



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ  
ΜΕΣΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ  
ΠΡΟΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΣΤΟΙΧΕΙΑ  
ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ**

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΙΧΑΗΛ Ι. ΦΩΤΕΙΝΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Ν.Π. ΚΥΡΤΑΤΟΣ  
ΜΕΛΟΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ: Γ.Κ. ΠΟΛΙΤΗΣ  
ΜΕΛΟΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ: Γ. ΠΑΠΑΛΑΜΠΡΟΥ**

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015**

*Η εργασία αυτή αφιερώνεται στους Γονείς μου*



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό, να εξετάσει την αύξηση της αντίστασης του πλοίου λόγω ρύπανσης (fouling), εστιάζοντας στην αύξηση ζήτησης ισχύος από την κύρια μηχανή του πλοίου και αφαιρώντας όλους τους άλλους παράγοντες που προκαλούν αντίσταση.

Εξετάστηκαν τέσσερα αδελφά πλοία (sister ships), Panamax Bulk Carriers, από το 2008 έως το 2015. Τα πλοία αυτά είχαν πανομοιότυπες γάστρες και ήταν εφοδιασμένα με την ίδια κύρια μηχανή, MITSUI MAN B&W 6S60MC-C, και τον ίδιο υπερπληρωτή IHI-ABB VTR564 D. Στο χρονικό διάστημα αυτό, τα πλοία πέρασαν από δεξαμενισμούς και καθαρισμούς της γάστρας και της έλικας του πλοίου.

Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, για τη διεκπεραίωση της εργασίας, αντλήθηκαν από τις Αναφορές Απόδοσης (Performance Reports) και τις Αναφορές Ημερολογίου (Noon Reports) των πλοίων στο διάστημα αυτό. Επιπλέον είχαμε στη διάθεση μας τις ημερομηνίες δεξαμενισμών και καθαρισμών της γάστρας και της έλικας του πλοίου. Η κύρια πηγή δεδομένων, ήταν τα Performance Reports, λόγω μεγαλύτερης φερεγγυότητας. Τα Noon Reports χρησιμοποιήθηκαν για την άντληση στοιχείων καιρού και ρευμάτων τα οποία δεν αναγράφονταν στα Performance Reports. Συνολικά είχαμε στη διάθεση μας 137 Performance Reports και για τα τέσσερα πλοία.

Ο υπολογισμός της ισχύος της μηχανής, για κάθε κατάσταση λειτουργίας των Performance Reports, έγινε μέσω της μοντελοποίησης της μηχανής με τη βοήθεια του κώδικα **MOTHER (MOTOR THERMODYNAMICS)**. Αρχικά, απαιτήθηκε η εισαγωγή στοιχείων στο MOTHER, σχετικά με την γεωμετρία και τη λειτουργία της μηχανής και του υπερπληρωτή. Στη συνέχεια, οι παράμετροι των μοντέλων ρυθμίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να βρίσκονται πολύ κοντά στα αντίστοιχα μεγέθη των Shop Trials και Sea Trials. Συγκεκριμένα, επετεύχθη απόκλιση μικρότερη του 5% στα αποτελέσματα των Shop Trials και μικρότερη του 3% στα αποτελέσματα των Sea Trials. Τέλος, έγινε έλεγχος του μοντέλου με ορισμένα από τα Performance Reports από τη λειτουργία των πλοίων.

Για κάθε κατάσταση λειτουργίας των Performance Reports, υπολογίστηκε η ισχύς και άλλα θερμοδυναμικά μεγέθη της μηχανής. Αναπτύχθηκε μία μεθοδολογία ώστε να απορρίπτουμε τυχόν λανθασμένες μετρήσεις των Performance Reports, και να μην τις λάβουμε υπόψη στην τελική ανάλυση. Στη συνέχεια, υπολογίζοντας τις αποδοτικότητες της προωστήριας εγκατάστασης, και γνωρίζοντας την ταχύτητα του πλοίου υπολογίζουμε τη συνολική αντίσταση του πλοίου..

Οι διορθώσεις που εφαρμόστηκαν, αφορούν την Πρόσθετη Αντίσταση Κυματισμού (Added Wave Resistance), την Αντίσταση Ανέμου (Air Resistance) και την Αντίσταση σε Ήρεμο Νερό (Calm Water Resistance). Για την Πρόσθετη Αντίσταση Κυματισμού χρησιμοποιήθηκε η εμπειρική μέθοδος STA2 και για την Αντίσταση Ανέμου η αναδρομική μέθοδος του Fujiwara et al. Και οι δύο μέθοδοι προτείνονται στην ITTC (International Towing Tank Conference) του 2012. Για την Αντίσταση σε Ήρεμο νερό επιλέχθηκε η μέθοδος FORMDATA του πανεπιστημίου της Δανίας. Όλες οι παραπάνω μέθοδοι προγραμματίστηκαν στο περιβάλλον Matlab.

Αφαιρώντας από τη συνολική αντίσταση, τις επί μέρους αντιστάσεις που αναφέραμε παραπάνω, απομονώνεται η **πρόσθετη αντίσταση λόγω ρύπανσης**. Η χρονική μελέτη της εξέλιξης του φαινομένου γίνεται μέσω δύο σταθερών:

- Τη Σταθερά της Έλικας η οποία ορίζεται ως:  $C_{BRAKE} = \frac{P_{BRAKE}}{N_{ENG}}$
- Τη Σταθερά της Αντίστασης λόγω Ρύπανσης η οποία ορίζεται ως:  $C_{FOUL} = \frac{R_{FOUL}}{V^2}$

Η μελέτη της εξέλιξης της ρύπανσης, γίνεται μέσω της εξέτασης της **χρονικής μεταβολής** των παραπάνω σταθερών, πριν και μετά από κάθε δεξαμενισμό ή καθαρισμό. Οι αναμενόμενες τάσεις-trends για τη χρονική εξέλιξη των σταθερών, οι οποίες και επαληθεύονται, είναι η σταδιακή αύξηση των σταθερών έως κάποιο καθαρισμό ή δεξαμενισμό, απότομη πτώση, και στη συνέχεια και σταδιακή αύξηση έως τον επόμενο καθαρισμό.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή ολοκληρώθηκε στο Εργαστήριο Ναυτικής Μηχανολογίας (Ε.Ν.Μ.) της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Νικόλαου Κυρτάτου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Νικόλαο Κυρτάτο που μου έδωσε την ευκαιρία, τα προγραμματιστικά εργαλεία και την καθοδήγηση ώστε να φέρω εις πέρας την διπλωματική μου εργασία. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Στράτο Τζάνο για την καθοριστική του βοήθεια στο κομμάτι της μοντελοποίησης της μηχανής στο MOTHER, καθώς και όλο το προσωπικό του εργαστηρίου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά την Safe Bulkers Inc., για την παροχή των στοιχείων χωρίς τα οποία η περάτωση της εργασίας δεν θα ήταν δυνατή. Ειδικότερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Τεχνικό Διευθυντή Δρ. Λουκά Μπαρμπαρή και τον αρχιμηχανικό κ. Κώστα Μπουριώτη.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά το οικογενειακό και φιλικό μου περιβάλλον για την ηθική τους στήριξη κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Μιχαήλ Ι. Φωτεινός  
Οκτώβριος 2015



**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>3</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>	<b>4</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....</b>	<b>5</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ .....</b>	<b>8</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....</b>	<b>9</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>10</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>14</b>
<b>2. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Ο ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Η ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....</b>	<b>18</b>
<b>3. Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ .....</b>	<b>20</b>
<b>4. Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.1 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.2 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1.4 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ FORMDATA .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2.1 ΑΝΑΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ <math>C_{AA}</math> (FUJIWARA et al.-ITTC 2012).....</b>	<b>28</b>
<b>4.3 ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΑ 2.....</b>	<b>30</b>
<b>5. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΡΩΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 ΕΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΛΙΚΑΣ .....</b>	<b>32</b>

<b>5.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΙΚΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ</b> .....	<b>33</b>
5.2.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΜΟΡΟΥ (WAKE FRACTION) $w$ .....	33
5.2.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΩΣΗΣ (THRUST DEDUCTION FACTOR) $t$ .....	34
<b>5.3 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΠΡΩΣΤΗΡΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</b> .....	<b>35</b>
5.3.1 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ-SHAFT EFFICIENCY $\eta_s$ .....	35
5.3.2 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ- RELATIVE ROTATIVE EFFICIENCY $\eta_R$ .....	36
5.3.3 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΛΙΚΑΣ ΣΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΡΟΗ-OPEN WATER PROPELLER EFFICIENCY $\eta_R$ .....	36
5.3.4 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΙΣΩ ΑΠΟ ΤΟ ΠΛΟΙΟ-BEHIND EFFICIENCY $\eta_B$ .....	36
5.3.5 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ-HULL EFFICIENCY $\eta_H$ .....	36
5.3.6 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΛΙΚΑΣ-ΠΛΟΙΟΥ-PROPULSIVE COEFFICIENT $\eta_D$ .....	37
5.3.7 ΟΛΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ -TOTAL EFFICIENCY $\eta_T$ .....	37
<b>5.4 Ο ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΕΛΙΚΑΣ</b> .....	<b>37</b>
<b>6. Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MOTHER</b> .....	<b>39</b>
6.1 ΒΑΣΙΚΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ -BASIC ENGINEERING ELEMENTS .....	40
<b>7. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΤΟ MOTHER</b> .....	<b>43</b>
7.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ .....	43
7.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΟΝΟΚΥΛΙΝΔΡΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ.....	43
7.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ SHOR TRIALS.....	44
7.3.1 ΝΟΜΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΥΡΙΑΔΩΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΕΞΑΓΩΓΗΣ .....	45
7.3.2 ΡΥΘΜΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΟΝ ΚΥΛΙΝΔΡΟ .....	47
7.3.3 ΡΥΘΜΙΣΗ ΝΟΜΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΚΤΟΣ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ.....	50
7.3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΩΝ SHOR TRIALS.....	52
7.3.5 ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΤΩΝ ΑΝΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ SHOR TRIALS.....	56
7.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ SEA TRIALS .....	57
7.4.1 ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΤΩΝ SEA TRIALS .....	58
7.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ PERFORMANCE REPORTS.....	58
<b>8. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ</b> .....	<b>60</b>
8.1 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	60
8.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ .....	60
8.3 ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ .....	64
8.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ.....	65
8.4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΑ SEA TRIALS .....	65
8.4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	71

<b>9. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>82</b>
9.1 ΣΗΜΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΛΟΙΩΝ.....	82
9.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $C_{BRAKE}$ ΚΑΙ $C_{FOUL}$ ΣΥΝ ΤΩ ΧΡΟΝΩ .....	86
9.2.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ $C_{BRAKE}$ ΚΑΙ $C_{FOUL}$ ΣΤΟ ΠΛΟΙΟ M/V VASSOS.....	86
9.2.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ $C_{BRAKE}$ ΚΑΙ $C_{FOUL}$ ΣΤΟ ΠΛΟΙΟ M/V KATERINA.....	88
9.2.3 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ $C_{BRAKE}$ ΚΑΙ $C_{FOUL}$ ΣΤΟ ΠΛΟΙΟ M/V MARITSA .....	90
9.2.4 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ $C_{BRAKE}$ ΚΑΙ $C_{FOUL}$ ΣΤΟ ΠΛΟΙΟ M/V MARIA .....	92
9.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $C_{BRAKE}$ ΚΑΙ $C_{FOUL}$ ΓΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΛΟΙΟΥ .....	93
9.3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V VASSOS ΓΙΑ $V_S=12$ KNOTS.....	93
9.3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V VASSOS ΓΙΑ $V_S=13$ KNOTS.....	94
9.3.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V VASSOS ΓΙΑ $V_S=14$ KNOTS.....	95
9.3.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V KATERINA ΓΙΑ $V_S=13$ KNOTS .....	96
9.3.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V KATERINA ΓΙΑ $V_S=15$ KNOTS .....	97
9.3.6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V MARITSA ΓΙΑ $V_S=13$ KNOTS.....	98
9.3.7 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V MARIA ΓΙΑ $V_S=13$ KNOTS.....	99
9.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	100
9.5 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	102
 <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι</b>	
<b>ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ MATLAB.....</b>	<b>103</b>
ΚΥΡΙΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ .....	103
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΡΟΜΟΜΕΤΡΟΥ ΛΟΓΩ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ .....	110
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΛΟΓΩ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ .....	111
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ $C_{AA}$ ΜΕΣΩ ΑΝΑΔΡΟΜΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ (FUJIWARA et al) .....	112
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ RWAVE ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ STA 2 .....	114
 <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ</b>	
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ <math>C_R</math> ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FORMDATA.....</b>	<b>116</b>
 <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ</b>	
<b>ΤΥΠΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ PERFORMANCE REPORT .....</b>	<b>125</b>
 <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV</b>	
<b>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟ .....</b>	<b>126</b>
 <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>131</b>

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 2.1: Απεικόνιση του πλοίου πριν και μετά τη διόρθωση των διαφόρων προσθετικών παραγόντων της αντίστασης [2] .....	15
Εικόνα 2.2: Διαμήκης τομή του πλοίου M/V VASSOS από το σχέδιο Γενικής Διάταξης.....	16
Εικόνα 2.3: Εγκάρσια τομή της μηχανής 6S60MC-C [3].....	17
Εικόνα 2.4: Εγκάρσια τομή του T/C IHI- ABB VTR564D. Με μπλε διακρίνονται οι δίοδοι για το ψυκτικό [4].....	17
Εικόνα 3.1:Εξέλιξη της ρύπανσης της γάστρας από μικρότερους σε μεγαλύτερους οργανισμούς [5].....	19
Εικόνα 3.2:Επίδραση διαφορετικών υδάτων στην εξέλιξη της ρύπανσης [9].....	19
Εικόνα 3.3:Παράγοντες που επιδρούν στη ρύπανση [9].....	19
Εικόνα 3.4:Μηχανική φθορά και ρύπανση γάστρας που οδηγούν σε πτώση της απόδοσης [5] ...	20
Εικόνα 4.1:Οριακό στρώμα και Οριακό στρώμα με αποκόλληση ροής [10] .....	23
Εικόνα 4.2:Διαφορετικές περιοχές στη ροή γύρω από τη γάστρα του πλοίου [11].....	23
Εικόνα 4.3:Σύστημα Κυματισμών που δημιουργεί ένα πλοίο κατά Kelvin [11] .....	24
Εικόνα 4.4: Συνεισφορά στον συντελεστή αντίστασης $C_w$ για αποκλίνοντες και εγκάρσιους κυματισμούς [11] .....	24
Εικόνα 4.5:Σχέση μεταξύ πραγματικής και φαινόμενης ταχύτητας ανέμου [9].....	27
Εικόνα 4.6:Παραγωγή Κυματισμών ακτινοβολίας λόγω κατακόρυφης κίνησης Heave [13] .....	29
Εικόνα 4.7:Κύματα με μήκος περίπου όσο το μήκος του πλοίου προκαλούν ισχυρές κινήσεις προνευτασμού αυξάνοντας επιπλέον την πρόσθετη αντίσταση κυματισμού [13].....	29
Εικόνα 4.8: Περιοχές όπου κυριαρχεί η πρόσθετη αντίσταση λόγω Ακτινοβολίας και Περίθλασης [13] .....	30
Εικόνα 4.9: Παραμετρική Συνάρτηση Μεταφοράς σε αρμονικούς κυματισμούς [12] .....	30
Εικόνα 5.1:Έλικες σταθερού και μεταβλητού βήματος, [14] .....	32
Εικόνα 5.2: Σχηματική αναπαράσταση αξονικού συστήματος πλοίου .....	35
Εικόνα 6.1: Μαθηματικά υπομοντέλα τα οποία περιέχει το MOTHER [17] .....	40
Εικόνα 7.1: Τα διαφορετικά configurations του Project .....	43
Εικόνα 7.2: Χρησιμοποιούμενα BEEs κατά την προσομοίωση των Shop Trials.....	44
Εικόνα 7.3: Θέση ανοίγματος και κλεισίματος της βαλβίδας Εξαγωγής [3].....	45
Εικόνα 7.4: Υπομοντέλα και πληροφορίες για τον κύλινδρο, τις θυρίδες εισαγωγής και τις βαλβίδες εξαγωγής .....	47
7.5: Επίδραση του VIT στην μέγιστη πίεση και στο Fuel Rack ( $P_{\theta}$ ) [3] .....	47
Εικόνα III.1: Τυπικό παράδειγμα ενός Performance Report.....	125



**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 2.1: Πίνακας Βασικών Διαστάσεων Πλοίου .....	16
Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά της κύριας μηχανής του Πλοίου.....	16
Πίνακας 3.1: Οικονομική και περιβαλλοντολογική επίπτωση για διάφορα ήδη ρύπανσης [8] .....	20
Πίνακας 4.1: Πίνακας Διορθώσεων του $10^3 C_R$ για το σχήμα των νομέων .....	26
Πίνακας 4.2: Διόρθωση του $C_R$ για την ύπαρξη Βολβού.....	26
Πίνακας 4.3: Υπολογισμός του $C_A$ .....	27
Πίνακας 4.4: Αδιάστατοι Συντελεστές μεθόδου Fujiwara et al. ....	28
Πίνακας 6.1: Βασικά Μηχανολογικά Στοιχεία του MOTHER [18] .....	40
Πίνακας 6.2: Πίνακας σταθερών μοντέλου Woschni-Anisits [18] .....	42
Πίνακας 7.1: Η γωνία $\alpha$ για τον υπολογισμό γωνιών ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων εξαγωγής .....	45
Πίνακας 7.2: Γωνίες ανοίγματος και κλεισίματος βαλβίδων εξαγωγής ανά κύλινδρο.....	45
Πίνακας 7.3: Τρόποι επέμβασης σε βασικά μεγέθη που υπολογίζει το MOTHER σε περίπτωση αποκλίσεων.....	51
Πίνακας 8.1: Pierson - Moskowitz Sea Spectrum vs Beaufort Force .....	61
Πίνακας 8.2: Η κλίμακα Beaufort .....	62
Πίνακας 8.3: Μέθοδοι Υπολογισμού και απαιτούμενο Input .....	62
Πίνακας 8.4: Εισαγόμενα στοιχεία στον κώδικα του Matlab .....	63
Πίνακας 8.5: Αποκλίσεις μεγεθών στα Shop Trials μεταξύ των πλοίων .....	64
Πίνακας 9.1: Μείωση της σταθεράς της έλικας και της σταθεράς της ρύπανσης μετά από κάθε καθαρισμό .....	87
Πίνακας 9.2: Μείωση της σταθεράς της έλικας και της σταθεράς αντίστασης λόγω ρύπανσης μετά από κάθε δεξαμενισμό.....	89
Πίνακας IV.1: Συγκεντρωτικός Πίνακας δεδομένων και υπολογιζόμενων μεγεθών για το πλοίο M/V VASSOS.....	127
Πίνακας IV.2: Συγκεντρωτικός Πίνακας δεδομένων και υπολογιζόμενων μεγεθών για το πλοίο M/V KATERINA.....	128
Πίνακας IV.3: Συγκεντρωτικός Πίνακας δεδομένων και υπολογιζόμενων μεγεθών για το πλοίο M/V MARIA.....	129
Πίνακας IV.4: Συγκεντρωτικός Πίνακας δεδομένων και υπολογιζόμενων μεγεθών για το πλοίο M/V MARITSA .....	130

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

Διάγραμμα 3.1: Απώλεια ταχύτητας ενός Bulk Carrier λόγω ρύπανσης [5].....	21
Διάγραμμα 4.1: Διόρθωση του $C_R$ για θέση του LCB κατά 1%L πλώρα της θέσης του $LCB_{STAND}$ .....	26
Διάγραμμα 4.2: Τιμές του $LCB_{STAND}$ συναρτήσει του αριθμού Fn.....	26
Διάγραμμα 5.1: Υπολογισμός ενός πεδίου ομόρρου για πλοίο Containership με μέθοδο CFD, όπου παρατηρείται η ανομοιομορφία του πεδίου ταχυτήτων με διαφορετικό χρωματισμό [16] ...	34
Διάγραμμα 5.2: Ροή ενέργειας στο σύστημα πρόωσης του πλοίου [8].....	35
Διάγραμμα 7.1: Σιγμοειδής καμπύλη μοντέλου Wiebe .....	44
Διάγραμμα 7.2: Ενεργή επιφάνεια βαλβίδας εξαγωγής συναρτήσει της γωνίας στροφάλου .....	46
Διάγραμμα 7.3: Ενεργή επιφάνεια θυρίδων εισαγωγής συναρτήσει της γωνίας στροφάλου .....	46
Διάγραμμα 7.4: VIT Index Συναρτήσει του φορτίου της μηχανής.....	48
Διάγραμμα 7.5: SOI(Start of Injection) συναρτήσει του VIT Index .....	48
Διάγραμμα 7.6: Παράμετρος $\alpha$ του μοντέλου καύσης WA συναρτήσει του φορτίου της μηχανής.....	49
Διάγραμμα 7.7: Παράμετρος $m$ υπολογιζόμενη με το μοντέλο καύσης WA συναρτήσει του φορτίου της μηχανής.....	49
Διάγραμμα 7.8: Διάρκεια καύσης $\Delta\theta$ σύμφωνα με το μοντέλο WA συναρτήσει του φορτίου της μηχανής .....	49
Διάγραμμα 7.9: Νόμος Ελέγχου της απόδοσης του στροβίλου συναρτήσει της παροχής αέρα .....	50
Διάγραμμα 7.10: Νόμος της πτώσης πίεσης δια μέσου του Air Cooler.....	50
Διάγραμμα 7.11: Διάγραμμα Ροής διαδικασίας μοντελοποίησης των Shop Trials.....	51
Διάγραμμα 7.12: Τα σημαντικότερα μεγέθη του κυλίνδρου συναρτήσει της γωνίας στροφάλου [ 100% της ισχύος] .....	52
Διάγραμμα 7.13: Κοινό διάγραμμα παροχής αέρα διαμέσου των βαλβίδων εξαγωγής (Y1) και των θυρίδων εισαγωγής (Y2) [100% της ισχύος].....	52
Διάγραμμα 7.14: Χάρτης συμπίεση με τα σημεία λειτουργίας του για κάθε φορτίο της μηχανής.....	53
Διάγραμμα 7.15: Μεταβολή του ποσοστού της Ισχύος πέδης συναρτήσει του φορτίου.....	54
Διάγραμμα 7.16: Μεταβολή του ποσοστού της Ισχύος μεταφερόμενης θερμότητας συναρτήσει του φορτίου.....	54
Διάγραμμα 7.17: Μεταβολή του ποσοστού της θερμικής ισχύος απορριπτόμενου αερίου συναρτήσει του φορτίου.....	54
Διάγραμμα 7.18: Μεταβολή του ποσοστού της ισχύος τριβών συναρτήσει του φορτίου .....	55
Διάγραμμα 7.19: Μεταβολή της ισχύος που χάνεται στον Air Cooler συναρτήσει του φορτίου.....	55
Διάγραμμα 7.20: Αποκλίσεις του μοντέλου για τα δεδομένα των Shop Trials.....	56
Διάγραμμα 7.21: Νόμος Ελέγχου της παραμέτρου $\alpha$ του μοντέλου WA συναρτήσει του Fuel Rack.....	57
Διάγραμμα 7.22: Αποκλίσεις του μοντέλου για τα δεδομένα των Sea Trials .....	58
7.23: Νόμος Ελέγχου της ποσότητας εγχόμενου καυσίμου συναρτήσει του Pump Mark .....	59
Διάγραμμα 7.24: Διάγραμμα ροής διαδικασίας προσομοίωσης της μηχανής στο MOTHER ανά configuration.....	59
Διάγραμμα 8.1: Σύγκριση των τιμών $P_{SCAV}-P_{BRAKE}$ που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V VASSOS).....	65

