίσωσης και τα δεδομένα, παρατηρείται ότι η πλειοψηφία των δεδομένων παρουσιάζει σημαντική απόκλιση από την καμπύλη.



**Διάγραμμα 12. Διάγραμμα ισχύος άξονα-συναρτήσει ταχύτητας GPS πλοίου για τα πλοία 147 & 148 για ταχύτητα από 10 έως 20 knots με βάση την πολυωνυμική εξίσωση.**

Στο Διάγραμμα 12 παρουσιάζεται η μεταβολή της ισχύος άξονα με βάση την ταχύτητα φορτίου από 10 ως 20 κόμβους με βάση την πολυωνυμική εξίσωση από τα πραγματικά δεδομένα. Τα δεδομένα για την ταχύτητα φορτίου και έρματος είναι ίδια στην περίπτωση των πλοίων 147 και 148.

Στη συνέχεια από τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί και λαμβάνοντας υπόψη την εξίσωση της απόκλισης υπολογίζεται η απόκλιση της ταχύτητας και απεικονίζεται στο Διάγραμμα 13.



**Διάγραμμα 13. Απόκλιση ταχύτητας για τα πλοία 147&148.**

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες περιπτώσεις η απόκλιση της ταχύτητας παρουσιάζει αυξητική τάση με την αύξηση της ταχύτητας. Τέλος, σε όλο το εύρος της ταχύτητας, από 10 έως 20 κόμβους η απόκλιση παραμένει σχεδόν 100%.

## 4 Συμπεράσματα

Η φθορά στις επιδόσεις της κοίτης και της έλικας μεταξύ ξηρών δεξαμενισμών αντιπροσωπεύουν το 10% (συντηρητική εκτίμηση) του παγκόσμιου κόστους καυσίμων και των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Ο στόχος του προτύπου είναι να συστήσει πρακτικές μεθόδους στη βιομηχανία για τη μέτρηση των μεταβολών στο πλοίο και στην έλικα με χρήση σε εθελοντική βάση. Η απόδοση της κοίτης και της έλικας αναφέρεται στη σχέση μεταξύ την κατάσταση του υποθαλάσσιου μέρους της κοίτης και της έλικας και της απαιτούμενης ισχύος για να μετακινηθεί το πλοίο μέσω του νερού.

Επίσης τα μέχρι σήμερα πρότυπα μέτρα αφορούν στη σχετική και όχι στην απόλυτη απόδοση. Ο στόχος λοιπόν δεν είναι η δημιουργία μεθόδων για τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κανονιστικούς σκοπούς (π.χ. μέτρηση της απόλυτης/σχετικής απόδοσης) καθώς θα ήταν πολύ δύσκολο και θα χρειαζόταν πολύ χρόνο.

Το ISO λοιπόν περιγράφει τις γενικές αρχές λειτουργίας του πλοίου και ταυτόχρονα ορίζει ένα σύνολο βασικών δεικτών απόδοσης για την κοίτη και τη συντήρηση της έλικας και επισκευή εκ των υστέρων. Ορίζει την προεπιλεγμένη μέθοδο για τη μέτρηση των μεταβολών και προτείνει τον υπολογισμό των μεταβολών με βάση δεικτών απόδοσης. Ακόμα με το νέο πρότυπο περιγράφεται η αναμενόμενη ακρίβεια των βασικών δεικτών απόδοσης. Επίσης όταν οι υπολογισμοί δεν μπορούν να γίνουν με την καθορισμένη μέθοδο το νέο πρότυπο ορίζει ένα σύνολο από εναλλακτικές μεθόδους.

Με βάση το ISO 19030 στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση της απόδοσης τεσσάρων πλοίων, ανά ζεύγη. Όλες οι τιμές των δεδομένων και των τεσσάρων πλοίων παρουσιάζουν σημαντική απόκλιση από τις τιμές ισχύος του άξονα που θα έπρεπε να είχαν θεωρητικά με βάση τους κατασκευαστές τους. Τη μεγαλύτερη απόκλιση την παρουσιάζει το ζεύγος πλοίων 147&148.

Στην περίπτωση των πλοίων 137 και 45 οι καμπύλες οι θεωρητικές με βάση το ISO δείχνουν ότι για μια συγκεκριμένη τιμή ταχύτητας του πλοίου και για μια συγκεκριμένη τιμή ισχύος του άξονα (εκτός καμπύλης) η απόκλιση θα είναι μεγαλύτερη όταν το πλοίο έχει έρμα (ταχύτητα έρματος) και λιγότερη απόκλιση όταν το πλοίο κινείται με ταχύτητα φορτίου.

## 5 Βιβλιογραφία

- [1] A. Krapp, G. Vranakis, A practical way to evaluate the in-service performance of antifouling coatings, Hull performance solutions-JotunAthens, 2013.
- [2] E. Bøckmann, S. Steen, The effect of a fixed foil on ship propulsion and motions, Proceedings of the Third International Symposium on Marine Propulsors (SMP2013), 2013, pp. 553-561.
- [3] S. Søyland, G.A. Oftedahl, ISO 19030 – Motivation, Scope and Development 2016.
- [4] M.H. Nordquist, J.N. Moore, U.V.C.O.L. Policy, Current Maritime Issues and the International Maritime Organization, Springer Netherlands, London, United Kingdom, 1999.
- [5] D. House, Dry Docking and Shipboard Maintenance: A Guide for Industry, Taylor & Francis, Canada, 2015.
- [6] J. Prpić-Oršić, O.M. Faltinsen, Estimation of ship speed loss and associated CO<sub>2</sub> emissions in a seaway, Ocean Engineering, 44 (2012) 1-10.
- [7] Air pollution and energy efficiency: A transparent and reliable hull and propeller performance standard, 2011, Clean Shipping Coalition (Csc). [http://cdn.jotun.com/images/mepc-63-4-8\\_tcm29-10265.pdf](http://cdn.jotun.com/images/mepc-63-4-8_tcm29-10265.pdf).
- [8] I.O.f. Standardization, Accuracy (trueness and Precision) of Measurement Methods and Results-Part 2: Basic Method for the Determination of Repeatability and Reproducibility of a Standard Measurement Method, International Organization for Standardization 1994.