Διάγραμμα 8.2: Σύγκριση των τιμών $P_{COMP}-P_{BRAKE}$ που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V VASSOS) .....	66
Διάγραμμα 8.3: Σύγκριση των τιμών T/C RPM- $T_{TURBO INLET}$ που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V VASSOS) .....	66
Διάγραμμα 8.4: Σύγκριση των τιμών $P_{SCAV}-P_{BRAKE}$ που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V KATERINA) .....	67
Διάγραμμα 8.5: Σύγκριση των τιμών $P_{COMP}-P_{BRAKE}$ που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V KATERINA) .....	67
Διάγραμμα 8.6: Σύγκριση των τιμών T/C RPM- $T_{TURBO INLET}$ που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V KATERINA) .....	68
Διάγραμμα 8.7: Σύγκριση των τιμών $P_{SCAV}-P_{BRAKE}$ που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V MARITSA).....	68
Διάγραμμα 8.8: Σύγκριση των τιμών $P_{COMP}-P_{BRAKE}$ που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V MARITSA).....	69
Διάγραμμα 8.9: Σύγκριση των τιμών T/C RPM- $T_{TURBO INLET}$ που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V MARITSA).....	69
Διάγραμμα 8.10: Σύγκριση των τιμών $P_{SCAV}-P_{BRAKE}$ που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V MARIA) .....	70
Διάγραμμα 8.11: Σύγκριση των τιμών $P_{COMP}-P_{BRAKE}$ που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V MARIA) .....	70
Διάγραμμα 8.12: Σύγκριση των τιμών T/C RPM- $T_{TURBO INLET}$ που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V MARIA) .....	71
Διάγραμμα 8.13: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση σάρωσης $P_{SCAV}$ συν τω χρόνω (M/V VASSOS) .....	72
Διάγραμμα 8.14: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τις στροφές του T/C συν τω χρόνω (M/V VASSOS).....	72
Διάγραμμα 8.15: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τη θερμοκρασία εισόδου στο Στρόβιλο (Turbine Inlet Temperature) συν τω χρόνω (M/V VASSOS) .....	73
Διάγραμμα 8.16: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση συμπίεσης (Compression Pressure) συν τω χρόνω (M/V VASSOS) .....	73
Διάγραμμα 8.17: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την μέγιστη πίεση (Maximum Pressure) συν τω χρόνω (M/V VASSOS).....	74
Διάγραμμα 8.18: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση σάρωσης $P_{SCAV}$ συν τω χρόνω (M/V KATERINA) .....	74
Διάγραμμα 8.19: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τις στροφές του T/C συν τω χρόνω (M/V KATERINA).....	75
Διάγραμμα 8.20: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τη θερμοκρασία εισόδου στο Στρόβιλο (Turbine Inlet Temperature) συν τω χρόνω (M/V KATERINA) .....	75
Διάγραμμα 8.21: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση συμπίεσης (Compression Pressure) συν τω χρόνω (M/V KATERINA) .....	76
Διάγραμμα 8.22: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την μέγιστη πίεση (Maximum Pressure) συν τω χρόνω (M/V KATERINA).....	76
Διάγραμμα 8.23: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση σάρωσης $P_{SCAV}$ συν τω χρόνω (M/V MARITSA) .....	77
Διάγραμμα 8.24: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τις στροφές του T/C συν τω χρόνω (M/V MARITSA).....	77

Διάγραμμα 8.25: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τη θερμοκρασία εισόδου στο Στρόβιλο (Turbine Inlet Temperature) συν τω χρόνω (M/V MARITSA).....	78
Διάγραμμα 8.26: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση συμπίεσης (Compression Pressure) συν τω χρόνω (M/V MARITSA) .....	78
Διάγραμμα 8.27: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την μέγιστη πίεση (Maximum Pressure) συν τω χρόνω (M/V MARITSA) .....	79
Διάγραμμα 8.28: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση σάρωσης $P_{SCAV}$ συν τω χρόνω (M/V MARIA) .....	79
Διάγραμμα 8.29: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τις στροφές του T/C συν τω χρόνω (M/V MARITSA) .....	80
Διάγραμμα 8.30: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τη θερμοκρασία εισόδου στο Στρόβιλο (Turbine In. Temperature) συν τω χρόνω (M/V MARIA) ....	80
Διάγραμμα 8.31: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση συμπίεσης (Compression Pressure) συν τω χρόνω (M/V MARIA) .....	81
Διάγραμμα 8.32: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την μέγιστη πίεση (Maximum Pressure) συν τω χρόνω (M/V MARIA).....	81
Διάγραμμα 9.1: Διάγραμμα Φόρτισης, Καμπύλες Shop Trials, Sea Trials και σημεία λειτουργίας και το πλοίο M/V VASSOS .....	83
Διάγραμμα 9.2: Διάγραμμα Φόρτισης, Καμπύλες Shop Trials ,Sea Trials και σημεία λειτουργίας και το πλοίο M/V KATERINA .....	83
Διάγραμμα 9.3: Διάγραμμα Φόρτισης, Καμπύλες Shop Trials και Sea Trials και σημεία λειτουργίας και το πλοίο M/V MARIA .....	84
Διάγραμμα 9.4: Διάγραμμα Φόρτισης, Καμπύλες Shop Trials και Sea Trials και σημεία λειτουργίας και το πλοίο M/V MARITSA .....	84
Διάγραμμα 9.5: Μεταβολή της σταθεράς της έλικας $C_{BRAKE}$ συν τω χρόνω (M/V VASSOS) .....	86
Διάγραμμα 9.6: Μεταβολή του συντελεστή αντίστασης λόγω ρύπανσης $C_{FOUL}$ συν τω χρόνω (M/V VASSOS) .....	86
Διάγραμμα 9.7: Μεταβολή της σταθεράς της έλικας $C_{BRAKE}$ συν τω χρόνω (M/V KATERINA) ...	88
Διάγραμμα 9.8: Μεταβολή του συντελεστή αντίστασης λόγω ρύπανσης $C_{FOUL}$ συν τω χρόνω (M/V KATERINA) .....	88
Διάγραμμα 9.9: Μεταβολή της σταθεράς της έλικας $C_{BRAKE}$ συν τω χρόνω (M/V MARITSA) .....	90
Διάγραμμα 9.10: Μεταβολή του συντελεστή αντίστασης λόγω ρύπανσης $C_{FOUL}$ συν τω χρόνω (M/V MARITSA).....	90
Διάγραμμα 9.11: Μεταβολή της σταθεράς της έλικας $C_{BRAKE}$ συν τω χρόνω (M/V MARIA).....	92
Διάγραμμα 9.12: Μεταβολή του συντελεστή αντίστασης λόγω ρύπανσης $C_{FOUL}$ συν τω χρόνω (M/V MARIA) .....	92
Διάγραμμα 9.13: Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=12$ knots στο πλοίο M/V VASSOS .....	93
Διάγραμμα 9.14: Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=12$ knots στο πλοίο M/V VASSOS .....	93
Διάγραμμα 9.15: Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=13$ knots στο πλοίο M/V VASSOS .....	94
Διάγραμμα 9.16: Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=13$ knots στο πλοίο M/V VASSOS .....	94
Διάγραμμα 9.17: Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=14$ knots στο πλοίο M/V VASSOS .....	95

Διάγραμμα 9.18:Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=14$ knots στο πλοίο M/V VASSOS .....	95
Διάγραμμα 9.19:Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=13$ knots στο πλοίο M/V KATERINA .....	96
Διάγραμμα 9.20:Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=13$ knots στο πλοίο M/V KATERINA .....	96
Διάγραμμα 9.21:Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=15$ knots στο πλοίο M/V KATERINA .....	97
Διάγραμμα 9.22:Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=15$ knots στο πλοίο M/V KATERINA .....	97
Διάγραμμα 9.23:Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=13$ knots στο πλοίο M/V MARITSA.....	98
Διάγραμμα 9.24:Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=13$ knots στο πλοίο M/V MARITSA.....	98
Διάγραμμα 9.25:Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=13$ knots στο πλοίο M/V MARIA .....	99
Διάγραμμα 9.26:Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου $V_s=13$ knots στο πλοίο M/V MARIA .....	99
Διάγραμμα II.1: Τιμές του συντελεστή $10^3 \cdot C_R=f(V/L)$ για διάφορες τιμές του $C_P$ , για $L/\nabla^{1/3}=4$ [10].....	116
Διάγραμμα II.2: Τιμές του συντελεστή $10^3 \cdot C_R=f(V/L)$ για διάφορες τιμές του $C_P$ , για $L/\nabla^{1/3}=4.5$ [10].....	117
Διάγραμμα II.3: Τιμές του συντελεστή $10^3 \cdot C_R=f(V/L)$ για διάφορες τιμές του $C_P$ , για $L/\nabla^{1/3}=5$ [10].....	118
Διάγραμμα II.4: Τιμές του συντελεστή $10^3 \cdot C_R=f(V/L)$ για διάφορες τιμές του $C_P$ , για $L/\nabla^{1/3}=5.5$ [10].....	119
Διάγραμμα II.5: Τιμές του συντελεστή $10^3 \cdot C_R=f(V/L)$ για διάφορες τιμές του $C_P$ , για $L/\nabla^{1/3}=6$ [10].....	120
Διάγραμμα II.6: Τιμές του συντελεστή $10^3 \cdot C_R=f(V/L)$ για διάφορες τιμές του $C_P$ , για $L/\nabla^{1/3}=6.5$ [10].....	121
Διάγραμμα II.7: Τιμές του συντελεστή $10^3 \cdot C_R=f(V/L)$ για διάφορες τιμές του $C_P$ , για $L/\nabla^{1/3}=7$ [10].....	122
Διάγραμμα II.8: Τιμές του συντελεστή $10^3 \cdot C_R=f(V/L)$ για διάφορες τιμές του $C_P$ , για $L/\nabla^{1/3}=7.5$ [10].....	123
Διάγραμμα II.9: Τιμές του συντελεστή $10^3 \cdot C_R=f(V/L)$ για διάφορες τιμές του $C_P$ , για $L/\nabla^{1/3}=8$ [10].....	124



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Κατά την λειτουργία των πλοίων στο θαλάσσιο περιβάλλον, θαλάσσιοι οργανισμοί αναπτύσσονται στην έλικα και τη γάστρα του πλοίου. Οι οργανισμοί αυτοί, επηρεάζουν ιδιαίτερος αρνητικά την απόδοση του πλοίου, αυξάνοντας την αντίσταση του και κατ' επέκταση την κατανάλωση καυσίμου (fuel oil consumption) για πλεύση σε δεδομένη ταχύτητα.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού εφαρμόζονται ειδικές αντιρρυπαντικές βαφές, και καθαρισμοί της γάστρας και της έλικας. Ο καθαρισμός της γάστρας και της έλικας μπορεί να γίνει στο πλαίσιο ενός δεξαμενισμού ή με υποβρύχιο καθαρισμό με δύτες. Για να αποφασιστεί το χρονικό σημείο του δεξαμενισμού ή καθαρισμού της γάστρας, πρέπει πρώτα ο πλοιοκτήτης ή ο operator να έχει μία εικόνα της κατάστασης της γάστρας. Δηλαδή, να είναι σε θέση να εκτιμήσει την παραπάνω απαίτησης ισχύος από την κύρια μηχανή για πλεύση σε δεδομένη ταχύτητα λόγω της ρύπανσης. Τα δεδομένα τα οποία λαμβάνουμε από τα πλοία, είναι οι μεσημβρινές αναφορές ημερολογίου (Noon Reports) και οι αναφορές απόδοσης της κύριας μηχανής (Main Engine Performance Reports).

Τα μεγέθη τα οποία μπορούν συνδεθούν με την κατάσταση της γάστρας είναι η **παραγόμενη ισχύς στον άξονα** (αν υπάρχει ροπόμετρο στο πλοίο) και η **κατανάλωση καυσίμου** (μέσω flow meters). Αρχικά τίθενται θέματα όπως η ποιότητα και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, δηλαδή κατά πόσον οι μετρούμενες ποσότητες ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Και τα δύο μεγέθη είναι δύσκολο να μετρηθούν με μεγάλη ακρίβεια και ακόμα και σε εργαστηριακό επίπεδο υπάρχουν αποκλίσεις. Οι αποκλίσεις αυτές είναι μεγαλύτερες σε συνθήκες λειτουργίας του πλοίου, λόγω πλημμελούς συντήρησης των μετρητικών οργάνων. [1]

Το δεύτερο και σημαντικότερο θέμα, ακόμα και αν το θέμα της ακρίβειας των μετρήσεων αμεληθεί ή ξεπεραστεί, είναι η **σύγκριση ομοίων καταστάσεων λειτουργίας**. Κάθε διαδικασία λήψης αποφάσεως, προϋποθέτει τη σύγκριση μετρημένων δεδομένων με δεδομένα αναφοράς (reference data). Τα δεδομένα αναφοράς τα οποία συνήθως είναι διαθέσιμα, είναι οι καμπύλες των Shop Trials και Sea Trials. Στα Shop Trials, η μηχανή φορτίζεται με βάση την ονομαστική (nominal) καμπύλη έλικας της πέδης και στα Sea Trials η γάστρα και η έλικα είναι καθαρές και το πλοίο σε κατάσταση ερματισμού, συνεπώς η μηχανή φορτίζεται με μία πολύ ελαφριά καμπύλη. Κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου τα σημεία λειτουργίας του βρίσκονται μακριά και από τις δύο καμπύλες. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί:

- Με χρήση **Στατιστικών Δεδομένων** από πολλά πλοία τα οποία είναι εξοπλισμένα με την ίδια κύρια μηχανή και τον ίδιο υπερπληρωτή. Η δημιουργία και συντήρηση μίας τέτοιας βάσης δεδομένων είναι χρονοβόρα και κοστοβόρα διαδικασία.
- Χρήση **Θερμοδυναμικού μοντέλου** ώστε να προβλεφθεί η απόδοση της μηχανής στο συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας.

Εκτός της ρύπανσης, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν αύξηση στη ζήτηση ισχύος της μηχανής και να συμβάλουν στην ανομοιομορφία των δεδομένων. Η ζήτηση ισχύος, μπορεί να παρουσιάζεται αυξημένη λόγω πλεύσης σε θαλασσοταραχή, πλεύσης με κόντρα ρεύμα, σε ριχά νερά ή σε μεγαλύτερα βυθίσματα.

Εάν λοιπόν καταφέρουμε, **να έχουμε μία αξιόπιστη μέτρηση ισχύος της μηχανής, και απαλείψουμε όλους τους παράγοντες που προκαλούν αύξηση της αντίστασης, τότε θα καταδειχθεί η αύξηση της αντίστασης λόγω ρύπανσης**. Στη συνέχεια, σε συνδυασμό με το πρόγραμμα ναυλώσεων του πλοίου να αναπτυχθεί μία μεθοδολογία για το βέλτιστο χρονικό σημείο δεξαμενισμού ή καθαρισμού της γάστρας και της έλικας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

#### 2.1 Ο ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

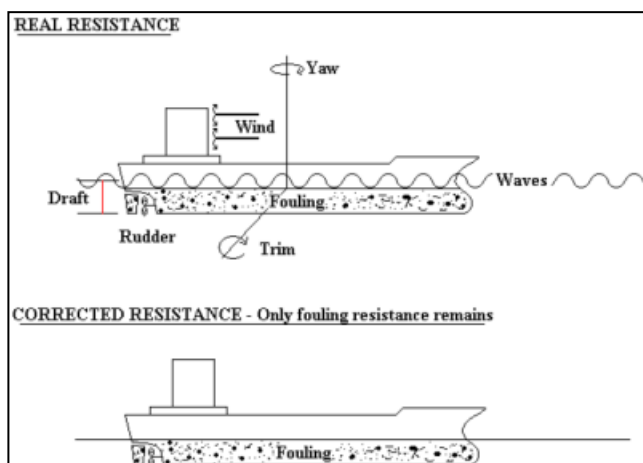
Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει μία μέθοδο **εκτίμησης** της κατάστασης της γάστρας, εστιάζοντας στην αύξηση ζήτησης ισχύος από την κύρια μηχανή λόγω ρύπανσης. Η αύξηση της αντίστασης λόγω της ρύπανσης καταδεικνύεται μέσω της αύξησης της ζητούμενης ισχύος από την κύρια μηχανή, αφαιρουμένων όλων των άλλων παραγόντων αντίστασης.

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, τα δεδομένα τα οποία λαμβάνουμε από το πλοίο είναι χαμηλής ακρίβειας. Για το λόγο αυτό, η ισχύς για κάθε κατάσταση λειτουργίας των Performance Reports, υπολογίζεται μέσω **μαθηματικού μοντέλου του κινητήρα πρόωσης** του πλοίου. Γίνεται δηλαδή μία υποκατάσταση των αμφισβητούμενων μετρήσεων, με τα αποτελέσματα ενός μοντέλου τα οποία θεωρώ πιο φερέγγυα. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι σαν δεδομένα εισόδου στο μοντέλο χρησιμοποιούνται επίσης μετρήσεις οι οποίες θεωρούνται αξιόπιστες. Η μοντελοποίηση της μηχανής έγινε με τη βοήθεια του κώδικα MOTHER. Η χρήση μαθηματικών μοντέλων για παρακολούθηση και συντήρηση, χρησιμοποιείται στην αεροπορική βιομηχανία εδώ και περίπου 20 έτη. Παρότι μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές ναυτικών μηχανών, κατά τη φάση του σχεδιασμού, δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές παρακολούθησης της κατάστασης και απόδοσης των πλοίων [1].

Για να υλοποιήσουμε τις "όμοιες" καταστάσεις πλεύσης εφαρμόζουμε διορθώσεις για τους εξωτερικούς παράγοντες οι οποίοι προκαλούν αύξηση της αντίστασης του πλοίου πλην της ρύπανσης. Πιο συγκεκριμένα, αφαιρούμε την επίδραση της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού, της αντίστασης αέρα, και της αντίστασης σε ήρεμο νερό.

Η Πρόσθετη Αντίσταση Κυματισμού υπολογίζεται μέσω της εμπειρικής μεθόδου STA 2 η οποία αναπτύχθηκε από τη MARIN και αναφέρεται ως μέθοδος υπολογισμού στην ITTC (International Towing Tank Conference) του 2012. Η Αντίσταση Ανέμου υπολογίζεται μέσω του αναδρομικού τύπου του Fujiwara et al ο οποίος επίσης αναφέρεται στην ITTC του 2012. Η αντίσταση σε ήρεμο νερό υπολογίστηκε μέσω της ημιεμπειρικής μεθόδου FORMDATA. Οι ανωτέρω μέθοδοι επιλέχθηκαν με βάση τόσο την ακρίβεια τους όσο και με την ευκολία τους να προγραμματιστούν. Όλες οι παραπάνω μέθοδοι προγραμματίστηκαν στο περιβάλλον Matlab.

Η τάση που περιμένουμε να ακολουθεί η αντίσταση λόγω ρύπανσης είναι σταδιακή αύξηση έως κάποιο καθαρισμό ή δεξαμενισμό του πλοίου, στη συνέχεια απότομη μείωση και πάλι αύξηση έως τον επόμενο δεξαμενισμό.



Εικόνα 2.1: Απεικόνιση του πλοίου πριν και μετά τη διόρθωση των διαφόρων προσθετικών παραγόντων της αντίστασης [2]

## 2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην εργασία αυτή θα εξεταστεί η εξέλιξη του φαινομένου της ρύπανσης σε τέσσερα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου (Bulk Carriers). Τα πλοία αυτά είναι αδελφά πλοία (sister ships) και είναι όλα κατασκευασμένα στο ναυπηγείο Tsuneishi της Ιαπωνίας το έτος 2004.

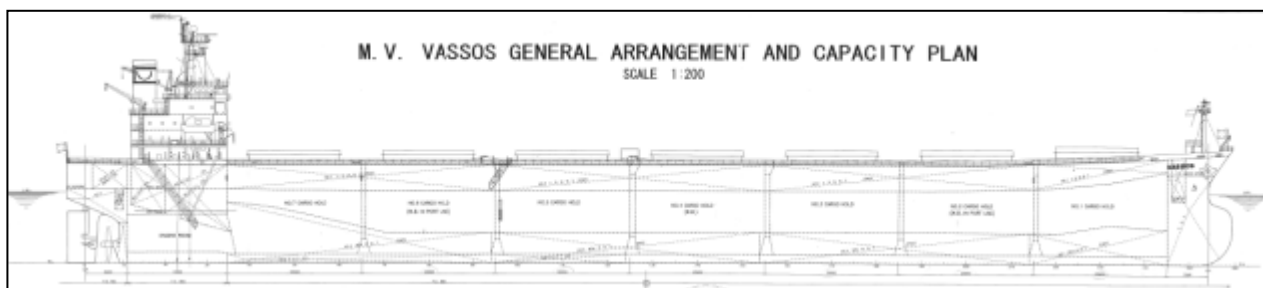
Τα ονόματα των πλοίων είναι:

- **M/V KATERINA**
- **M/V VASSOS**
- **M/V MARIA**
- **M/V MARITSA**

Οι Κύριες διαστάσεις των τεσσάρων αδελφών πλοίων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

PRINCIPAL PARTICULARS			
<b>L<sub>OA</sub></b> [m]	225	<b>DEPTH</b> [m]	19.3
<b>L<sub>BP</sub></b> [m]	217	<b>DWT<sub>13.13m</sub></b> [t]	69,893
<b>B</b> [m]	32.26	<b>DWT<sub>14.035m</sub></b> [t]	76,015
<b>T<sub>DES</sub></b> [m]	12.2	<b>V<sub>CARGO</sub></b> [m <sup>3</sup> ]	91,356.6
<b>T<sub>SCANTL</sub></b> [m]	14.035	<b>V<sub>DES</sub></b> [kn]	14.5

Πίνακας 2.1: Πίνακας Βασικών Διαστάσεων Πλοίου



Εικόνα 2.2: Διαμήκης τομή του πλοίου M/V VASSOS από το σχέδιο Γενικής Διάταξης

Τα πλοία αυτά είναι εφοδιασμένα με μία μηχανή εσωτερικής καύσης **mitsui man B&W 6S60MC-C (Mark 3)**.

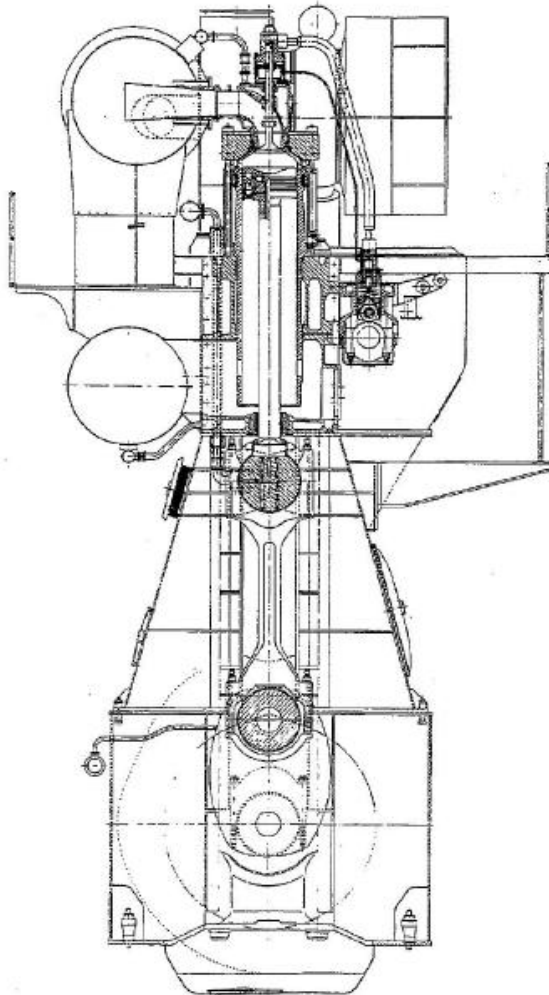
mitsui-man B&W 6S60MC (MARK 3)	
<b>NUMBER OF CYLINDERS</b>	6
<b>CYLINDER DIAM.</b>	600 mm
<b>STROKE</b>	2292 mm
<b>MCO x RPM<sub>MCO</sub></b>	8550kW(11620 PS)x80 RPM
<b>CSO x RPM<sub>CSO</sub></b>	7695kW(10460 PS) x77.2 RPM
<b>FIRING ORDER</b>	1-5-3-4-2-6
<b>MEAN PISTON SPEED AT MCO</b>	6.11 m/sec

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά της κύριας μηχανής του Πλοίου

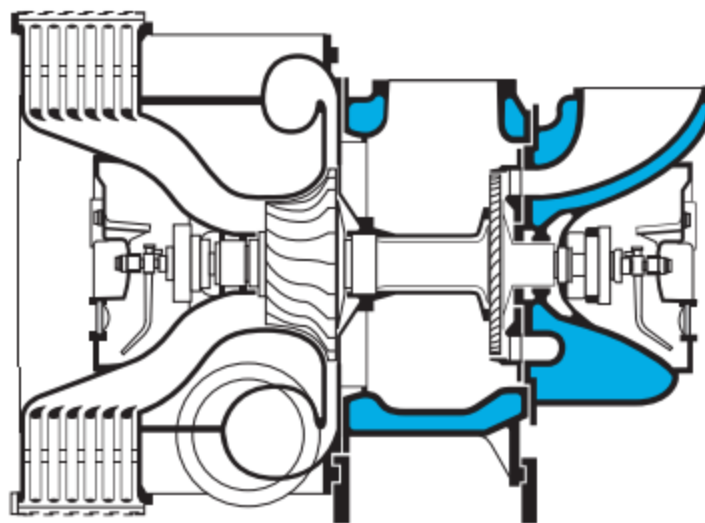
Το εγκατεστημένο Turbocharger είναι το **IHI-ABB VTR564D**.



ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ



Εικόνα 2.3: Εγκάρσια τομή της μηχανής 6S60MC-C [3]



Εικόνα 2.4: Εγκάρσια τομή του T/C IHI- ABB VTR564D. Με μπλε διακρίνονται οι δίοδοι για το ψυκτικό [4]

## 2.3 Η ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αρχικά γίνεται θεωρητική περιγραφή των εξεταζόμενων φαινομένων και στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή της μεθοδολογίας και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων της εργασίας.

Το **Κεφάλαιο 3** πραγματεύεται την εξέλιξη του φαινομένου της **ρύπανσης** της γάστρας και της έλικας και τις επιπτώσεις της στην απόδοση του πλοίου.

Το **Κεφάλαιο 4** ασχολείται με την **Αντίσταση** του πλοίου. Αρχικά, γίνεται ανάλυση των εννοιών και των διαφόρων συνιστωσών της Αντίστασης σε ήρεμο νερό. Στη συνέχεια, αναλύονται οι διάφορες μορφές πρόσθετης αντίστασης, και γίνεται ανάλυση των μεθόδων υπολογισμού τους στη συγκεκριμένη εργασία

Το **Κεφάλαιο 5** ασχολείται με την ανάλυση εννοιών σχετικές με την **Πρόωση** του πλοίου. Κατ' αρχάς, ασχολείται με την έλικα του πλοίου και τους βασικούς γεωμετρικούς συντελεστές της. Στη συνέχεια, ασχολείται, με τις συνθήκες ροής στην έλικα του πλοίου και τον ορισμό των βαθμών απόδοσης της προωστήριας εγκατάστασης ενός πλοίου.

Στο **Κεφάλαιο 6**, γίνεται περιγραφή του κώδικα προσομοίωσης μηχανών **MOTHER**. Αρχικά παρουσιάζονται οι βασικές εξισώσεις που διέπουν τη λειτουργία του και στη συνέχεια αναλύονται ορισμένα από τα μοντέλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά τη μοντελοποίηση της μηχανής.

Στο **Κεφάλαιο 7**, περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την μοντελοποίηση της μηχανής στο λογισμικό **MOTHER** και παρουσιάζονται ορισμένα αποτελέσματα της προσομοίωσης καθώς και οι αποκλίσεις του μοντέλου από τα μετρημένα μεγέθη στις δοκιμές αγοράς (Shop Trials) και στις δοκιμές θαλάσσης (Sea Trials)

Στο **Κεφάλαιο 8**, γίνεται η αναλυτική περιγραφή της ακολουθούμενης μεθοδολογίας. Αναλύεται η διαδικασία επεξεργασίας και αποκλεισμού δεδομένων και ο υπολογισμός των επιμέρους στοιχείων με τις διάφορες μεθόδους.

Στο **Κεφάλαιο 9**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας, τα συμπεράσματα που εξήχθησαν και γίνεται μία πρόταση για την κατεύθυνση των μελλοντικών εργασιών σχετικά με αυτό το θέμα.

Στο **Παράρτημα I**, παρατίθενται οι κώδικες του Matlab που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς της σταθεράς  $C_{FOUL}$ .

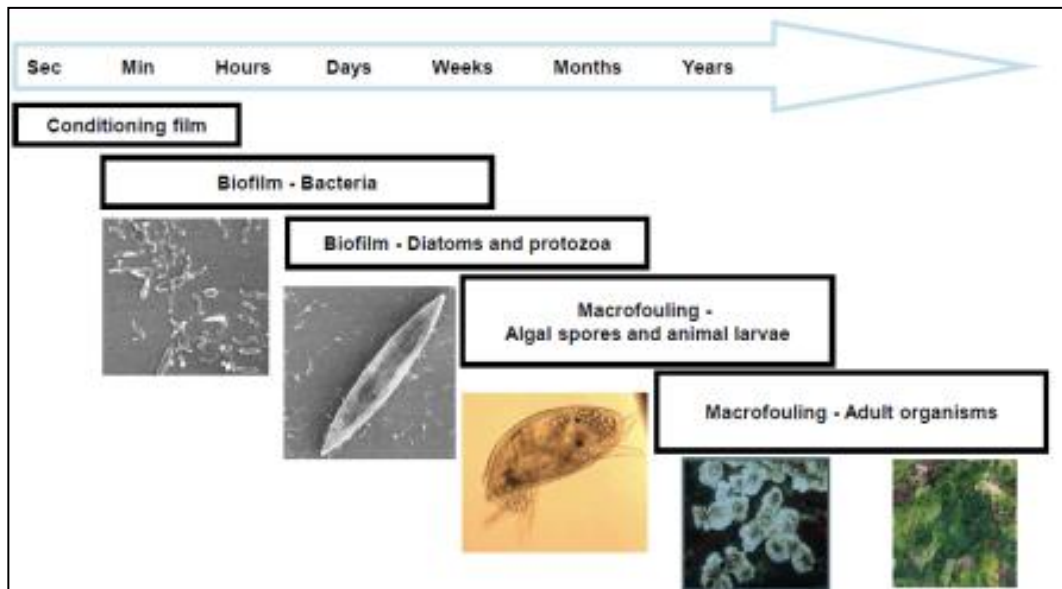
Στο **Παράρτημα II**, παρουσιάζονται τα διαγράμματα υπολογισμού του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης  $C_R$  της μεθόδου FORMDATA.

Στο **Παράρτημα III**, παρατίθεται ένα τυπικό παράδειγμα ενός Performance Report όπου φαίνονται τα δεδομένα τα οποία είχαμε στη διάθεση μας για τις προσομοιώσεις.

Στο **Παράρτημα IV**, παρατίθενται συγκεντρωτικά και σε χρονολογική σειρά για κάθε πλοίο τα δεδομένα τα οποία είχαμε στη διάθεση μας, και τα αντίστοιχα αποτελέσματα προσομοιώσεων και υπολογισμών.

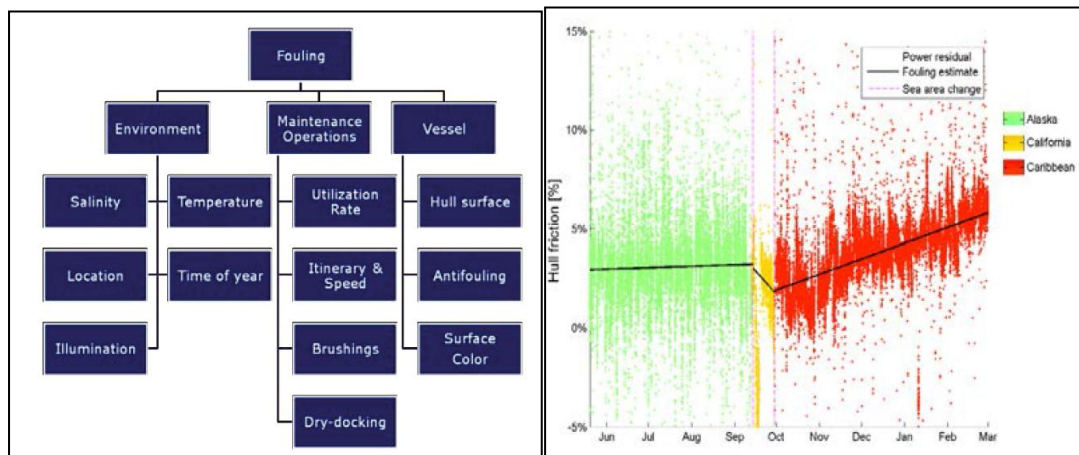
### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ

Κατά την λειτουργία του πλοίου στη θάλασσα λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της **ρύπανσης της γάστρας ή βιορύπανση (fouling-biofouling)**. Με τον όρο βιορύπανση εννοούμε την ανάπτυξη μικροοργανισμών, άλγης ακόμα και ζωικών οργανισμών στη γάστρα και την προπέλα του πλοίου. Το φαινόμενο της βιορύπανσης συμβαίνει, κυρίως σε περιοχές της γάστρας κοντά στην επιφάνεια του νερού, λόγω της ευκολότερης επαφής των οργανισμών με το ηλιακό φως. Μπορούμε να κάνουμε τον παρακάτω διαχωρισμό όσον αφορά το biofouling ανάλογα με το μέγεθος των οργανισμών σε μικρο-ρύπανση, η οποία προκαλείται από άλγη και μικρούς φυτικούς οργανισμούς, και μακρο-ρύπανση προκαλούμενη από μεγαλύτερους οργανισμούς.



Εικόνα 3.1: Εξέλιξη της ρύπανσης της γάστρας από μικρότερους σε μεγαλύτερους οργανισμούς [6]

Ο ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών αυτών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η αλατότητα και η θερμοκρασία του νερού (ευνοείται από θερμότερα νερά), η γεωγραφική θέση, το βύθισμα και ο χρόνος ακινησίας του πλοίου. Καθοριστικό ρόλο τέλος παίζει η ποιότητα της βαφής της γάστρας (coating) και ο χρόνος από την εφαρμογή της καθώς όπως είναι λογικό με την πάροδο του χρόνου η αντιρρυπαντική ικανότητα της βαφής μειώνεται.



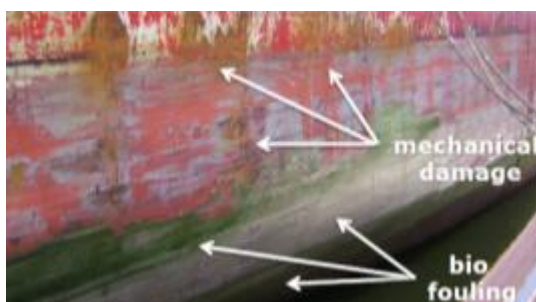
Εικόνα 3.3: Παράγοντες που επιδρούν στη ρύπανση [10]

Εικόνα 3.2: Επίδραση διαφορετικών υδάτων στην εξέλιξη της ρύπανσης [9]

### 3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Η ρύπανση της γάστρας επιδρά προσθετικά στην αντίσταση του πλοίου και μειώνει την απόδοσή του. Η μείωση της απόδοσης οφείλεται στην αύξηση της **τραχύτητας** της γάστρας. Η τραχύτητα οφείλεται αφενός στην προσκόλληση στη γάστρα θαλάσσιων οργανισμών και αφετέρου στην αύξηση της τραχύτητας του ίδιου του ελάσματος (physical roughness) λόγω διάβρωσης ή μηχανικής καταπόνησης.

Η αύξηση οφείλεται στα χαρακτηριστικά του οριακού στρώματος, τα οποία αποτελούν άμεση συνάρτηση της τραχύτητας της επιφάνειας της γάστρας. Μία επιφάνεια η οποία έχει προσβληθεί από θαλάσσιους οργανισμούς οδηγεί σε ένα παχύτερο και πιο τυρβώδες οριακό στρώμα και συνεπώς σε αυξημένη αντίσταση τριβής.



Εικόνα 3.4: Μηχανική φθορά και ρύπανση γάστρας που οδηγούν σε πτώση της απόδοσης [6]

Έχουν γίνει μελέτες με σκοπό τον ακριβή προσδιορισμό της μείωσης της αποδοτικότητας προωστήριας εγκατάστασης μεταξύ δύο δεξαμενισμών λόγω ρύπανσης και φθοράς των ελασμάτων. Η Marintek [7] κατέληξε σε μείωση αποδοτικότητας κατά περίπου 15%, η Propulsion Dynamics [8] 20% και η Jotun 20% [6]. Η επίδραση της ρύπανσης στην αποδοτικότητα εξαρτάται κυρίως από τη φύση της ρύπανσης. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ρύπανση ποικίλει από ένα λεπτό φιλμ έως μεγάλους οργανισμούς. Στον Πίν. 3.1 φαίνονται οι οικονομικές και περιβαλλοντολογικές επιδράσεις για τα διάφορα ήδη ρύπανσης στη γάστρα του πλοίου.

	Επιπλέον απαιτούμενη ισχύς άξονα (%)	Επιπλέον απαιτούμενο καύσιμο έως το 2020 (εκ. τόνοι)	Εκπομπές CO <sub>2</sub> λόγω επιπλέον καυσίμου (εκ. τόνοι)	Κόστος λόγω επιπλέον καυσίμου (δισ. \$)
Πρόσφατα εφαρμοσμένο υφαλόχρωμα	0	0	0	0
Λεπτό βιοφίλμ	9	44	134	22
Παχύ στρώμα μικροοργανισμών	19	92	279	46
Λεπτό ασβεστούχο στρώμα ρύπανσης	33	160	486	80
Μεσαίου μεγέθους ασβεστούχο στρώμα ρύπανσης	52	253	768	127
Παχύ ασβεστούχο στρώμα ρύπανσης	84	408	1238	204

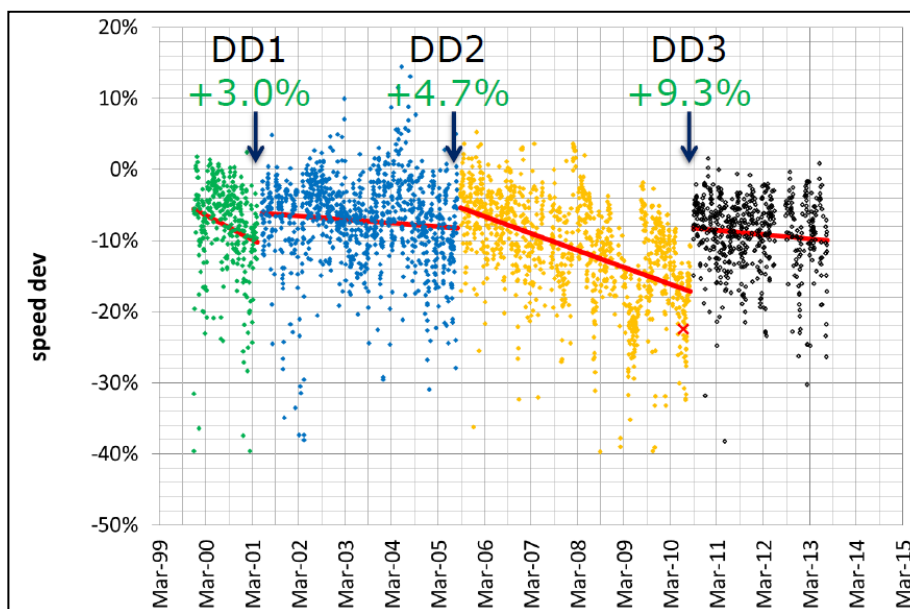
Πίνακας 3.1: Οικονομική και περιβαλλοντολογική επίπτωση για διάφορα ήδη ρύπανσης [9]

Οι παραπάνω επιδράσεις εξαρτώνται καθοριστικά από την ποιότητα και την αντοχή του υφαλοχρώματος του πλοίου. Όσο πιο γρήγορα αναπτυχθεί το κάθε είδος ρύπανσης, τόσο μεγαλύτερο θα είναι το ενεργειακό, οικονομικό και περιβαλλοντολογικό κόστος μέχρι τον επόμενο δεξαμενισμό. Επιπλέον, η αντοχή του υφαλοχρώματος εξαρτάται και από τις μηχανικές καταπονήσεις που θα δεχθεί, από τα fenders του λιμένα, ρυμουλκά, καδένες άγκυρας και άλλα. Το πλοίο βρίσκεται στην βέλτιστη κατάσταση τη στιγμή της κατέλκυσης του. Στο χρονικό σημείο εκείνο έχει την καλύτερη τραχύτητα ελασμάτων και μηδενική ρύπανση γάστρας. Θεωρητικά μετά από κάθε δεξαμενισμό η γάστρα του πλοίου επιστρέφει σχεδόν στην αρχική της κατάσταση. Μεταξύ των δεξαμενισμών, γίνονται καθαρισμοί της γάστρας ή της προπέλας που επίσης

## Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ

βελτιώνουν την κατάσταση αλλά όχι στον ίδιο βαθμό με έναν δεξαμενισμό. Κατά τον καθαρισμό σε αντίθεση με τον δεξαμενισμό δεν γίνεται εφαρμογή νέου υφαλοχρώματος ούτε αντικαθίστανται φθαρμένα ελάσματα. Αντιθέτως, υπάρχει η πιθανότητα απόξεσης του υφαλοχρώματος το οποίο να οδηγήσει σε ταχύτερη ανάπτυξη ρύπανσης και η κατάσταση της γάστρας ακόμα και χειρότερη από ότι πριν από τον δεξαμενισμό [10].

Παρακάτω φαίνεται η επίδραση της ρύπανσης στην απώλεια ταχύτητας (speed loss) ενός Bulk Carrier από το 1999 έως το 2015. Το ενδιαφέρον στο παρόν παράδειγμα είναι η χρήση τριών διαφορετικών υφαλοχρωμάτων. Παρατηρούμε ότι την καλύτερη απόδοση την έχει η βαφή με TBT (μπλε χρώμα) και τη χειρότερη το υφαλόχρωμα χωρίς κασσίτερο (tin free coating) ενώ αξιοσημείωτο είναι ότι η βαφή με βάση το Silyl έχει σχεδόν την ίδια απόδοση με το TBT.



Διάγραμμα 3.1: Απώλεια ταχύτητας ενός Bulk Carrier λόγω ρύπανσης [6]

Όπως αναλύθηκε, η ανάπτυξη ρύπανσης επιδρά στο οριακό στρώμα γύρω από το πλοίο. Η ποσοτικοποίηση της επίδρασης, όμως, του οριακού στρώματος δεν μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του πλοίου. Η τραχύτητα της επιφάνειας αποτελεί ένα μέσο ποσοτικοποίησης αυτού που ονομάζουμε **φθορά της γάστρας- hull degradation** αλλά και πάλι δεν είναι μία ποσότητα μετρήσιμη κατά τη λειτουργία του πλοίου.

Μία πρακτική θα μπορούσε να είναι η χρήση της εκσυγχρονισμένης γραμμής τριβής (friction line) της ITTC του 1978 και της αντίστοιχης **ανοχής τραχύτητας (roughness allowance)**. Αυτό ωστόσο είναι **ενδεικτικό** λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας ως προς τη γραμμή τριβής. Η αύξηση στον συντελεστή τριβής λόγω αυξημένης μέσης τραχύτητας (AHR-Average Hull Roughness) δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta C_F = 0.044 \left[ \left( \frac{AHR}{L} \right)^{\frac{1}{3}} - 10 \cdot Rn^{-\frac{1}{3}} \right] + 0.000125 \quad (3.1)$$

Το μέγεθος του AHR μπορεί να μετρηθεί από το ναυπηγείο όμως όχι σε καθημερινή λειτουργία από το πλήρωμα του πλοίου. Μπορεί να αποτελέσει ένα μέγεθος φθοράς της γάστρας σε κάθε νέο δεξαμενισμό όχι όμως ένα μέγεθος αξιολόγησης της κατάστασης της γάστρας σε καθημερινή βάση. Μελλοντικά, πιθανώς η επίδραση της ρύπανσης της γάστρας να μοντελοποιηθεί με μεθόδους CFD κάτι το οποίο προς το παρόν ακόμα δεν έχει επιτευχθεί [6].



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

### 4.1 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

Με τον όρο **Αντίσταση(Resistance)** ή **Ολική Αντίσταση  $R_T$**  ενός πλοίου εννοούμε τη δύναμη που απαιτείται για τη **ρυμούλκηση** του πλοίου σε μία δεδομένη ταχύτητα σε ήρεμο νερό. Ουσιαστικά πρόκειται για απώλεια ενέργειας του πλοίου λόγω της επαφής του με το περιβάλλον συνεκτικό ρευστό. Η αντίσταση του πλοίου σε ήρεμο νερό μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από την **Αντίσταση Συνεκτικότητας(Viscous Resistance)** και την **Αντίσταση Κυματισμού(Wave Resistance)**. Μέσω της ολικής αντίστασης  $R_T$  ορίζεται ο συντελεστής ολικής αντίστασης  $C_T$  ο οποίος ισούται με:

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2}\rho V_S^2 S} \quad (4.1)$$

#### 4.1.1 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Σε κάθε σημείο επαφής της γάστρας του πλοίου με το ρευστό, ασκείται μία στοιχειώδης δύναμη η οποία αποτελεί την συνιστώσα δύο δυνάμεων. Η μία δύναμη είναι κάθετη στην επιφάνεια του πλοίου, και οφείλεται στην **πίεση**, και η άλλη εφαπτόμενη στην επιφάνεια, και οφείλεται στη **συνεκτικότητα**. Προκύπτουν συνεπώς άμεσα δύο βασικές συνιστώσες της Αντίστασης του πλοίου λόγω των ασκούμενων δυνάμεων, η **αντίσταση τριβής και η αντίσταση πίεσης**.

Η **Αντίσταση τριβής**, είναι η συνιστώσα εκείνη η οποία παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των **εφαπτομενικών τάσεων (τάσεις συνεκτικότητας)**, και προβολή κατά τη διεύθυνση της ροής. Είναι κυρίαρχη σε χαμηλές ταχύτητες (αριθμούς Froude), και είναι συνάρτηση της βρεχόμενης επιφάνειας, της ταχύτητας, της τραχύτητας της γάστρας και της γεωμετρίας του πλοίου.

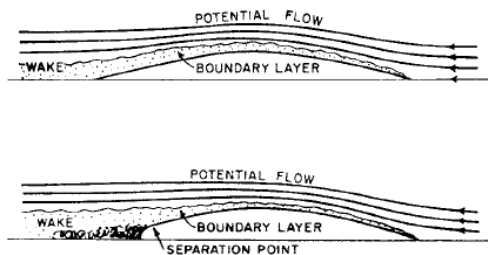
Η **Αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας**, είναι η συνιστώσα της αντίστασης που παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των κάθετων δυνάμεων (δυνάμεις πίεσης) και προβολή κατά τη διεύθυνση της ροής. Είναι συνάρτηση της βρεχόμενης επιφάνειας, της ταχύτητας και της γεωμετρίας του σώματος.

Πέραν των πιέσεων γύρω από το πλοίο, που οδηγούν σε μία δύναμη αντίστασης, υπάρχει και μία σειρά άλλων φαινομένων που επίσης παράγουν μία δύναμη αντίστασης. Τα υλικά σημεία του ρευστού, τα οποία βρίσκονται σε άμεση επαφή με την επιφάνεια του πλοίου, θα έχουν την ίδια ταχύτητα με το πλοίο  $V_S$ . Λόγω του ότι το ρευστό στο οποίο κινείται είναι **συνεκτικό** τα αμέσως επόμενα στρώματα του ρευστού θα τεθούν σε κίνηση, ίδιας κατεύθυνσης με το πλοίο.

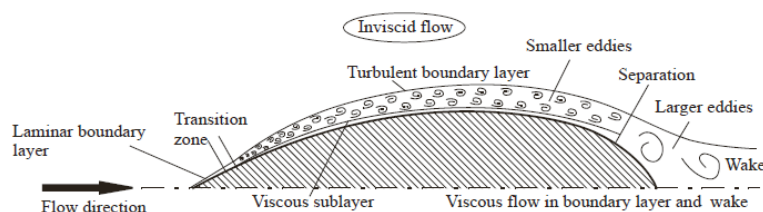
Έτσι δημιουργείται ένα **οριακό στρώμα** που γίνεται παχύτερο καθώς κινούμαστε από την πλήρη προς την πρύμνη. Εντός του οριακού στρώματος η κατανομή της ταχύτητας ξεκινά από τιμή ίση με  $V_S$  και καταλήγει στην τιμή που δίνεται από τη δυναμική ροή στο τέλος του οριακού στρώματος. Λόγω του οριακού στρώματος το μήκος και το σχήμα του σώματος διαφοροποιείται εικονικά όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4-1**.

Σαν αποτέλεσμα του παραπάνω, η πίεση στην πρύμνη μειώνεται εν συγκρίσει με την αντίστοιχη τιμή για ιδανικό ρευστό. Συνεπώς, η οριζόντια συνιστώσα της πίεσης μειώνεται και έτσι αυξάνεται η **αντίσταση πίεσης** του σώματος. Αν επιπλέον, το σώμα είναι παχύγραμμο (blunt) στο πίσω μέρος πιθανώς να υπάρξει **αποκόλληση της ροής** σε σημείο το οποίο ονομάζεται **σημείο αποκόλλησης (separation point)** μειώνοντας περαιτέρω την ολική πίεση στο πίσω τμήμα και αυξάνοντας περαιτέρω την αντίσταση πίεσης.

Η αντίσταση τριβής μαζί με την αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας (**viscous pressure resistance**) ονομάζεται και **αντίσταση συνεκτικότητας** του σώματος.



Εικόνα 4.1: Οριακό στρώμα και Οριακό στρώμα με αποκόλληση ροής [11]



Εικόνα 4.2: Διαφορετικές περιοχές στη ροή γύρω από τη γάστρα του πλοίου [12]

Στη συνέχεια, εισάγουμε το εικονικό φαινόμενο της παράλληλης συνεκτικής ροής γύρω από **επίπεδη πλάκα**, σε αριθμό Reynolds ίδιο με αυτό στον οποίο "λειτουργεί" το πλοίο. Ορίζεται έτσι, η **αντίσταση τριβής ισοδύναμης επίπεδης πλάκας (flat plate frictional resistance)**.

Η ροή μεταξύ της πλάκας και του πλοίου διαφέρει μόνο στη γεωμετρία του σώματος αφού τα 2 σώματα λειτουργούν στον ίδιο αριθμό Reynolds. Η διαφορά της αντίστασης συνεκτικότητας της γάστρας από την αντίσταση τριβής ισοδύναμης πλάκας ονομάζεται **Αντίσταση Μορφής (Form Resistance)** και συνίσταται στην επιπλέον αντίσταση λόγω της διαφορετικής γεωμετρίας της γάστρας. Η αντίσταση μορφής εξαρτάται καθοριστικά από τον τύπο της ροής (στρωτή-τυρβώδης).

Η διαφορά της αντίστασης τριβής επίπεδης πλάκας από την **Ολική Αντίσταση (Total Resistance)**, καλείται **Υπόλοιπη Αντίσταση (Residuary Resistance)**. Ομοίως με το συντελεστή ολικής αντίστασης  $C_T$  ορίζονται οι συντελεστές **Αντίστασης Τριβής**  $C_F$  και ο **Συντελεστής Υπόλοιπης Αντίστασης**  $C_R$ . Ακολούθως ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$R_{FORM} = R_{VISC} - R_{FLAT PLATE} \quad (4.2)$$

$$R_R = R_T - R_{FLAT PLATE} \quad (4.3)$$

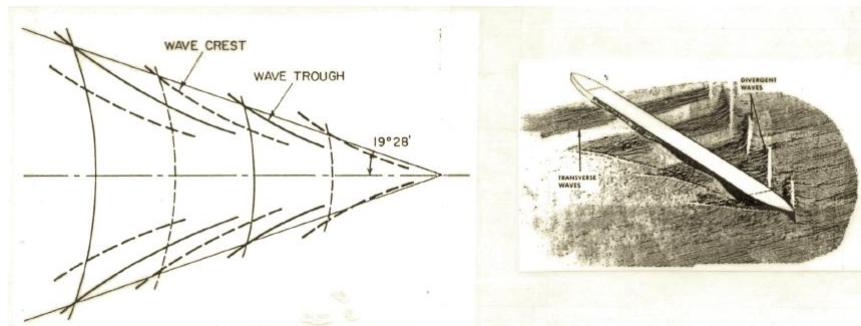
$$C_T = C_F + C_R \quad (4.4)$$

#### 4.1.2 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ένα σώμα, στην προκειμένη περίπτωση το πλοίο, το οποίο κινείται στην ελεύθερη επιφάνεια δέχεται επιπλέον την **Αντίσταση Κυματισμού**. Κατά την κίνηση του το πλοίο δημιουργεί ένα σύστημα κυματισμών (σύστημα κυματισμών Kelvin), το οποίο τροφοδοτεί με ενέργεια. Συνεπώς το πλοίο **χάνει ενέργεια** ώστε να δημιουργήσει και να συντηρεί το σύστημα κυματισμών.

Η δημιουργία του συστήματος κυματισμών τροποποιεί κυρίως τις πιέσεις στη γάστρα και δευτερευόντως τις επαπτομενικές τάσεις, κάτι το οποίο οδηγεί στον χαρακτηρισμό της αντίστασης κυματισμού ως κυρίαρχα αντίσταση πίεσης.

## Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ



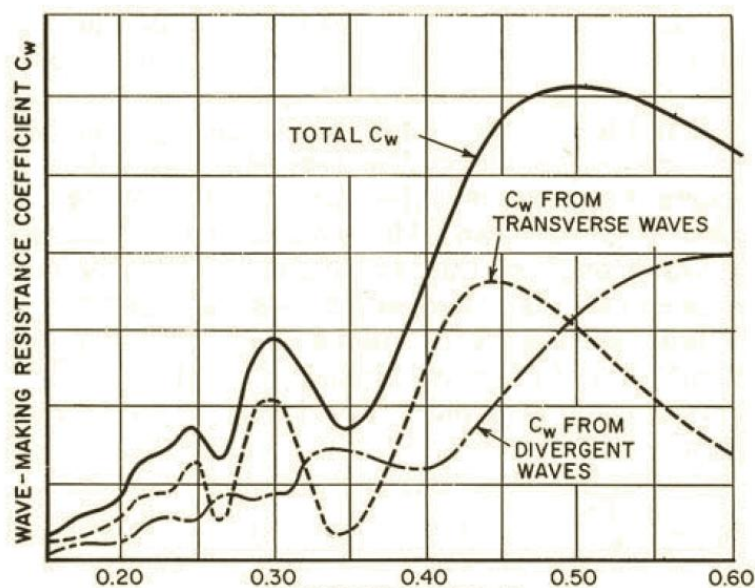
Εικόνα 4.3: Σύστημα Κυματισμών που δημιουργεί ένα πλοίο κατά Kelvin [12]

Όπως φαίνεται και παραπάνω το σύστημα κυματισμών έχει μία χαρακτηριστική μορφή. Αποτελείται από **εγκάρσιους (transverse)** και **αποκλίνοντες (divergent)** κυματισμούς. Ο συνολικός σχηματισμός των κυμάτων βρίσκεται εντός δύο ευθειών οι οποίες ως αρχή έχουν το σημείο πίεσης και σχηματίζουν γωνία  $19.28^\circ$  ως προς τη διεύθυνση κίνησης. Έως αριθμούς Froude της τάξης του 0.4 οι εγκάρσιοι κυματισμοί έχουν κύρια συνεισφορά στον συντελεστή αντίστασης κυματισμού  $C_w$  ενώ σε ανώτερους αριθμούς Froude η κύρια συνεισφορά προέρχεται από αποκλίνοντες κυματισμούς.

Ο Συντελεστής Αντίστασης Κυματισμού  $C_w$  ορίζεται ως:

$$C_w = \frac{R_w}{\frac{1}{2} \rho V^2 S} \quad (4.5)$$

Με τον όρο Αντίσταση Κυματισμού, εννοούμε τόσο την Αντίσταση σχηματισμού κυματισμών (**wave pattern resistance**) όσο και την αντίσταση θραύσεως κυματισμού (**wave breaking resistance**). Η δεύτερη συνιστώσα, αφορά κυρίως παχύγραμμες μορφές γάστρας (όπως μεγάλα Bulk Carriers, Tankers κλπ). Σε χαμηλές ταχύτητες, η Αντίσταση Κυματισμού είναι μικρή και εξαρτάται κυρίως από τη μορφή της ισάλου στην πλώρη, δηλαδή τη γωνία εισόδου. Σε υψηλές ταχύτητες, μεταβάλλεται περίπου με το τετράγωνο του εκτόπισματος, και η μορφή της γάστρας είναι σχετικά ασήμαντη, ενώ μεγαλύτερο ρόλο παίζει το εκτόπισμα ανά δεδομένο μήκος.



Εικόνα 4.4: Συνεισφορά στον συντελεστή αντίστασης  $C_w$  για αποκλίνοντες και εγκάρσιους κυματισμούς [12]



#### 4.1.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

Οι κύριες συνιστώσες της **Συνολικής Αντίστασης (Total Resistance)** είναι:

- **Η Αντίσταση Τριβής (Friction Resistance)**, η οποία παράγεται με ολοκλήρωση των εφαπτομενικών τάσεων συνεκτικότητας στην επιφάνεια της γάστρας. Είναι κυρίαρχη σε χαμηλές ταχύτητες και είναι συνάρτηση της βρεχόμενης επιφάνειας, της ταχύτητας, της τραχύτητας και της γεωμετρίας του σώματος. Διαιρείται σε δύο επί μέρους συνιστώσες, **την αντίσταση τριβής επίπεδης πλάκας** και την **αντίσταση μορφής** που αποτελεί κομμάτι της υπόλοιπης αντίστασης.
- **Η Αντίσταση Πίεσης λόγω συνεκτικότητας (Viscous Pressure Resistance)**, η οποία παράγεται με ολοκλήρωση των κάθετων δυνάμεων πίεσης στην επιφάνεια της γάστρας. Είναι συνάρτηση της βρεχόμενης επιφάνειας, της ταχύτητας και της γεωμετρίας του σώματος και αποτελεί μέρος της υπόλοιπης αντίστασης.
- **Η Αντίσταση Κυματισμού (Wave Resistance)**, είναι κυρίαρχη σε υψηλότερες ταχύτητες και είναι συνάρτηση της μορφής της γάστρας και της ταχύτητας του πλοίου. Αποτελεί κομμάτι της υπόλοιπης αντίστασης, και είναι κυρίαρχα αντίσταση πίεσης.

#### 4.1.4 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ FORMDATA

Η μέθοδος **FORMDATA** αναπτύχθηκε το 1974 από το Πολυτεχνείο της Δανίας. Κατά την ανάπτυξη της έγινε προσπάθεια συνδυασμού αποτελεσμάτων προηγούμενων συστηματικών σειρών υπολογισμού αντίστασης σε ήρεμο νερό. Τα αποτελέσματα έχουν ταξινομηθεί, με βάση το λόγο μήκους εκτοπίσματος  $\frac{L}{\nabla^{1/3}}$  και τον πρισματικό συντελεστή του πλοίου  $C_R$ . Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα και την ταχύτητα του πλοίου υπολογίζουμε τις τιμές του συντελεστή **υπόλοιπης αντίστασης  $C_R$**  από τα διαγράμματα του **Παρητήματος II**.

Οι καμπύλες αυτές αντιστοιχούν σε πλοία που έχουν πρότυπη μορφή, δηλαδή πρότυπο LCB, πρότυπη τιμή  $\frac{B}{T}$ , κανονικά σχήματα εγκαρσίων τομών, πρύμνη καταδρομικού και πλήρη χωρίς βολβό. Για πλοία τα οποία διαφέρουν από την πρότυπη μορφή, γίνονται οι παρακάτω διορθώσεις στον υπολογισμό του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης  $C_R$ .

##### 4.1.4.1 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ $C_R$ ΓΙΑ ΛΟΓΩ ΠΛΑΤΟΥΣ ΠΡΟΣ ΒΥΘΙΣΜΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΤΟΥ STANDARD

Για τιμές  $B/T$  διαφορετικές της πρότυπης η διόρθωση του  $C_R$  δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$10^3 C_R = 10^3 C_{R_{\frac{B}{T}=2.5}} + 0.16 \cdot \left( \frac{B}{T} - 2.5 \right) \quad (4.6)$$

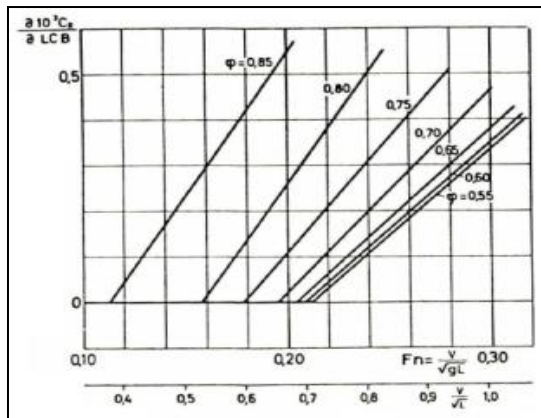
##### 4.1.4.2 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ $C_R$ ΓΙΑ $LCB$ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΤΟΥ STANDARD

Στο **Διάγραμμα 4-2** δίνεται η πρότυπη θέση του  $LCB_{STANDARD}$  συναρτήσει του αριθμού Froude. Για θέση του LCB πιο πέρα από το  $LCB_{STANDARD}$  προκύπτει η διορθωμένη του  $C_R$  από την σχέση:

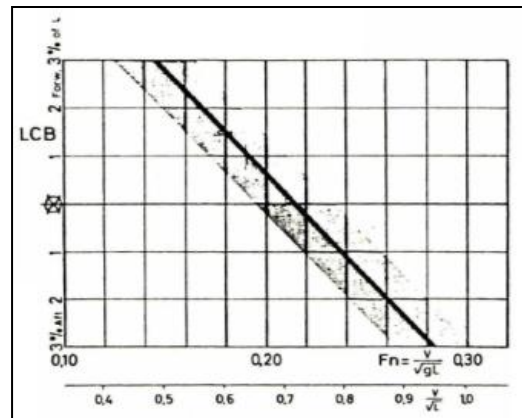
$$10^3 C_R = 10^3 C_{R_{STANDARD}} + \frac{\theta 10^3}{\theta LCB} |\Delta LCB| \quad (4.7)$$

Όπου  $\Delta LCB = LCB - LCB_{STANDARD}$  (LCB σε % μήκους ισάλου  $L_{WL}$ ) και ο παράγοντας  $\frac{\theta 10^3}{\theta LCB}$  βρίσκεται από το **Διάγραμμα 4-1** σαν συνάρτηση του αριθμού Fr. Για θέση του LCB πιο πέρα από το  $LCB_{STANDARD}$  δε γίνεται καμία διόρθωση.

## Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ



Διάγραμμα 4.2: Τιμές του  $LCB_{STAND}$  συναρτήσει του αριθμού  $Fn$



Διάγραμμα 4.1: Διόρθωση του  $C_R$  για θέση του  $LCB$  κατά  $1\%L$  πλώρα της θέσης του  $LCB_{STAND}$

### 4.1.4.3 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ $C_R$ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ

Σε περίπτωση σχημάτων εγκαρσίων τομών υπερβολικά U ή V γίνονται διορθώσεις στο  $10^3 \cdot C_R$ , για αριθμούς Froude 0.2-0.25 όπως στον Πίνακα 4.1.

	Υπερβολικά U	Υπερβολικά V
Πρωραίο τμήμα	-0.1	+0.1
Πρυμναίο τμήμα	+0.1	-0.1

Πίνακας 4.1: Πίνακας Διορθώσεων του  $10^3 C_R$  για το σχήμα των νομέων

Σε περίπτωση ύπαρξης βολβού στην πλώρη, με  $\frac{A_{BT}}{A_X} \geq 0.1$  όπου  $A_{BT}$  είναι το εμβαδόν επιφανείας βολβού στην πρωραία κάθετη και  $A_X$  το εμβαδόν μέσης τομής, η τιμή του  $10^3 C_R$  διορθώνεται ως ακολούθως:

$C_p \backslash F_n$	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.3	0.33	0.36
0.5	-	-	+0.2	0	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4
0.6	-	-	+0.2	0	-0.2	-0.3	-0.3	-
0.7	-	0.2	0	-0.2	-0.3	-0.3	-	-
0.8	+0.1	0	-0.2	-	-	-	-	-

Πίνακας 4.2: Διόρθωση του  $C_R$  για την ύπαρξη Βολβού

### 4.1.4.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΡΙΒΗΣ

Για τον καθορισμό της αντίστασης τριβής χρησιμοποιήθηκε η γραμμή της ITTC του 1957. Συνεπώς το  $C_F$  προκύπτει από τη σχέση (4.8).

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2} \quad (4.8)$$

### 4.1.4.4 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΡΙΒΗΣ ΛΟΓΩ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΩΝ

Η διόρθωση του  $C_F$  για τα παρελκόμενα γίνεται με προσαύξηση του ανάλογα με τη βρεχόμενη επιφάνεια των παρελκόμενων. Η βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου λαμβάνεται από το Stability Booklet ή από τη σχέση του Mumford για συνήθη εμπορικά πλοία (4.10).

$$C'_F = C_F \cdot \frac{S + S_{app}}{S} \quad (4.9)$$

$$S = 1.025 \cdot L_{BP} (C_B \cdot B + 1.7 \cdot T) \quad (4.10)$$

## Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

### 4.1.4.5 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ

Ο  $C_F$  που βρίσκεται από τη σχέση (4.8), πρέπει να διορθωθεί για τις επιδράσεις τραχύτητας και της κλίμακας με τον συντελεστή συσχέτισης  $C_A$  ο οποίος δίνεται από τον **Πίνακα 4.3**.

$L_{WL}$ (m)	$10^3 C_A$
$\leq 100$	0.4
150	0.2
200	0
250	-0.2
$\geq 300$	-0.3

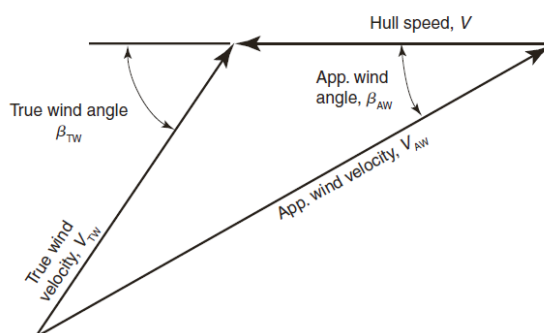
Πίνακας 4.3: Υπολογισμός του  $C_A$

## 4.2 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ

Ως **Αντίσταση Ανέμου** ορίζουμε την αντίσταση που δέχεται το πλοίο, λόγω της σχετικής ταχύτητας του ανέμου και του εκτεθειμένου στον αέρα πλοίου. Η συνιστώσα αυτή της αντίστασης εξαρτάται από την ταχύτητα του πλοίου, το εμβαδόν και το σχήμα υπερκατασκευών και της γάστρας που βρίσκεται εκτός του νερού, και την ταχύτητα και τη διεύθυνση του πνέοντος ανέμου. Η αντίσταση ανέμου υπολογίζεται μέσω της σχέσης (4.11).

$$R_{AA} = \frac{1}{2} \cdot \rho_A \cdot V_{WR}^2 \cdot C_{AA}(\beta_{WR}) \cdot A_{XV} \quad (4.11)$$

Στην παραπάνω εξίσωση,  $C_{AA}$  είναι ο **Συντελεστής Αντίστασης Ανέμου**,  $A_{XV}$  είναι η μέγιστη εγκάρσια εκτεθειμένη επιφάνεια και  $V_{WR}$  είναι η **φαινόμενη ταχύτητα ανέμου (apparent wind speed)**. Για να ορίσουμε τη σχετική ταχύτητα ανέμου πρέπει πρώτα να ορίσουμε την **πραγματική ταχύτητα ανέμου (true wind speed)  $\vec{V}_{TW}$** , η οποία είναι η ταχύτητα ανέμου που θα έπνεε εάν δεν υπήρχε το πλοίο. Το διάνυσμα  $\vec{V}_{WR}$  ισούται με τη διαφορά του  $\vec{V}_{TW}$  με το διάνυσμα πλεύσης του πλοίου  $\vec{V}_S$ .



Εικόνα 4.5: Σχέση μεταξύ πραγματικής και φαινόμενης ταχύτητας ανέμου [12]

$$\vec{V}_{WR} = \vec{V}_{TW} - \vec{V}_S \quad (4.12)$$

Το μέτρο του  $\vec{V}_{WR}$  ισούται με:

$$V_{WR} = \sqrt{V_{TW}^2 + V_S^2 + 2 \cdot V_S \cdot V_{TW} \cdot \cos(\beta_{TW})} \quad (4.13)$$

Και η γωνία  $\beta_{WR}$ , μεταξύ του  $V_{TW}$  και του  $V_S$ :

$$\beta_{WR} = \text{atan} \left( \frac{V_{TW} \cdot \sin \beta_{TW}}{V + V_{TW} \cdot \cos \beta_{TW}} \right) \quad (4.14)$$

## Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Ο υπολογισμός του  $C_{AA}$ , γίνεται με πειράματα σε αεροσύραγγα, με χρήση δεδομένων από πειράματα (**Blenderman ,1990**) ή με χρήση κάποιας αναδρομικής μεθόδου . Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η αναδρομική σχέση του **Fujiwara et al.** όπως προτείνεται στην [13]

### 4.2.1 ΑΝΑΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ $C_{AA}$ (FUJIWARA et al.-ITTC 2012)

Στην παρούσα εργασία, είχαμε στη διάθεση μας όλα τα στοιχεία για τον υπολογισμό της  $R_{AA}$  μέσω της εξίσωσης (4.15) πλην του  $C_{AA}$ . Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιήθηκε η αναδρομική μέθοδος του Fujiwara et al. όπως προτάθηκε από την ITTC του 2012. Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του  $C_{AA}$  παρατίθεται παρακάτω [13].

$$C_{AA} = C_{LF} \cos(\beta_{WR}) + C_{XLI} \left( \sin\beta_{WR} - \frac{1}{2} \sin\beta_{WR} \cos^2 \beta_{WR} \right) \cdot \sin \beta_{WR} \cdot \cos\beta_{WR} + C_{ALF} \cdot \sin\beta_{WR} \cdot \cos^3 \beta_{WR} \quad (4.15)$$

Οι συντελεστές για τον υπολογισμό του  $C_{AA}$  :  $C_{LF}$ ,  $C_{XLI}$ ,  $C_{ALF}$  δίνονται συναρτήσει της γωνίας διεύθυνσης  $\beta_{WR}$ .

$$Av \ 0^\circ \leq \beta_{WR} < 90^\circ$$

$$C_{LF} = b_{10} + b_{11} \frac{A_{YV}}{L_{OA}B} + b_{12} \frac{C_{MC}}{L_{OA}} \quad (4.16)$$

$$C_{XLI} = d_{10} + d_{11} \frac{A_{YV}}{L_{OA}H_{BR}} + d_{12} \frac{A_{XV}}{BH_{BR}} \quad (4.17)$$

$$C_{ALF} = e_{10} + e_{11} \frac{A_{OD}}{A_{YV}} + \frac{e_{12}B}{L_{OA}} \quad (4.18)$$

$$Av \ 90^\circ < \beta_{WR} \leq 180^\circ$$

$$C_{LF} = b_{20} + b_{21} \frac{B}{L_{OA}} + b_{22} \frac{H_C}{L_{OA}} + b_{23} \frac{A_{OD}}{L_{OA}^2} + b_{24} \frac{A_{XV}}{B^2} \quad (4.19)$$

$$C_{XLI} = d_{20} + d_{21} \frac{A_{YV}}{L_{OA}H_{BR}} + d_{22} \frac{A_{XV}}{A_{YV}} + d_{23} \frac{B}{L_{OA}} + d_{24} \frac{A_{XV}}{BH_{BR}} \quad (4.20)$$

$$C_{ALF} = e_{20} + e_{21} \frac{A_{OD}}{A_{YV}} \quad (4.21)$$

$$Av \ \beta_{WR} = 90^\circ$$

$$C_{AA}|_{\psi_{WR}=90^\circ} = \frac{1}{2} (C_{AA}|_{\psi_{WR}=90^\circ-\mu} + C_{AA}|_{\psi_{WR}=90^\circ+\mu}) \quad (4.22)$$

$A_{OD}$ : Πλευρική προβεβλημένη επιφάνεια υπερκατασκευών

$A_{XV}$ : Μέγιστη εγκάρσια επιφάνεια που εκτίθεται στον άνεμο

$A_{YV}$ : Προβεβλημένη πλευρική επιφάνεια άνωθεν της ισάλου

$H_{BR}$ : Ύψος έως την κορυφή των υπερκατασκευών

$H_C$ : Ύψος από την ισάλο έως το κέντρο επιφανείας της  $A_{YV}$

$\mu$ : Γωνία εξομάλυνσης ίση με  $10^\circ$

Οι αδιάστατοι συντελεστές  $b_{ij}$ ,  $d_{ij}$ ,  $e_{ij}$  παρατίθενται στον **Πίνακα 4-5**.

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

Πίνακας 4.4: Αδιάστατοι Συντελεστές μεθόδου Fujiwara et al.

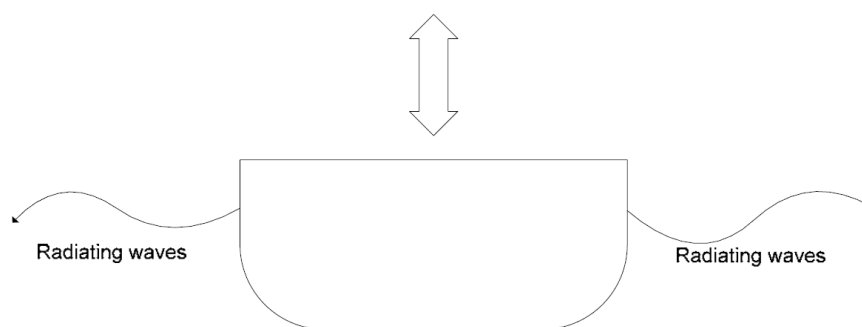


### 4.3 ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

Όλη η παραπάνω ανάλυση αφορούσε την αντίσταση του πλοίου **σε ήρεμο νερό**. Όπως, ωστόσο είναι ευνόητο, η παραπάνω κατάσταση είναι **ιδεατή**, και το πλοίο σπανίως θα τη συναντήσει κατά τη διάρκεια της ζωής του. Αντιθέτως, τα πλοία πλέουν σε ανοιχτές θάλασσες στις οποίες αναπτύσσονται ανεμογενείς κυματισμοί, οι οποίοι προκαλούν σημαντική αύξηση της αντίστασης του πλοίου.

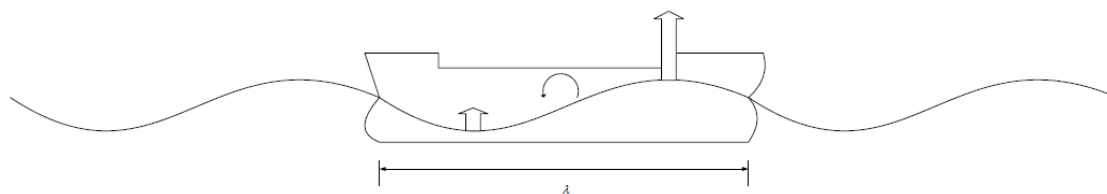
Τα φορτία που οδηγούν στη δημιουργία της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού, προέρχονται από την παραγωγή κυματισμών από το ίδιο το πλοίο, **είτε λόγω περίθλασης είτε λόγω ακτινοβολίας**.

Οι κυματισμοί περίθλασης προκύπτουν από την ανάκλαση των προσπίπτοντων κυματισμών και οι κυματισμοί ακτινοβολίας (Εικόνα 4.6) προκαλούνται λόγω της σχετική κίνησης πλοίου και ελεύθερης επιφάνειας. Το φαινόμενο της περίθλασης, είναι κυρίαρχο για μήκη κύματος μικρά εν σχέση με το πλοίο, καθώς για τέτοια μήκη κύματος σχεδόν όλο το κύμα ανακλάται. Το φαινόμενο της ακτινοβολίας, συναντάται για μήκη κύματος τα οποία προκαλούν την κίνηση heave στο πλοίο, η οποία δημιουργεί τους ακτινοβολούμενους κυματισμούς. Η ακτινοβολία είναι **μηδενική** για πολύ μικρά κύματα, τα οποία αδυνατούν να προκαλέσουν κάθετη κίνηση στο πλοίο όπως επίσης και για πολύ μεγάλα ( $\omega \rightarrow 0$ ).



Εικόνα 4.6: Παραγωγή Κυματισμών ακτινοβολίας λόγω κατακόρυφης κίνησης Heave [14]

Η **μέγιστη** πρόσθετη αντίσταση κυματισμού προκύπτει για μήκος κύματος περίπου ίσα με το μήκος του πλοίου, (Εικόνα 4.7) λόγω της μεγάλης επίδρασης του προνευτασμού στην παραγωγή κυματισμών λόγω ακτινοβολίας σε τέτοια μήκη κύματος (Εικόνα 4.8).

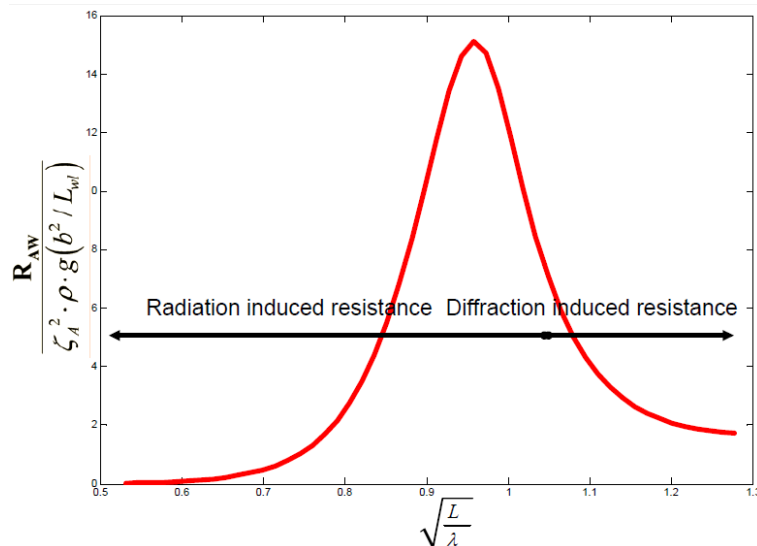


Εικόνα 4.7: Κύματα με μήκος περίπου όσο το μήκος του πλοίου προκαλούν ισχυρές κινήσεις προνευτασμού αυξάνοντας επιπλέον την πρόσθετη αντίσταση κυματισμού [14]

Στα περισσότερα διαγράμματα χρησιμοποιείται η **αδιαστατοποιημένη** πρόσθετη αντίσταση κυματισμού με την ακόλουθη έκφραση:

$$R_{aw} = \frac{R_{AW}}{\zeta_A^2 \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{B^2}{LWL}} \quad (4.23)$$

Όπου,  $R_{AW}$  είναι η δύναμη πρόσθετης αντίστασης κυματισμού και  $\zeta_A$  το πλάτος κυματισμού (wave amplitude).

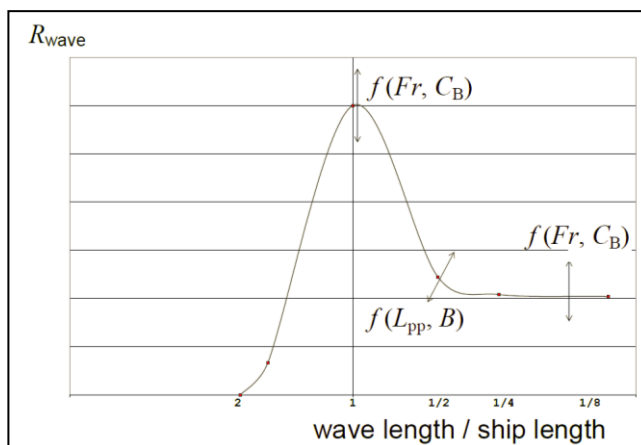


Εικόνα 4.8: Περιοχές όπου κυριαρχεί η πρόσθετη αντίσταση λόγω Ακτινοβολίας και Περίθλασης [14]

4.3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ STA 2

Η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού μπορεί να υπολογιστεί με τη διενέργεια πειραμάτων με μοντέλα, με υπολογιστικές μεθόδους CFD ή με χρήση εμπειρικών μεθόδων. Στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε με την εμπειρική μέθοδο **STA 2** η οποία προτείνεται στην ITTC 2012

Η **STA 2** [13] αποτελεί μία εμπειρική μέθοδο η οποία αναπτύχθηκε ώστε να προσεγγιστεί η συνάρτηση μεταφοράς της πρόσθετης αντίστασης κυματισμοί χρησιμοποιώντας κύριες παραμέτρους του πλοίου όπως οι βασικές διαστάσεις και η ταχύτητα του πλοίου (Εικόνα 4.9).



Εικόνα 4.9: Παραμετρική Συνάρτηση Μεταφοράς σε αρμονικούς κυματισμούς [13]

Η εμπειρική αυτή μέθοδος καλύπτει τόσο την **πρόσθετη αντίσταση λόγω ανάκλασης (Resistance Increase due to Wave Reflection)  $R_{AWR}$** , όσο και την **πρόσθετη αντίσταση λόγω κινήσεων του πλοίου (Motion Induced Added Wave Resistance)  $R_{AWM}$** .

Η πρόσθετη αντίσταση λόγω κινήσεων  $R_{AWM}$  δίνεται από τη σχέση του Mauro:

$$R_{AWM} = 4 \cdot \rho \cdot g \cdot \zeta_A^2 \cdot \left(\frac{B^2}{L_{BP}}\right) \cdot \overline{raW}(\omega) \tag{4.24}$$

Όπου:

$$\overline{raW}(\omega) = \bar{\omega}^{b_1} \cdot e^{\left[\frac{b_1}{a_1} \cdot (1 - \bar{\omega}^{a_1})\right]} \cdot a_1 \cdot Fn^{1.5} \cdot e^{-3.5 \cdot Fn} \tag{4.25}$$

## Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

$$\bar{\omega} = \frac{\sqrt{\frac{L_{BP}}{g}} \cdot \sqrt[3]{k_{yy}}}{1.17 \cdot Fn^{-0.143}} \cdot \omega \quad (4.26)$$

$$a_1 = 60.3 \cdot C_B^{1.34} \quad (4.27)$$

$$b_1 = \begin{cases} 11, & \bar{\omega} < 1 \\ -8.5, & \bar{\omega} \geq 1 \end{cases} \quad (4.28)$$

$$d_1 = \begin{cases} 14, & \bar{\omega} < 1 \\ -566 \left(\frac{L_{BP}}{B}\right)^{-2.66}, & \bar{\omega} \geq 1 \end{cases} \quad (4.29)$$

$k_{yy}$ :αδιάστατη εγκάρσια ακτίνα αδράνειας (radius of gyration) ,  $k_{yy}=25\% L_{BP}$  [12].  
Η πρόσθετη αντίσταση λόγω ανάκλασης κυματισμών  $R_{AWR}$ .

$$R_{AWR} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot \zeta_A^2 \cdot B \cdot \alpha_1 \quad (4.30)$$

Όπου:

$$\alpha_1 = \frac{\pi^2 I_1^2 (1.5kT_M)}{\pi^2 I_1^2 (1.5kT_M) + K_1^2 (1.5kT_M)} f_1 \quad (4.31)$$

$$f_1 = 0.692 \left(\frac{V_S}{\sqrt{T_M \cdot g}}\right)^{0.769} + 1.81 \cdot C_B^{6.95} \quad (4.32)$$

Στη συνέχεια, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την πρόσθετη αντίσταση κυματισμού σε αρμονικούς κυματισμούς ως:

$$R_{WAVE} = R_{AWM} + R_{AWR} \quad (4.33)$$

Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί και για τον υπολογισμό της πρόσθετης αντίστασης σε μη αρμονικούς κυματισμούς (irregular waves) ως εξής:

$$R_{AWL} = 2 \int_0^\infty \frac{R_{WAVE}}{\zeta_A^2} S_f(\omega) d(\omega) \quad (4.34)$$

Όπου,  $S_f(\omega)$  είναι το φάσμα συχνότητας Pierson-Moskowitz το οποίο δίνεται από τη σχέση:

$$S_f(\omega) = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} e^{-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega p}{\omega}\right)^4} \quad (4.35)$$

Όπου,  $\alpha$  είναι αδιάστατη παράμετρος,  $\alpha = 8.1 \cdot 10^{-3}$  και:

$$\omega_p = 0.4013 \sqrt{\frac{g}{H^{1/3}}} \quad (4.36)$$

$$T_p = 15.6571 \left(\frac{g}{H^{1/3}}\right)^{-1/2} \quad (4.37)$$

Η εμπειρική μέθοδος STA 2 έχει τους παρακάτω περιορισμούς:

1.  $75 < L_{BP} < 350$
2.  $4 < \frac{L_{BP}}{B} < 9$
3.  $2.2 < \frac{B}{T} < 5.5$
4.  $0.1 < Fn < 0.3$
5. Διεύθυνση προσπίπτοντων κυματισμών ως προς την πλώρη: από 0 έως  $\pm 45^\circ$



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΡΩΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

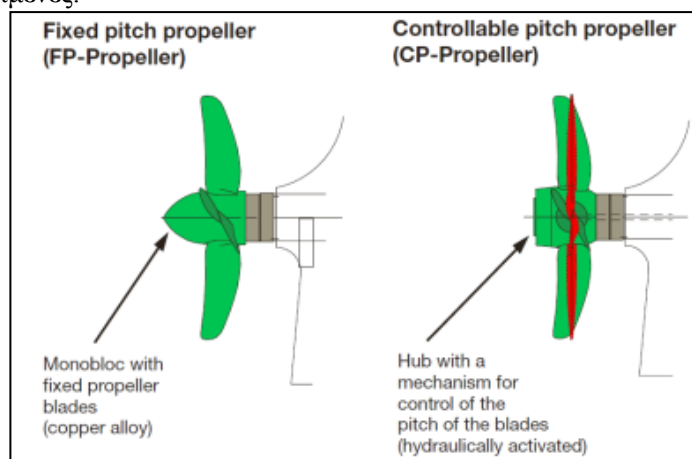
Όπως αναπτύχθηκε στο **Κεφάλαιο 4**, για να πλεύσει ένα πλοίο σε ταχύτητα  $V_S$  είναι αναγκαίο να υπερνικήσει μία δύναμη **αντίστασης**, η οποία είναι αντίθετη στη δύναμη **ώσης** που παράγει η έλικα του πλοίου. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε σε βασικές έννοιες σχετικές με την πρόωση του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά θα αναφέρουμε μεγέθη σχετικά με το πεδίο ροής στην έλικα και πως αυτά επηρεάζουν τελικά την απαίτηση ισχύος. Στη συνέχεια, θα αναλυθούν οι αποδοτικότητες της προωστήριας εγκατάστασης του πλοίου.

### 5.1 ΕΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Το παραδοσιακό μέσο πρόωσης των πλοίων, είναι η προπέλα-screw propeller [15]. Σε ορισμένους τύπους πλοίου (επιβατηγά, πολεμικά, Containerships κ.α.) χρησιμοποιούνται δύο έλικες και σπανιότερα πάνω από δύο. Οι έλικες χωρίζονται σε δύο μεγάλες βασικές κατηγορίες:

- Έλικες σταθερού βήματος (Fixed Pitch Propellers)
- Έλικες μεταβλητού βήματος (Controllable Pitch Propellers)

Οι έλικες σταθερού βήματος (FPP), είναι χυτές και συνήθως κατασκευάζονται από κράμα χαλκού. Το βήμα της έλικας, καθοριζόμενο από τη θέση των πτερυγίων, **παραμένει σταθερό** και δεν μπορεί να αλλάξει κατά τη λειτουργία. Οι έλικες μεταβλητού βήματος (CPP), από την άλλη, έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν τη θέση των πτερυγίων τους, και συνεπώς το βήμα της έλικας. Αυτό, δίνει στο πλοίο, αυξημένες ελικτικές ικανότητες και γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια. τα οποία έχουν αυξημένες ανάγκες ελιγμών λόγω συχνών προσεγγίσεων σε λιμένες.



Εικόνα 5.1: Έλικες σταθερού και μεταβλητού βήματος, [15]

#### 5.1.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΛΙΚΑΣ

Η γεωμετρία της έλικας μπορεί να καθοριστεί σε πρώτο βαθμό από ορισμένα βασικά γεωμετρικά μεγέθη. Αυτά είναι η **διάμετρος της έλικας (Propeller Diameter)  $D_{PR}$** , το βήμα της έλικας  **$P$  (Pitch)**, ο αριθμός πτερυγίων της έλικας  $z$ , και ο συντελεστής εκτεταμένης επιφανείας  $A_E/A_0$ . Τέλος, ορίζονται οι αδιάστατοι συντελεστές  $J$ ,  $K_T$ ,  $K_Q$ .

Ο **συντελεστής προχώρησης  $J$** , εκφράζει το πόσο γρήγορα "προχωρά" η έλικα μέσα στο ρευστό για δεδομένες στροφές και διάμετρο.

$$J = \frac{V_A}{nD_{PR}} \quad (5.1)$$



## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΡΩΩΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

Ο **συντελεστής ώσης**  $K_T$  εκφράζει την ώση που παράγει η έλικα για δεδομένες στροφές και διάμετρο.

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D_{PR}^4} \quad (5.2)$$

Ο **συντελεστής ροπής**  $K_Q$  εκφράζει τη ροπή που ζητά η έλικα για δεδομένες στροφές και διάμετρο.

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D_{PR}^5} \quad (5.3)$$

## 5.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΙΚΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Η παρουσία της προπέλας μεταβάλλει το πεδίο ροής στην έλικα εισάγοντας με τον τρόπο αυτό ουσιαστικές διαφορές μεταξύ ρυμουλκούμενου και αυτοπροωθούμενου πλοίου. Οι διαφορές αυτές περιγράφονται με τον **συντελεστή ομόρρου**  $w$  και τον **συντελεστή μείωσης ώσης**  $t$ .

### 5.2.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΜΟΡΡΟΥ (WAKE FRACTION) $w$

Κατά την κίνηση του πλοίου, δημιουργείται γύρω του το **οριακό στρώμα**. Εντός του οριακού στρώματος, η ταχύτητα του νερού πάνω στην επιφάνεια του πλοίου είναι ίση με την ταχύτητα του πλοίου και μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της γάστρας. Σε μία ορισμένη απόσταση από τη γάστρα η ταχύτητα του νερού *σε σχέση με την ταχύτητα του περιβάλλοντος ρευστού* είναι ίση με μηδέν.

Το πάχος του οριακού στρώματος αυξάνει με την απόσταση από την πλώρη και το πάχος είναι ανάλογο του μήκους του πλοίου [16], οπότε στο πρυμναίο άκρο το πάχος του οριακού στρώματος θα είναι μεγαλύτερο από την πλώρη. Συνεπώς, η έλικα του πλοίου, δεν λειτουργεί σε ροή παράλληλης ταχύτητας ίση με την ταχύτητα του πλοίου, αλλά στα "απόνερα" του πλοίου δηλαδή **στον ομόρρου ή οριακό στρώμα** το οποίο "μπλοκάρει" τη ροή προς την έλικα.

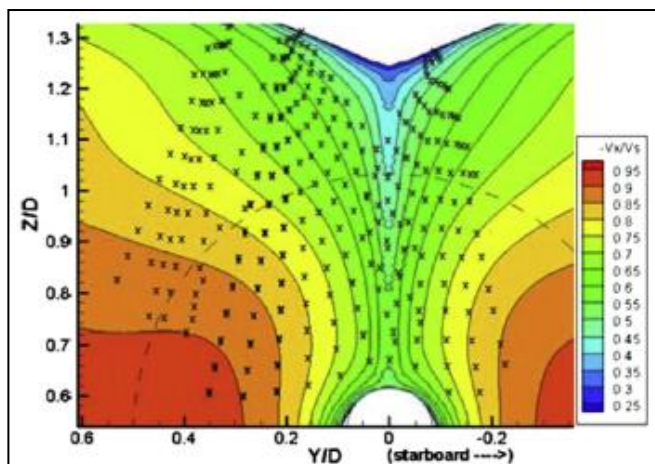
Τελικά, η ταχύτητα με την οποία το νερό φτάνει στην έλικα, έχει μία ταχύτητα  $V_A$  η οποία ονομάζεται και **μέση ταχύτητα στο δίσκο της έλικας**. Τη διαφορά της ταχύτητας του πλοίου, με την ταχύτητα νερού στην έλικα την ονομάζουμε **ταχύτητα ομόρρου**  $V_W$  και ισχύει:

$$V_W = V_S - V_A \quad (5.4)$$

Ακολουθώς ορίζουμε τον **συντελεστή ομόρρου**  $w$  ως:

$$w = \frac{V_W}{V_S} \Rightarrow w = \frac{V_S - V_A}{V_S} \Rightarrow \frac{V_A}{V_S} = 1 - w \quad (5.5)$$

Η τιμή του συντελεστή ομόρρου, επηρεάζεται καθοριστικά από τις γραμμές της γάστρας και από τη θέση και το μέγεθος της προπέλας. Ουσιαστικά το  $w$  επηρεάζεται από τους παράγοντες εκείνους οι οποίοι επηρεάζουν τη ροή στην έλικα. Ο υπολογισμός του  $w$  γίνεται με διενέργεια πειραμάτων μοντέλων πλοίων, μεθόδους CFD ή με μικρότερη ακρίβεια με προσεγγιστικούς τύπους και διαγράμματα.



Διάγραμμα 5.1: Υπολογισμός ενός πεδίου ομόρρου για πλοίο Containership με μέθοδο CFD, όπου παρατηρείται η ανομοιομορφία του πεδίου ταχυτήτων με διαφορετικό χρωματισμό [17]

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν οι ακόλουθοι προσεγγιστικοί τύποι, για τον υπολογισμό του ποσοστού ομόρρου  $w$ , για συνήθεις μορφές εμπορικών πλοίων, όπως αυτή που εξετάζουμε:

$$w = 0.5 \cdot C_p \cdot \frac{1.6}{1 + \frac{D_{PROP}}{T}} \cdot \frac{16}{10 + \frac{L}{B}}, [Schneekluth 1988] \quad (5.6)$$

$$w = 0.75 \cdot C_B - 0.24, [Kruger 1976] \quad (5.7)$$

$$w = 0.7 \cdot C_p - 0.18, [Heckscher] \quad (5.8)$$

$$w = 0.25 + 2.5 \cdot (C_B - 0.6)^2, [Troost] \quad (5.9)$$

### 5.2.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΩΣΗΣ (THRUST DEDUCTION FACTOR) $t$

Η λειτουργία της έλικας, προκαλεί *αναρρόφηση* του νερού που βρίσκεται ακριβώς μπροστά της, τροποποιώντας έτσι το οριακό στρώμα και το πεδίο πιέσεων στην πρύμνη. Λόγω αυτού, δημιουργείται μία επιπλέον δύναμη  $F$  προσθετική της αντίστασης του πλοίου  $R_T$  την οποία πρέπει να υπερνικήσει η έλικα παράγοντας ώση  $T$ . Συνεπώς η αντίσταση του πλοίου στην κατάσταση αυτοπρώωσης είναι μεγαλύτερη από την αντίσταση του πλοίου σε κατάσταση ρυμούλκησης. Έτσι ορίζεται το *ποσοστό μείωσης ώσης*  $t$  ως ο λόγος της επιπλέον δύναμης που οφείλεται στην παρουσία της προπέλας προς την συνολική ώση που αναπτύσσει η προπέλα.

$$t = \frac{F}{T} = \frac{T - R_T}{T} \quad (5.10)$$

Ο συντελεστής μείωσης ώσης  $t$ , αυξάνεται όταν αυξάνεται ο συντελεστής ομόρρου  $w$ . Αυτό συμβαίνει διότι η δύναμη  $F$  αυξάνεται όταν αυξάνει η ανομοιομορφία του πεδίου ροής που φτάνει στην προπέλα. Το ποσοστό μείωσης ώσης κυμαίνεται σε τιμές 0.1-0.3. Γενικά για μονέλικα πλοία με μεγάλο  $C_B$ , παρατηρείται μεγάλο ποσοστό μείωσης ώσης. Σε διπλέλικα πλοία, παρουσιάζεται μικρότερο  $t$ , επειδή οι προπέλες βρίσκονται πιο μακριά από τη γάστρα.

Ο υπολογισμός του  $t$  γίνεται με διενέργεια πειραμάτων σε μοντέλα πλοίων, μεθόδους CFD ή με προσεγγιστικούς τύπους όπως αυτοί που θα παρουσιαστούν παρακάτω.

$$t = 0.5 \cdot C_p - 0.12, [Heckscher] \quad (5.11)$$

$$t = 0.5 \cdot C_B - 0.3, [Danckwardt] \quad (5.12)$$

$$t = w \left( 1.57 - 2.3 \frac{C_B}{C_{WP}} + 1.5 C_B \right), [SSPA] \quad (5.13)$$

$$t = 0.001979 \frac{L}{B(1-C_p)} + 1.0585 \frac{B}{L} - 0.00524 - 0.1418 \frac{D_{PR}^2}{B \cdot T}, [Holtrop - Mennen] \quad (5.14)$$

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΡΩΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

Συμπερασματικά, οι συντελεστές μείωσης ώσης και ομόρρου εξαρτώνται κυρίως από τη ροή που φτάνει στην έλικα, το οποίο με τη σειρά του, επηρεάζεται κυρίως από το είδος των γραμμών του πλοίου στο πρυμναίο κομμάτι. Γι' αυτό και σ' όλους τους παραπάνω προσεγγιστικούς τύπους τα  $w$  και  $t$  είναι συναρτήσεις των  $C_P$  και  $C_B$ .

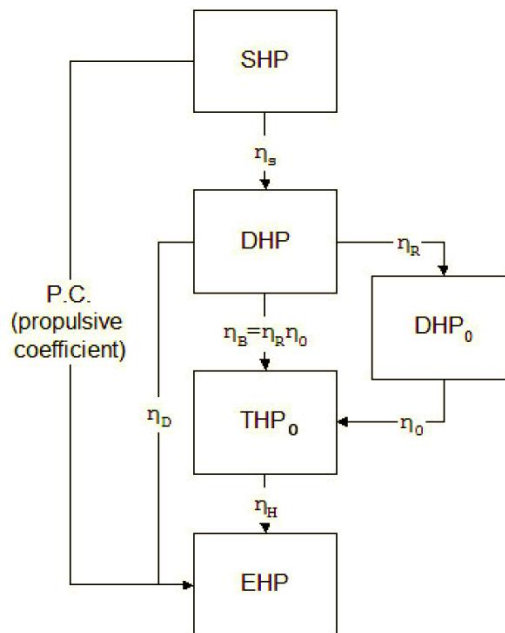
### 5.3 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΠΡΩΣΤΗΡΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Για την αποτελεσματική περιγραφή, της αποδοτικότητας της προωστήριας εγκατάστασης ενός πλοίου, έχει οριστεί μία σειρά από βαθμούς απόδοσης. Με τον όρο αποδοτικότητα της προωστήριας εγκατάστασης, αναφερόμαστε στη ροή ισχύος, από τον στροφαλοφόρο άξονα της κύριας μηχανής έως τη μετατροπή της σε ώση από την έλικα.

Πιο συγκεκριμένα όπως παρατηρούμε από το Διάγραμμα 5.2 η μηχανή παράγει ισχύ **SHP** (Shaft Horse Power) η οποία μετά τις **απώλειες άξονα  $\eta_S$**  καλείται **DHP** (Delivered Horse Power-Αποδιδόμενη ισχύς).

Πολλαπλασιάζοντας, την αποδιδόμενη ισχύ με το **βαθμό απόδοσης πίσω από το πλοίο** (behind efficiency)  $\eta_B$  λαμβάνουμε την ισχύ ώσης έλικας σε ελεύθερη ροή **THP<sub>0</sub>**. Ο βαθμός απόδοσης  $\eta_B$  αποτελεί γινόμενο του **βαθμού απόδοσης σχετικής περιστροφής  $\eta_R$**  και του **βαθμού απόδοσης ελεύθερης ροής  $\eta_0$** .

Τέλος, η ισχύς ρυμούλκησης του πλοίου **EHP** (Effective Horse Power) προκύπτει αν πολλαπλασιάσουμε την **THP<sub>0</sub>** με τον **βαθμό απόδοσης γάστρας  $\eta_H$** . Στο εδάφιο αυτό θα αναλυθεί η φυσική σημασία και ο τρόπος υπολογισμού των παραπάνω βαθμών απόδοσης προωστήριας εγκατάστασης.



Διάγραμμα 5.2:Ροή ενέργειας στο σύστημα πρόωσης του πλοίου [8]

#### 5.3.1 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ-SHAFT EFFICIENCY $\eta_S$

Ο βαθμός απόδοσης αξονικού συστήματος  $\eta_S$ , εκφράζει την απώλεια ενέργειας στο αξονικό σύστημα του πλοίου. Οι απώλειες μπορεί να οφείλονται σε πλημμελή λίπανση, ή ευθυγράμμιση του άξονα των εδράνων και του μειωτήρα (αν υπάρχει). Ισούται με το λόγο αποδιδόμενης ισχύος στην έλικα,  $P_D$  προς την ισχύ πέδης της κύριας μηχανής  $P_B$ .

$$\eta_S = \frac{P_D}{P_B} \quad (5.15)$$



Εικόνα 5.2: Σχηματική αναπαράσταση αξονικού συστήματος πλοίου

### 5.3.2 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ-RELATIVE ROTATIVE EFFICIENCY $\eta_R$

Ο βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής  $\eta_R$ , εισήχθη προκειμένου να ποσοτικοποιήσει τη διαφορά απορροφούμενης ισχύος από την προπέλα όταν εργάζεται σε συνθήκες ελεύθερης ροής, από εκείνη που απορροφά όταν λειτουργεί σε ένα πεδίο ομόρρου **με την ίδια μέση ταχύτητα**. Η ροή του νερού πίσω από τη γάστρα προς την έλικα δεν έχει μία σταθερή και ορισμένη γωνία ως προς το δίσκο της έλικας, αλλά είναι ένα είδος περιστροφικής ροής.

Σε μονέλικα πλοία ο συντελεστής  $\eta_R$  είναι γενικά μεγαλύτερος της μονάδας, δηλαδή η περιστροφική ροή, δρα ευεργετικά. Σε διπλέλικα πλοία συνήθως είναι ελαφρώς μικρότερος της μονάδας. Ο βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής ορίζεται τελικά ως η αποδιδόμενη ισχύς που θα απορροφούσε η έλικα σε ελεύθερη ροή  $DHP_0$  προς την αποδιδόμενη ισχύ που απορροφά λειτουργώντας σε πεδίο ομόρρου  $w$ . Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσεγγιστικός τύπος των Holtrop-Mennen(1978).

$$\eta_R = \frac{DHP_0}{DHP} \quad (5.16)$$

$$\eta_R = 0.9922 - 0.05908 \cdot \frac{A_E}{A_0} + 0.07424(C_P - 0.0225 \cdot LCB_{MID}) \quad (5.17)$$

### 5.3.3 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΛΙΚΑΣ ΣΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΡΟΗ-OPEN WATER PROPELLER EFFICIENCY $\eta_0$

Ο βαθμός απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή  $\eta_0$  ορίζεται ως ο λόγος ισχύος ώσης έλικας σε ελεύθερη ροή  $THP_0$  με την αποδιδόμενη ισχύ σε ελεύθερη ροή  $DHP_0$ .

$$\eta_0 = \frac{THP_0}{DHP_0} = \frac{TV_0}{2\pi n_{prop} Q_0} = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_{T0}}{K_{Q0}} \quad (5.18)$$

Όπου  $Q_0$  είναι η ροπή που αναπτύσσει η μηχανή. Ο  $\eta_0$  εξαρτάται κυρίως από την ώση της έλικας, την ταχύτητα προχώρησης, της στροφές της προπέλας και την ασκούμενη ροπή. Παρατηρούμε για την ίδια ασκούμενη ώση και ροπή σε μικρότερες στροφές έλικας, ο βαθμός απόδοσης  $\eta_0$  αυξάνεται. Επιπλέον επιδρούν στην απόδοση της έλικας σε ελεύθερη ροή σχεδιαστικοί παράγοντες όπως η διάμετρος, ο αριθμός πτερυγίων  $z$ , ο λόγος εκτεταμένης επιφανείας  $A_E/A_0$ , και η σχέση  $P/D$  όπου  $P$  το βήμα της έλικας.

### 5.3.4 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΙΣΩ ΑΠΟ ΤΟ ΠΛΟΙΟ-BEHIND EFFICIENCY $\eta_B$

Ο λόγος μεταξύ της ισχύος ώσης  $THP_0$  και της αποδιδόμενης ισχύος  $DHP$  ονομάζεται βαθμός απόδοσης πίσω από το πλοίο (**behind efficiency**). Είναι το γινόμενο του βαθμού απόδοσης ελεύθερης ροής  $\eta_0$  και του βαθμού απόδοσης σχετικής περιστροφής  $\eta_R$ .

$$\eta_B = \eta_R \cdot \eta_0 = \frac{THP_0}{DHP_0} \cdot \frac{DHP_0}{DHP} = \frac{\eta_R K_T J}{2\pi K_Q} \quad (5.19)$$

### 5.3.5 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ-HULL EFFICIENCY $\eta_H$

Ο βαθμός απόδοσης γάστρας  $\eta_H$  ορίζεται ως ο λόγος μεταξύ της ισχύος ρυμούλκησης  $EHP$  και της ισχύος ώσης της έλικας  $THP_0$ .

$$\eta_H = \frac{EHP}{THP_0} = \frac{R_T \cdot V}{T \cdot V_A} = \frac{\frac{R_T}{T}}{\frac{V_A}{V}} = \frac{1-t}{1-w} \quad (5.20)$$

Συνήθεις τιμές του βαθμού απόδοσης γάστρας για μονέλικα πλοία είναι 1.1-1.4 και για διπλέλικα 0.95-1.05.

### 5.3.6 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΛΙΚΑΣ-ΠΛΟΙΟΥ-PROPULSIVE COEFFICIENT $\eta_D$

Ο βαθμός απόδοσης έλικας πλοίου ισούται με το λόγο της ισχύος ρυμούλκησης EHP με την αποδιδόμενη ισχύ DHP. Εναλλακτικά ισούται με το γινόμενο  $\eta_H \cdot \eta_0 \cdot \eta_R$ .

$$\eta_D = \frac{EHP}{DHP} = \frac{EHP}{THP} \cdot \frac{THP}{DHP} = \eta_H \cdot \eta_B = \eta_H \cdot \eta_0 \cdot \eta_R = \frac{R_0 V}{2\pi n Q} \quad (5.21)$$

### 5.3.7 ΟΛΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ -TOTAL EFFICIENCY $\eta_T$

Ο ολικός βαθμός απόδοσης  $\eta_T$ , ισούται με το γινόμενο του βαθμού απόδοσης έλικας-πλοίου  $\eta_D$  με το βαθμό απόδοσης αξονικού συστήματος  $\eta_S$ . Εκφράζει τις **συνολικές απώλειες ισχύος** στο σύστημα πρόωσης.

$$\eta_T = \frac{EHP}{SHP} = \frac{EHP}{DHP} \cdot \frac{DHP}{SHP} = \eta_D \cdot \eta_S = \eta_H \cdot \eta_0 \cdot \eta_R \cdot \eta_S \quad (5.22)$$

## 5.4 Ο ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΕΛΙΚΑΣ

Η αντίσταση του πλοίου σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε μπορεί να αναλυθεί στην αντίσταση τριβής  $R_F$  και την υπόλοιπη αντίσταση  $R_R$  η οποία αποτελείται κυρίως από την αντίσταση κυματισμού  $R_W$ . Τόσο η αντίσταση τριβής όσο και η αντίσταση κυματισμού είναι **ανάλογες του τετραγώνου της ταχύτητας**.

$$\left. \begin{aligned} R_F &= C_F \cdot V_S^2 \\ R_R &= C_R \cdot V_S^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_T = (C_F + C_R) \cdot V_S^2 \Rightarrow R_T = C_T \cdot V_S^2 \quad (5.23)$$

Η ώση που παράγει η προπέλα ορίζεται ως:

$$T = \frac{R_T}{(1-t)} \Rightarrow T = \frac{C_T \cdot V_S^2}{(1-t)} \stackrel{t=const}{\Rightarrow} T = C_{TH} \cdot V_S^2 \quad (5.24)$$

Η σχέση (5.24) ισχύει για συνηθισμένα πλοία εκτοπίσματος και σχετικά μικρές ταχύτητες. Στην πραγματικότητα, ο συντελεστής  $C_{TH}$  εξαρτάται επίσης από την ταχύτητα του πλοίου. Σε ταχύπλοα πλοία, ή πλοία που λειτουργούν σε υψηλούς αριθμούς Froude, όπου η αντίσταση κυματισμού είναι σημαντική συνιστώσα της συνολικής αντίστασης τότε ισχύει ότι  $C_{TH}(V_S^2)$  δηλαδή και το  $C_{TH}$  εξαρτάται από το  $V_S^2$ . [5]

Παραπάνω έγινε η παραδοχή ότι ο συντελεστής μείωσης ώσης παραμένει σταθερός. Δηλαδή ότι η αναρρόφηση που δέχεται το πλοίο από την έλικα παραμένει σταθερή. Αυτό προϋποθέτει σταθερή λειτουργία της έλικας και σταθερή ροή προς την έλικα. Με τη συλλογιστική αυτή μπορούμε επιπλέον να υποθέσουμε ότι και ο βαθμός σχετικής περιστροφής  $\eta_R$  δηλαδή η διαταραχή της ροής παραμένει επίσης σταθερή. Επιπλέον θεωρούμε ότι και ο μηχανικός βαθμός απόδοσης παραμένει σταθερός.

Η τετραγωνική σχέση της ώσης με την ταχύτητα (σχέση 5.24) παράγει σταθερή τιμή για το  $\frac{K_T}{J^2}$ .

Εάν παραστήσουμε στο διάγραμμα ελεύθερης ροής της έλικας το  $\frac{K_T}{J^2}$  τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το  $J$  παραμένει σταθερό. Το συμπέρασμα αυτό ισχύει για χαμηλούς αριθμούς Froude. Αφού το  $J$  παραμένει σταθερό τότε προφανώς και οι συντελεστές ώσης και ροπής  $K_T$  και  $K_Q$  παραμένουν επίσης σταθεροί. Αφού ο συντελεστής  $K_T$  είναι σταθερός τότε συνάγεται ότι η ώση θα είναι ανάλογη του τετραγώνου των στροφών της έλικας ( $T \propto n^2$ ). Αντικαθιστώντας στην έκφραση της ώσης την σχέση (5.24) οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η ταχύτητα του πλοίου είναι ανάλογη των στροφών της έλικας.

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \Rightarrow K_T = \frac{C_{TH} V_S^2}{\rho n^2 D^4} \Rightarrow V_S^2 = \left( \frac{K_T \rho D^4}{C_{TH}} \right) \cdot n^2 \Rightarrow V_S = n \cdot \sqrt{\frac{K_T \rho D^4}{C_{TH}}} \Rightarrow V_S = C_V \cdot n \quad (5.25)$$

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΡΟΩΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

Επιπλέον αφού το  $K_Q$  είναι σταθερό, προκύπτει ότι η ροπή είναι ανάλογη του τετραγώνου των στροφών της έλικας.

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \Rightarrow Q = (K_Q \rho D^5) \cdot n^2 \Rightarrow Q = C_Q \cdot n^2 \quad (5.26)$$

$$P = 2\pi \cdot n \cdot Q \cdot 60 \Rightarrow P = C_P \cdot n \cdot Q \Rightarrow P = (C_P \cdot C_Q) \cdot n^3 \Rightarrow P = C \cdot n^3 \quad (5.27)$$

Συνεπώς, με τις παραπάνω σημαντικές παραδοχές καταλήγουμε στα εξής σημαντικά συμπεράσματα:

1. Η Ταχύτητα του πλοίου είναι **ανάλογη** των στροφών της έλικας.
2. Η Ροπή που ζητάει η έλικα είναι **ανάλογη με το τετράγωνο** των στροφών της.
3. Η Ισχύς που ζητάει η έλικα είναι **ανάλογη με τον κύβο** των στροφών της.

Η τελευταία σχέση ονομάζεται **νόμος της έλικας**. Το  $C$  στη σχέση αυτή ονομάζεται **σταθερά της έλικας**, και είναι ένας δείκτης του πόσο φορτισμένη είναι η έλικα. Η φόρτιση μπορεί να προέρχεται από κόντρα καιρό, ρεύματα ή ρύπανση της γάστρας ή της έλικας. Ουσιαστικά, η σχέση αυτή μας λέει ότι αν αυξηθεί η σταθερά της έλικας  $C$ , από μία κατάσταση λειτουργίας σε μία άλλη, τότε για να παραχθεί η ίδια ισχύ θα πρέπει η έλικα να περιστραφεί σε χαμηλότερες στροφές. Ο νόμος της έλικας χρησιμοποιείται, για σύγκριση **ομοίων** καταστάσεων δηλαδή για ίδια ταχύτητα πλοίου και ίδιο βύθισμα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο εκθέτης του νόμου της έλικας δεν ισούται πάντα με 3. Γενικά εξαρτάται από το πλοίο το οποίο εξετάζουμε και κυμαίνεται μεταξύ 2.5 και 3.5

Οι όροι μειωμένη ή αυξημένη φόρτιση, ρυπασμένη γάστρα και περιθώριο ισχύος είναι όροι **επικαλυπτόμενοι**. Ένα πλοίο μπορεί να απαιτεί παραπάνω ισχύ για διατήρηση δεδομένης ταχύτητας, λόγω κακού καιρού, ρυπασμένης γάστρας ή και των δύο. Συνεπώς όταν αναφερόμαστε σε επιπλέον απαίτηση ισχύος για διατήρηση ταχύτητας λόγω π.χ. ρύπανσης, θα μπορούσε η ίδια απαίτηση ισχύος να οφείλεται σε έναν από τους παραπάνω παράγοντες ή σε συνδυασμό αυτών.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MOTHER

Για τον υπολογισμό της ισχύος στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε το **μαθηματικό μοντέλο κινητήρα πρόωσης MOTHER(MOtor THERmodynamics)**. Η μοντελοποίηση του κινητήρα, με σκοπό την πρόβλεψη των επιδόσεων του, είναι η μαθηματική απεικόνιση των θερμοδυναμικών διεργασιών, που υφίσταται το εργαζόμενο μέσο κατά τη ροή του μέσα στον κινητήρα.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες μοντέλων, τα **θερμοδυναμικά** και τα **ρευστομηχανικά**, ανάλογα με το αν οι βασικές εξισώσεις του μοντέλου, στηρίζονται στην αρχή διατήρησης της ενέργειας ή σε μία πλήρη ανάλυση της κίνησης του ρευστού εντός του κινητήρα.

Το MOTHER ανήκει στα θερμοδυναμικά μοντέλα, τα οποία αλλιώς καλούνται και μοντέλα **μηδενικής κατάστασης (zero dimension models), φαινομενολογικά ή ημιδιάστατα**. Τα μοντέλα αυτά, θεωρούν τη μηχανή ως μία σειρά από **αλληλοσυνδεδεμένους όγκους (flow receivers)**, υποθέτοντας χωρική ομοιομορφία των ρευστομηχανικών ιδιοτήτων και σταθερό ρυθμό μεταβολής των παραμέτρων σε κάθε όγκο ελέγχου και σε κάθε υπολογιστικό βήμα. Οι όγκοι συνδέονται μέσω ελεγκτών ροής όπως **βαλβίδες και θύρες(flow controllers)**. Υποτίθεται, ότι το έργο η θερμότητα και η μεταφορά μάζας λαμβάνουν χώρα στα όρια των όγκων ελέγχου.

Οι βασικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται παρακάτω:

$$\text{Διατήρηση της Ενέργειας:} \quad \dot{T} = f(\dot{U}, \dot{H}, \dot{\phi}, \dot{Q}, \dot{W}) \quad (6.1)$$

Ο ρυθμός μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας  $\dot{U}$ , και της ενθαλπίας  $\dot{H}$ , του εργαζόμενου μέσου λαμβάνεται μέσω δεδομένων θερμοδυναμικών ιδιοτήτων μειγμάτων αέρα-καυσίμου. Ο ρυθμός μεταβολής του λόγου ισοδυναμίας  $\dot{\phi}$ , λαμβάνεται μέσω άθροισης των συναλλαγών αέρα καυσίμου. Ο ρυθμός μεταβολής θερμότητας  $\dot{Q}$ , εξαρτάται από την απελευθέρωση θερμότητας από την καύση, και τις απώλειες θερμότητας. Τέλος, ο ρυθμός μεταβολής του έργου  $\dot{W}$ , εξαρτάται από την στιγμιαία αλλαγή του όγκου της μηχανής και από τη στιγμιαία πίεση.

$$\text{Ψευδοστατική Ροή:} \quad \dot{m} = f(P, T, g, R, A_{FLOW}, C_d) \quad (6.2)$$

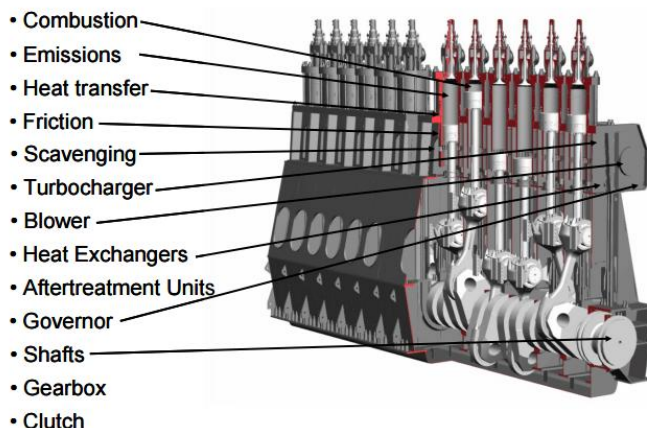
Η ροή μάζας μεταξύ συνδεδεμένων όγκων ελέγχου εξαρτάται από τη στιγμιαία πίεση, τη θερμοκρασία, τις ιδιότητες του μείγματος που βρίσκονται σε κάθε όγκο και από τη γεωμετρία του κάθε όγκου ελέγχου. Η γεωμετρία των όγκων επιδρά μέσω της **επιφάνειας ροής  $A_{FLOW}$**  και του συντελεστή εκκένωσης (discharge coefficient)  $C_d$  των περιορισμών των όγκων ελέγχου.

$$\text{Διατήρηση Μάζας:} \quad \dot{m} = \sum \dot{m}_j \quad (6.3)$$

$$\text{Καταστατική Εξίσωση:} \quad P = f(m, R, T, V) \quad (6.4)$$

Για τη μοντελοποίηση διεργασιών εντός της μηχανής, όπως της καύσης, της μεταφοράς θερμότητας και άλλων χρησιμοποιούνται από το MOTHER διάφορα υπομοντέλα (submodels) όπως φαίνονται στην **Εικόνα 6.1**.

Η μοντελοποίηση του συμπιεστή και του στροβίλου γίνεται μέσω της **ψηφιακής αναπαράστασης** του χάρτη λειτουργίας τους.



Εικόνα 6.1: Μαθηματικά υπομοντέλα τα οποία περιέχει το MOTHER [18]

## 6.1 ΒΑΣΙΚΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ -BASIC ENGINEERING ELEMENTS

Ο κώδικας MOTHER χρησιμοποιεί κάποια βασικά μηχανολογικά στοιχεία (basic engineering elements-BEEs) για τη μοντελοποίηση των όγκων ελέγχου και των ελεγκτών ροής. Τα στοιχεία αυτά χωρίζονται σε θερμοδυναμικά, μηχανολογικά και σε στοιχεία ελέγχου όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.1. Για τη μοντελοποίηση τη μηχανής χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα στοιχεία:

- Κύλινδροι -Cylinders
- Δοχεία-Plenums
- Fixed Fluids
- Βαλβίδες-Valves
- Συμπιεστής-Compressor
- Στρόβιλος-Turbine
- Στροφαλοφόρος Άξονας-Crankshaft

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται όλα τα διαθέσιμα BEEs για τη μοντελοποίηση και πιο σύνθετων διατάξεων όπως PID Controllers και Speed Governor. Παρατηρούμε ότι τα θερμοδυναμικά στοιχεία υποδιαιρούνται με τη σειρά τους σε δύο μεγάλες ομάδες τους Όγκους Ελέγχου (Flow Receivers) και τους Ελεγκτές Ροής (Flow Controllers) .

Thermodynamic Elements		Mechanical Elements	Control Elements
Flow Receivers	Flow controllers		
Cylinder 1.1	Valve 2.1	Crank Shaft 3.1	Speed Governor 4.1
Plenum 1.2	Heat Exchanger 2.2	Shaft 3.2	PID Controller 4.2
Fixed Fluid 1.5	Compressor 2.3	Shaft Load 3.3	
	Turbine 2.4	Clutch 3.4	
		Gear Box 3.5	

Πίνακας 6.1: Βασικά Μηχανολογικά Στοιχεία του MOTHER [19]

Στη συνέχεια θα γίνει η ανάλυση των υπομοντέλων του MOTHER τα οποία ρυθμίσαμε κατά τη μοντελοποίηση της μηχανής. Κατά κύριο λόγο έγινε ρύθμιση των παραμέτρων των μοντέλων καύσης και δευτερευόντως του μοντέλου μεταφοράς θερμότητας.



### 6.3.1 ΥΠΟΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΥΛΙΝΔΡΟ

Στο εδάφιο αυτό θα ασχοληθούμε με τα υπομοντέλα που χρησιμοποιεί το MOTHER για τον υπολογισμό της ενέργειας λόγω **καύσης**. Για να γίνει αυτό απαιτείται η γνώση της καμένης μάζας καυσίμου. Τα μοντέλα καύσης τα οποία διαθέτει το MOTHER είναι αυτά του Wiebe ή S curve, Watson et al, Woschni Anisits, πολυζωνικό (multi-zone), και το user defined model όπου τα χαρακτηριστικά της καύσης καθορίζονται από το χρήστη. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα S Curve και Woschni Anisits.

#### • S CURVE COMBUSTION MODEL

Ο λόγος καμένου καυσίμου  $\frac{m_b}{m_{tot}}$  μπορεί να οριστεί από μία συνάρτηση Wiebe ως:

$$x_b = \frac{m_b}{m_{tot}} = 1 - e^{-a \left( \frac{\theta - \theta_0}{\Delta\theta} \right)^{m+1}} \quad (6.5)$$

Όπου  $\theta_0$  είναι η γωνία στροφάλου έναρξης της καύσης και  $\Delta\theta$  η διάρκεια αυτής.

Το μοντέλο θεωρεί ότι η τελική ποσότητα καυσίμου αποτελείται από την καϊόμενη ποσότητα κατά το πρώτο στάδιο της καύσης ( $m_{pre}$ -premixed combustion), από το καύσιμο το οποίο καίγεται κατά το κύριο στάδιο της καύσης ( $m_{main}$ - main combustion), και το καϊόμενο καύσιμο κατά το τελευταίο στάδιο της καύσης ( $m_{post}$  -post combustion)

$$m_b = m_{pre} + m_{main} + m_{post} \quad (6.6)$$

$$x_b = A_0 \left( 1 - e^{-a \left( \frac{\theta - \theta_0}{\Delta\theta_0} \right)^{m_0+1}} \right) + A_1 \left( 1 - e^{-a \left( \frac{\theta - \theta_1}{\Delta\theta_1} \right)^{m_1+1}} \right) + A_2 \left( 1 - e^{-a \left( \frac{\theta - \theta_2}{\Delta\theta_2} \right)^{m_2+1}} \right) \quad (6.7)$$

$$A_0 = \frac{m_{pre}}{m_{tot}} \quad A_1 = \frac{m_{main}}{m_{tot}} \quad A_2 = \frac{m_{post}}{m_{tot}}$$

#### • WOSCHNI-ANISITS COMBUSTION MODEL

Το μοντέλο των Woschni-Anisits, είναι ένα φαινομενολογικό μοντέλο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για την προσομοίωση μηχανών diesel απευθείας έγχυσης. Για τη χρήση του μοντέλου, πρέπει να ορίσουμε ένα σημείο αναφοράς (reference point) για το οποίο υπολογίζει μία μονή σιγμοειδή καμπύλη Wiebe ( $A_1=A_2=0$ ). Στη συνέχεια, με βάση την καμπύλη του σημείου αναφοράς υπολογίζει την καμπύλη Wiebe για κάθε άλλο σημείο λειτουργίας της μηχανής.

$$x_b = \frac{m_b}{m_{tot}} = 1 - e^{-a \left( \frac{\theta - \theta_0}{\Delta\theta} \right)^{m+1}} \quad (6.8)$$

Η γωνία στροφάλου έναρξης της καύσης  $\theta_0$  ορίζεται ως:

$$\theta_0 = SOI + \Delta\phi_{IND} + \Delta\phi_{IGD} \quad (6.9)$$

Όπου:

- SOI** είναι η γωνία στροφάλου όπου ξεκινά η στατική έγχυση (static injection)  
 **$\Delta\phi_{IND}$**  ο χρόνος (σε γωνίες στροφάλου) από τη στιγμή που θα στείλει το καύσιμο η αντλία καυσίμου έως να φτάσει στον εγχυτήρα.  
 **$\Delta\phi_{IGD}$**  ο χρόνος έως την ανάφλεξη (ignition) του καυσίμου.

Δεδομένου ενός σημείου αναφοράς, το οποίο σημειώνεται με το δείκτη ref, οι ποσότητες  $\Delta\phi_{IND}$  και  $\Delta\phi_{IGD}$  μπορούν να υπολογιστούν μέσω των παρακάτω εκφράσεων:

$$\Delta\phi_{IND} = \Delta\phi_{IND_{REF}} \left( \frac{n}{n_{ref}} \right)^{a_{IND}} \quad (6.10)$$

## Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MOTHER

$$\Delta\varphi_{IGD} = 6 \cdot 10^{-3} \left[ a_{IGD} + b_{IGD} e^{\frac{7800}{6.9167RT}} (1.0197p^{-0.7}) + c_{IGD} e^{\frac{7800}{6.9167RT}} (1.0197p^{-1.8}) \right] \quad (6.11)$$

Όπου:

$n$	Στροφές τις μηχανής	[rpm]
$n_{REF}$	Στροφές της μηχανής στο σημείο αναφοράς	[rpm]
$p$	Μέση πίεση από την αρχή της έγχυσης έως την αρχή της καύσης	[bar]
$T$	Μέση θερμοκρασία από την αρχή της έγχυσης έως την αρχή της καύσης	[K]
$R$	Σταθερά του αερίου	[KJ/kg·K]
$a_{IGD}$	Σταθερά	
$b_{IGD}$	Σταθερά	
$c_{IGD}$	Σταθερά	

Για τον υπολογισμό της διάρκειας καύσης χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\Delta\theta = \Delta\theta_{REF} \left( \frac{\lambda_{REF}}{\lambda} \right)^{a_{CD}} \left( \frac{n}{n_{REF}} \right)^{b_{CD}} \left( \frac{m_{fuel}}{m_{fuel_{REF}}} \right)^{c_{CD}} \quad (6.12)$$

Όπου:

$\Delta\theta_{REF}$	Διάρκεια καύσης στο σημείο αναφοράς	[deg]
$\lambda$	Λόγος αέρα καυσίμου	
$\lambda_{REF}$	Λόγος αέρα καυσίμου στο σημείο αναφοράς	
$m_{fuel}$	Εγγερόμενο καύσιμο ανά κύκλο και κύλινδρο	[kg]
$m_{fuel_{REF}}$	Εγγερόμενο καύσιμο ανά κύκλο και κύλινδρο στο σημείο αναφοράς	[kg]
$a_{CD}$	Σταθερά	
$b_{CD}$	Σταθερά	
$c_{CD}$	Σταθερά	

Τέλος, γίνεται ο υπολογισμός της παραμέτρου σχήματος  $m$  (shape parameter). Ο δείκτης IVC αναφέρεται στην τιμή των αντίστοιχων μεγεθών στην αρχή του κλειστού κύκλου.

$$m = (m_{REF} + \Delta m) \cdot \left[ \frac{\Delta\varphi_{IGD_{REF}}}{\Delta\varphi_{IGD}} \right]^{a_{VM}} \cdot \left[ \frac{n_{REF}}{n} \right]^{b_{VM}} \cdot \left[ \frac{P_{IVC} \cdot V_{IVC} \cdot T_{IVC_{REF}}}{P_{IVC_{REF}} \cdot V_{IVC_{REF}} \cdot T_{IVC}} \right]^{c_{VM}} - \Delta m \quad (6.13)$$

$m_{REF}$	Παράμετρος σχήματος στο σημείο αναφοράς	[deg]
$\Delta m$	Σταθερά	
$a_{VM}$	Σταθερά	
$b_{VM}$	Σταθερά	
$c_{VM}$	Σταθερά	

	Initial Published equation	Large Diesel Engine	Commercial vehicle DI	Passenger car DI
$a_{ID}$	1.0	1.0	-	-
$a_{IGD}$	1* ; 0.5	0.39	0.625*	0.1
$b_{IGD}$	0.135	0.105	-	0.135
$c_{IGD}$	4.8	3.12	-	4.8
$a_{CD}$	0.6	0.6	-0.3	0.0
$b_{CD}$	0.5	0.5	-0.65	0.0
$c_{CD}$	0.0	0.0	0.0	-0.1
$\Delta m$	0.0	0.0	0.4	0.3
$a_{VM}$	0.5	0.5	0.5	0.2
$b_{VM}$	0.3	0.3	-0.8	-0.4
$c_{VM}$	1.0	1.0	1.0	1.0

Πίνακας 6.2: Πίνακας σταθερών μοντέλου Woschni-Anisits [19]



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΤΟ MOTHER

Στο εδάφιο αυτό, θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο έγινε η προσομοίωση της μηχανής του πλοίου (MAN B&W 6S60MC-C) στο περιβάλλον προσομοίωσης MOTHER, τα μοντέλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε βήμα, και θα παρουσιαστούν ορισμένα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 7.1** μέσα στο Project υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά configurations(διαμορφώσεις), και κάθε configuration έχει διαφορετικά cases, όπου κάθε case αντιστοιχεί σε διαφορετικό φορτίο της μηχανής. Συγκεκριμένα έγιναν προσομοιώσεις για φορτίο 25%, 50%, 75%, 90%, 100%, 110%. Αρχικά έγινε προσομοίωση ενός κυλίνδρου της μηχανής, στη συνέχεια έγινε προσομοίωση της μηχανής στα Shop και Sea Trials, και τέλος έγινε έλεγχος του μοντέλου(model evaluation) με προσομοιώσεις σε Performance Reports του πλοίου.

#### 7.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Για τη μοντελοποίηση της μηχανής στο MOTHER αρχικά χρειάστηκαν πληροφορίες αναφορικά με τη γεωμετρία και τη λειτουργία της μηχανής. Ορισμένες εξ αυτών μπορούσαν να βρεθούν στο manual της μηχανής ενώ άλλες ζητήθηκαν από τον κατασκευαστή της μηχανής και του υπερπληρωτή.

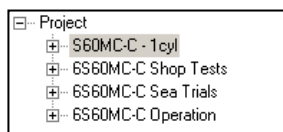
Όσον αφορά τον κύλινδρο, απαιτούνταν γεωμετρικά στοιχεία όπως η διάμετρος εμβόλου (bore), το μήκος εμβολισμού (stroke) , το μήκος του διωστήρα (connecting rod length), η σειρά ανάφλεξης(firing order) των κυλίνδρων και ο λόγος συμπίεσης (compression ratio). Όλα τα δεδομένα, πλην του λόγου συμπίεσης, ο οποίος ζητήθηκε από τον κατασκευαστή, βρέθηκαν από το Manual της μηχανής. Η επίδραση του λόγου συμπίεσης στην απόδοση της μηχανής είναι πολύ σημαντική και η τιμή που αρχικά δόθηκε από τον κατασκευαστή δεν οδηγούσε σε σωστά αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό μετά από προσομοιώσεις και δοκιμές καταλήξαμε σε ένα λόγο συμπίεσης διαφορετικό από αυτόν που αρχικά μας είχε δώσει ο κατασκευαστής ώστε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να είναι συμβατά με τα αποτελέσματα των Shop Trials.

Επιπλέον, χρειάστηκαν πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία και το χρονισμό των θυρών εισαγωγής και των βαλβίδων εξαγωγής της μηχανής καθώς και η γεωμετρία του οχετού εισαγωγής και εξαγωγής.

Για την περιγραφή του υπερπληρωτή απαιτήθηκαν οι χάρτες λειτουργίας του συμπιεστή και του στροβίλου. Επίσης απαιτήθηκαν γεωμετρικές πληροφορίες σχετικά με το στροφέιο του συμπιεστή και του στροβίλου καθώς και η χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας του φουσητήρα(blower).

#### 7.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΟΝΟΚΥΛΙΝΔΡΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Το πρώτο configuration (1 cyl) είναι ένας κύλινδρος της μηχανής και χρησιμοποιείται για μία πρώτη προσέγγιση της μηχανής χωρίς την παρουσία του υπερπληρωτή. Το μονοκύλινδρο configuration χρησιμεύει στο να ορίσουμε στοιχεία όπως ο λόγος πίεσης της μηχανής, και ο νόμος ελέγχου των βαλβίδων εξαγωγής. Ο οχετός εξαγωγής και η σάρωση της μηχανής παριστάνονται ως 2 fixed fluids.



*Εικόνα 7.1: Τα διαφορετικά configurations του Project*

Για την προσομοίωση της καύσης στον κύλινδρο, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Wiebe (single S curve). Οι παράμετροι σχεδιασμού ήταν το  $a_0, m_0, \theta_0$  (Start of the phenomenon),  $\Delta\theta$  (Estimation of Combustion Duration). Η μάζα του εγχεόμενου καυσίμου ανά κύκλο (mass of fuel injected per

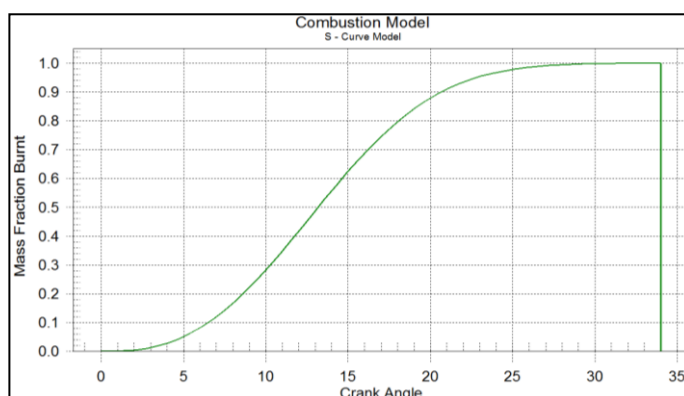
## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΤΟ MOTHER

cycle) προκύπτει μέσω της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου για ISO θερμογόνο δύναμη (10200 kcal/kg) που αναγράφεται στα Shop Trials ως:

$$m_f = \frac{SFOC_{ISO} P_{ENG}}{1000 \frac{z \cdot 60}{N_{ENG}}} \left[ \frac{kg}{cycle} \right] \quad (7.1)$$

Όπου  $SFOC$  είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου (g/kWh),  $P_{ENG}$  η ισχύς της μηχανής,  $z$  ο αριθμός των κυλίνδρων και  $N_{ENG}$  οι στροφές της μηχανής το λεπτό.

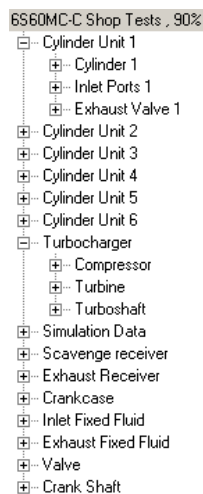
Η παράμετρος  $\alpha$  ( $5 \leq \alpha \leq 10$ ) επηρεάζει το σχήμα της σιγμοειδούς καμπύλης, δηλαδή ελέγχει τον τρόπο με τον οποίο καίγεται το καύσιμο. Γενικά, όσο πιο μικρό είναι το  $\alpha$  τόσο πιο ομαλά γίνεται η καύση, δηλαδή όσο το  $\alpha$  μειώνεται η καμπύλη μεταφέρεται προς τα δεξιά. Η παράμετρος  $m_i$  ( $1 \leq m_i \leq 3$ ) έχει αντίστροφη επίδραση από την παράμετρο  $\alpha$ . Καθώς πηγαίνουμε από μικρότερα φορτία της μηχανής σε μεγαλύτερα οι παράμετροι  $\alpha$  και  $m$  πρέπει να αυξάνονται. Στην Εικόνα 7.1 φαίνεται μία σιγμοειδής καμπύλη του μοντέλου Wiebe.



Διάγραμμα 7.1: Σιγμοειδής καμπύλη μοντέλου Wiebe

### 7.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ SHOP TRIALS

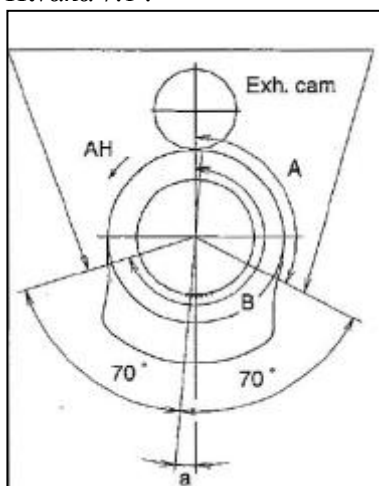
Στη συνέχεια, περνάμε στην προσομοίωση των Shop Trials. Εδώ πλέον έχουμε την πλήρη αναπαράσταση της μηχανής. Οι κύλινδροι της μηχανής αποτελούν έξι ξεχωριστά units, στα οποία περιέχονται ο κύλινδρος, οι θυρίδες εισαγωγής και οι βαλβίδες εξαγωγής. Ως ξεχωριστό unit, επίσης συμπεριλαμβάνεται το Turbocharger, αποτελούμενο από τον συμπιεστή (compressor), τον στρόβιλο (turbine) και τον άξονα μετάδοσης κίνησης (turboshaft). Η σάρωση, ο σχετός εξαγωγής και ο στροφαλοθάλαμος (crankcase), μοντελοποιούνται ως δοχεία-plenums και συνδεδεμένα με τη μηχανή υπάρχουν 2 Fixed Fluids (Inlet και Exhaust). Ο στροφαλοθάλαμος συνδέεται με τη σάρωση μέσω βαλβίδας.



Εικόνα 7.2: Χρησιμοποιούμενα BEEs κατά την προσομοίωση των Shop Trials

**7.3.1 ΝΟΜΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΥΡΙΔΩΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΕΞΑΓΩΓΗΣ**

Οι νόμοι ελέγχου των βαλβίδων εξαγωγής προκύπτουν με την πληροφορία των γωνιών ανοίγματος και κλεισίματος τους, και με γνώση της μέγιστης επιφάνειας της βαλβίδας και των θυρίδων. Οι πληροφορίες αυτές λαμβάνονται από το εγχειρίδιο της μηχανής [3]. Ο υπολογισμός των γωνιών στροφάλου ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων εξαγωγής γίνεται με τη βοήθεια της Εικόνας 7.5 και του Πίνακα 7.1 .



Εικόνα 7.3: Θέση ανοίγματος και κλεισίματος της βαλβίδας Εξαγωγής [3]

Cyl. No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Measured timing (AHEAD)	-15.1	-14.8	-14.8	-15.2	-15.1	-15.1		

(degree)

Designed timing :  $-15^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$

Πίνακας 7.1: Η γωνία  $a$  για τον υπολογισμό γωνιών ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων εξαγωγής

Από το εγχειρίδιο γνωρίζουμε ότι:

$$a = 180^{\circ} - \frac{A^{\circ} + B^{\circ}}{2} \quad (7.2)$$

Και με τη βοήθεια του σχήματος υπολογίζονται οι γωνίες ανοίγματος και κλεισίματος των θυρών εξαγωγής ως:

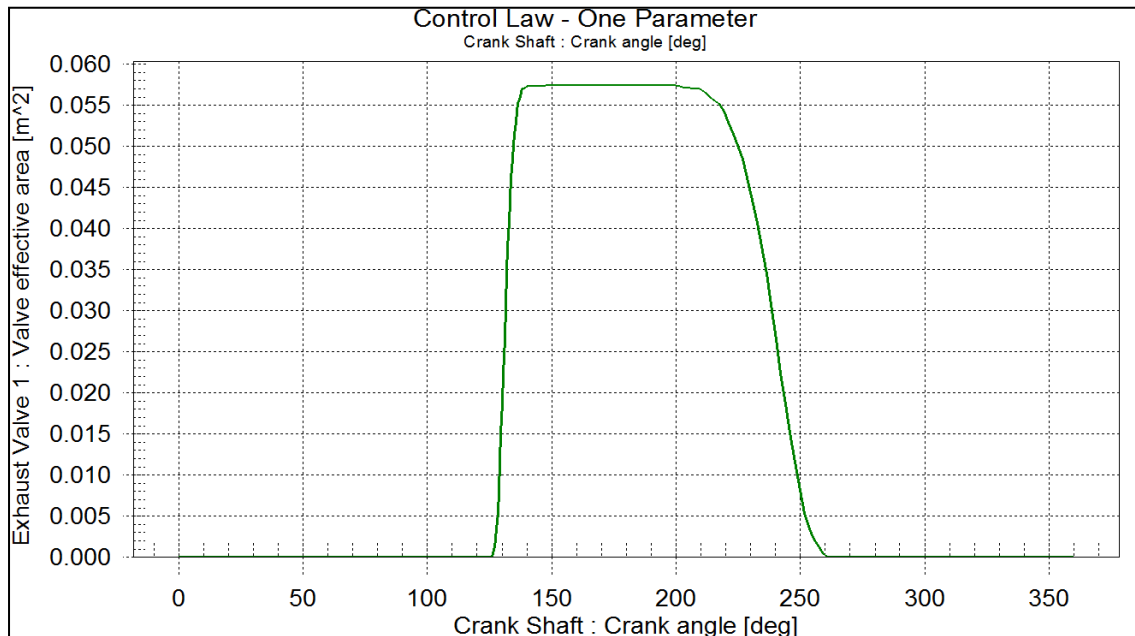
$$A^{\circ} = 180^{\circ} - (70^{\circ} + a) \quad (7.3)$$

$$B = 140^{\circ} + A^{\circ} \quad (7.4)$$

Cyl No	a [deg]	Opening CA A [deg]	Closing CA B [deg]
1	-15.1	125.1	265.1
2	-14.8	124.8	264.8
3	-14.8	124.8	264.8
4	-15.2	125.2	265.2
5	-15.1	125.1	265.1
6	-15.1	125.1	265.1

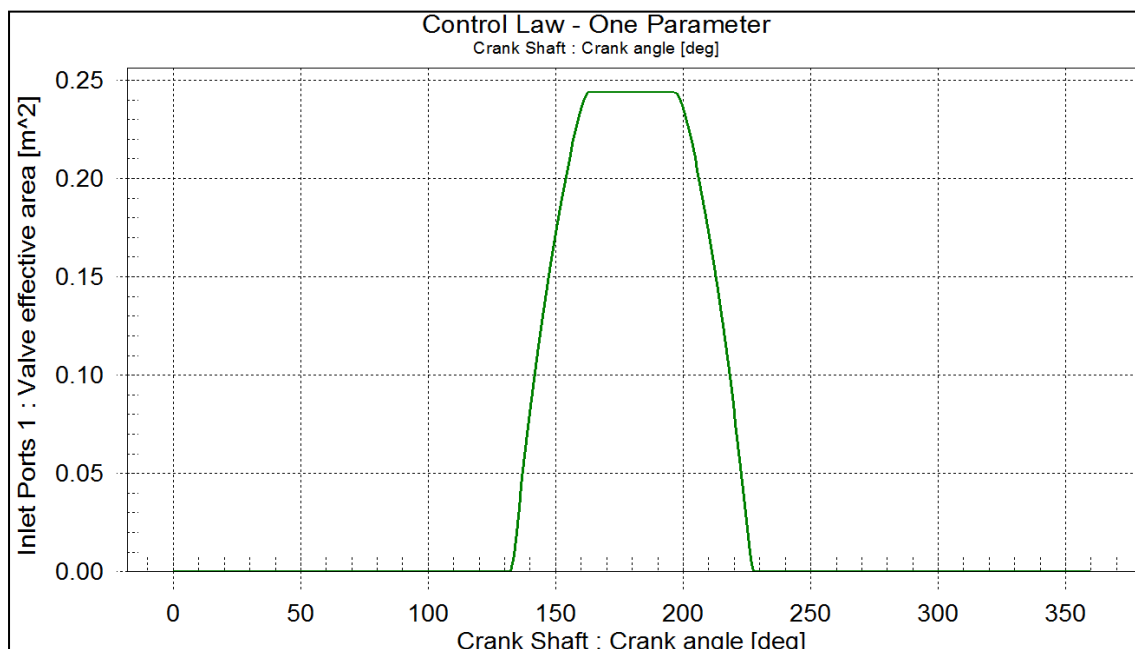
Πίνακας 7.2: Γωνίες ανοίγματος και κλεισίματος βαλβίδων εξαγωγής ανά κύλινδρο

Ο τελικός νόμος ελέγχου υπολογίστηκε με script του εργαστηρίου και φαίνεται στο Διάγραμμα 7.8.



Διάγραμμα 7.2: Ενεργή επιφάνεια βαλβίδας εξαγωγής συναρτήσει της γωνίας στροφάλου

Ο νόμος ελέγχου των θυρίδων εισαγωγής επίσης υπολογίστηκε με τη βοήθεια script του εργαστηρίου. Σαν δεδομένα εισόδου απαιτήθηκε η γεωμετρία και ο αριθμός των θυρίδων εισαγωγής και η απόσταση της κορυφής του εμβόλου (piston top-land) από την κάτω ακμή των θυρίδων εισαγωγής.



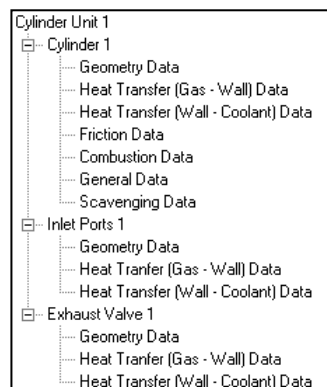
Διάγραμμα 7.3: Ενεργή επιφάνεια θυρίδων εισαγωγής συναρτήσει της γωνίας στροφάλου



### 7.3.2 ΡΥΘΜΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΟΝ ΚΥΛΙΝΔΡΟ

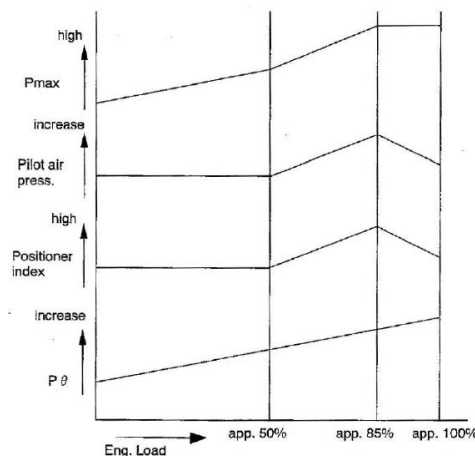
Για την καύση στους κυλίνδρους χρησιμοποιήθηκε το μοντέλων των Woschni-Anisits. Για τη μεταφορά θερμότητας από το αέριο στο τοίχωμα, χρησιμοποιείται το μοντέλο του Woschni και για τη μεταφορά θερμότητας, από το τοίχωμα στο ψυκτικό χρησιμοποιείται το Απλό Μοντέλο (Simple Model). Αρχικά ως τιμές παραμέτρων υποθέσαμε τις τιμές αναφοράς που δίνει το μοντέλο και στη συνέχεια τις αλλάζαμε με τέτοιο τρόπο ώστε να πετυχαίνουμε την αναγραφόμενη στα Shop Trials ειδική κατανάλωση καυσίμου και την αναγραφόμενη ισχύ. Για τις απώλειες τριβής χρησιμοποιείται το μοντέλο του Mc Auly et al.

Το κύριο μέρος της προσομοίωσης της μηχανής αφορούσε τη ρύθμιση του μοντέλου καύσης ώστε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να είναι συνεπή με τις αναφορές. Ως σημείο αναφοράς (reference point) θεωρήθηκε το 75% της ισχύος. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτό το σημείο είναι γιατί από τα noon reports και τα performance reports είδαμε ότι η μηχανή δουλεύει τον περισσότερο καιρό κοντά σε αυτό το φορτίο.

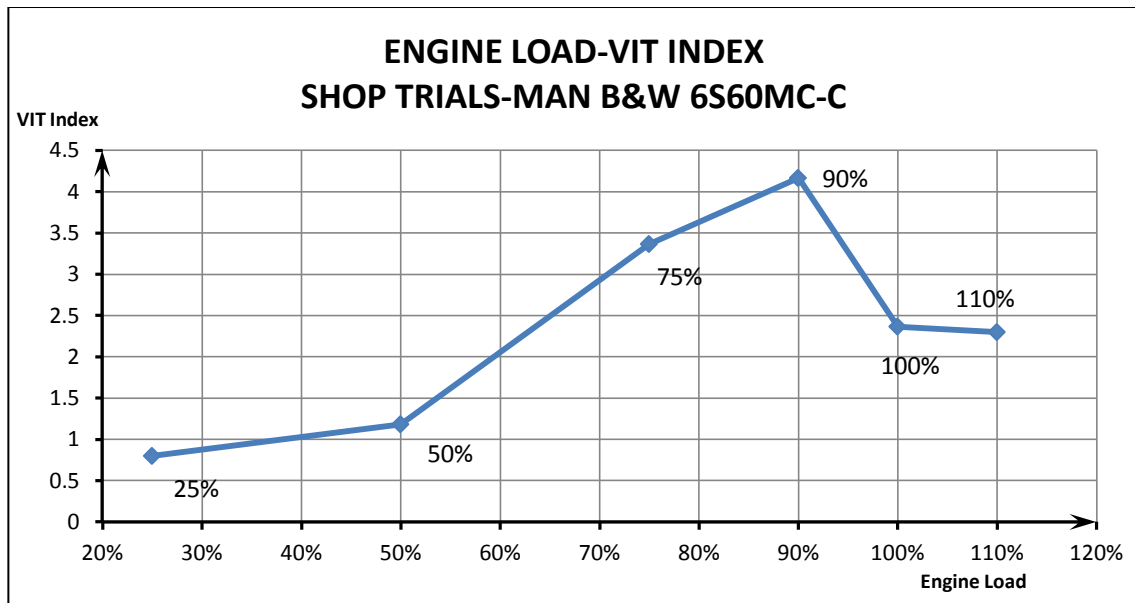


Εικόνα 7.4: Υπομοντέλα και πληροφορίες για τον κύλινδρο, τις θυρίδες εισαγωγής και τις βαλβίδες εξαγωγής

Οι σχεδιαστικές παράμετροι στο μοντέλο Woschni Anisits (WA) είναι η παράμετρος  $\alpha$ , και το Start of Static Injection, δηλαδή η γωνία έναρξης της έγχυσης καυσίμου. Το Start of Static Injection (SOI) εξαρτάται από την ύπαρξη ή όχι VIT (Variable Injection Timing) στη μηχανή. Αν η μηχανή δεν έχει VIT τότε σε όλα τα φορτία η έγχυση συμβαίνει σε συγκεκριμένη προπορεία ή βραδυπορεία (δηλαδή πριν ή μετά το ANΣ αντίστοιχα). Αν υπάρχει VIT τότε η γωνία αυτή αλλάζει ανάλογα με τις ανάγκες αύξησης ή μείωσης της πίεσης στο θάλαμο. Η συγκεκριμένη μηχανή έχει **μηχανικό** VIT (Variable Injection Timing). Η τιμή του VIT εξαρτάται από το φορτίο και συνδέεται με φθίνουσα γραμμική σχέση με το SOI. Συνεπώς επιλέχθηκαν τέτοιες τιμές του SOI για κάθε φορτίο ώστε τελικά η προκύπτουσα σχέση  $VIT_{INDEX}-SOI$  να είναι γραμμική και φθίνουσα.

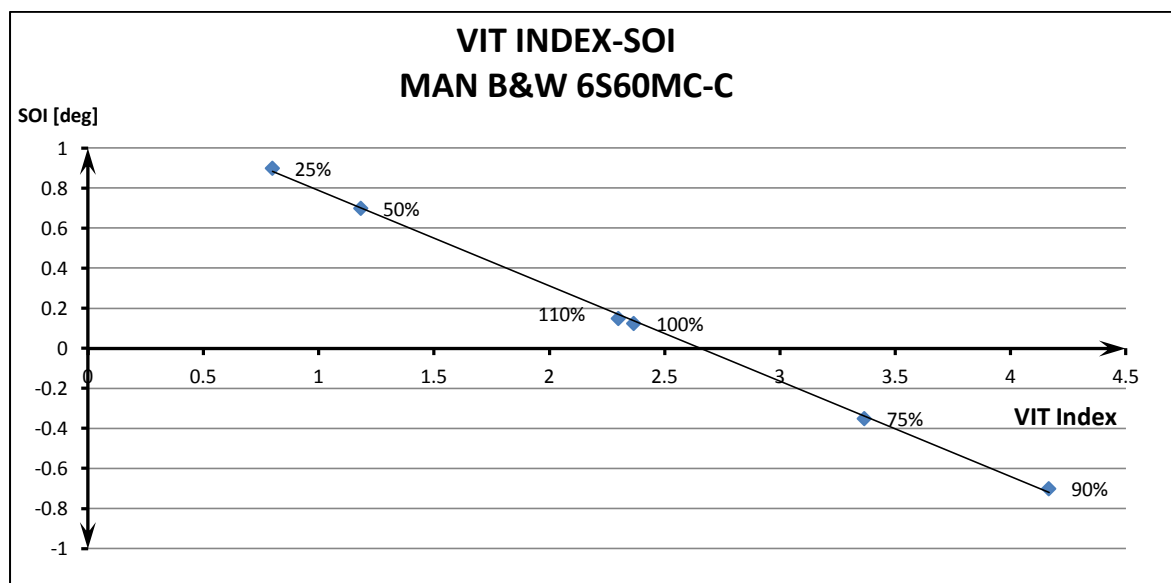


7.5: Επίδραση του VIT στην μέγιστη πίεση και στο Fuel Rack ( $P_{\theta}$ ) [3]



Διάγραμμα 7.4: VIT Index Συναρτήσει του φορτίου της μηχανής

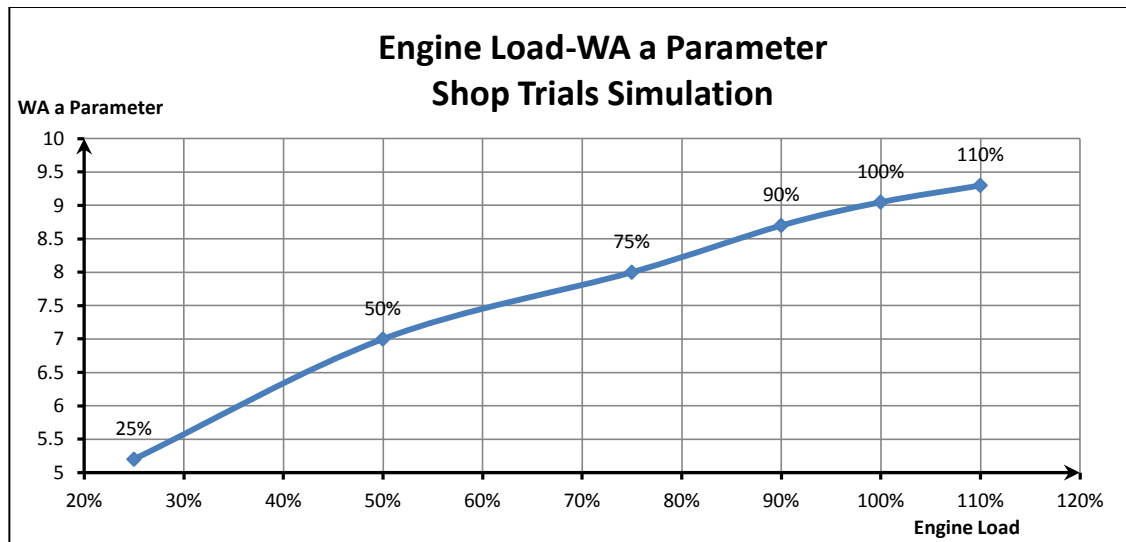
Οι τιμές του SOI τελικά βρίσκονται με δοκιμές ώστε αφενός τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Shop Trials και αφετέρου να ισχύει η γραμμική σχέση μεταξύ του VIT Index και του SOI.



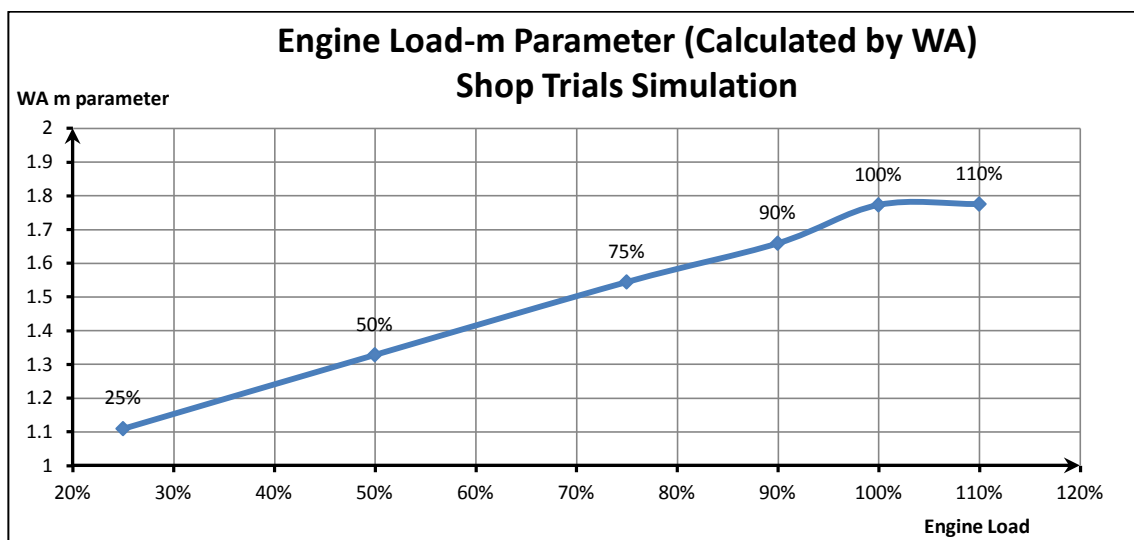
Διάγραμμα 7.5: SOI(Start of Injection) συναρτήσει του VIT Index

Έχοντας ορίσει το SOI ανάλογα με το φορτίο απομένει ,αρχικά ,ο ορισμός της παραμέτρου  $\alpha$  και στη συνέχεια να γίνει ένα *fine tuning* μέσω της παραμέτρου  $\Delta m$  και των σταθερών του μοντέλου που αναφέρθηκαν στην θεωρητική ανάλυση του μοντέλου WA.

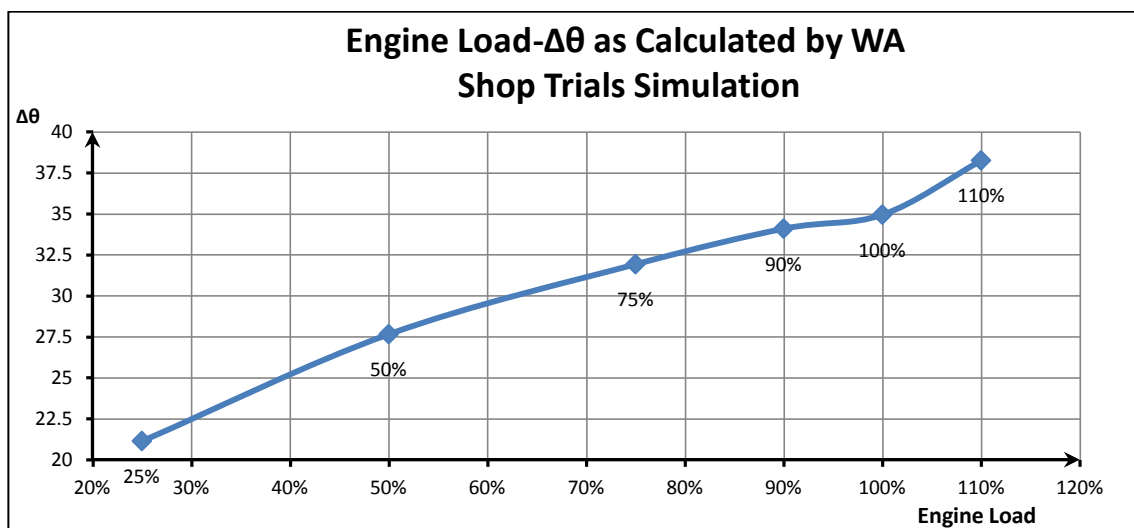
Γνωρίζουμε ότι τα  $\alpha$  και  $m$  πρέπει να αυξάνονται συναρτήσει του φορτίου της μηχανής. Αρχικά έγιναν προσομοιώσεις με το μοντέλο του Wiebe, για κάθε φορτίο ώστε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να είναι πολύ κοντά στα αποτελέσματα των αναφορών. Στη συνέχεια, οι υπόλοιπες παράμετροι ρυθμίζονταν έτσι ώστε να προσεγγίζουν κατά το δυνατό το  $m$  και  $\Delta\theta$  που υπολόγισε το μοντέλο Wiebe. Τα διαγράμματα των  $\alpha, m$  και  $\Delta\theta$  συναρτήσει του φορτίου παρατίθενται παρακάτω.



Διάγραμμα 7.6: Παράμετρος  $a$  του μοντέλου καύσης WA συναρτήσει του φορτίου της μηχανής



Διάγραμμα 7.7: Παράμετρος  $m$  υπολογιζόμενη με το μοντέλο καύσης WA συναρτήσει του φορτίου της μηχανής

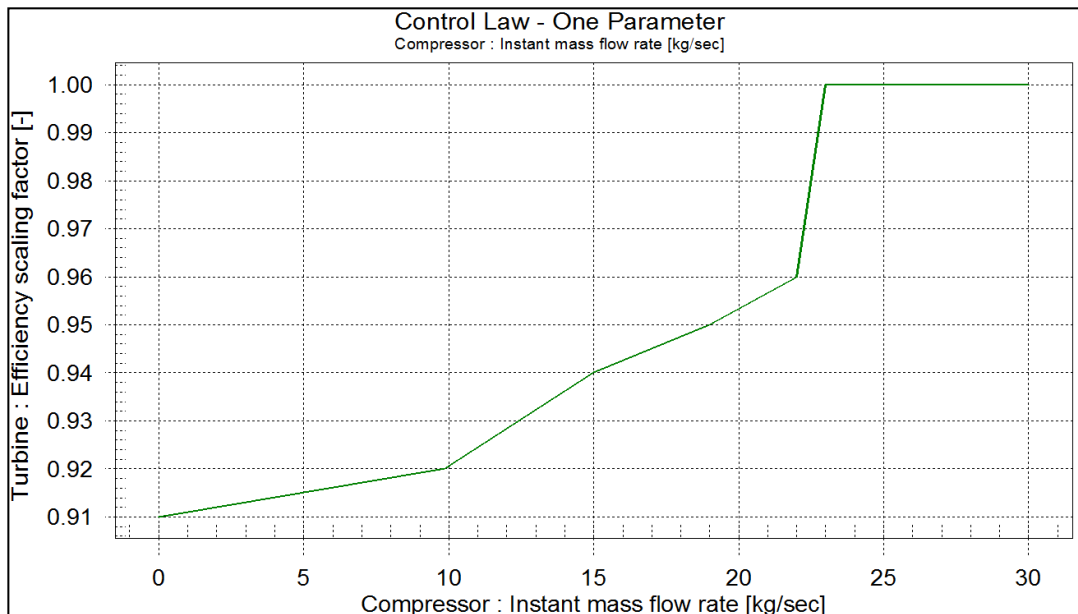


Διάγραμμα 7.8: Διάρκεια καύσης  $\Delta\theta$  σύμφωνα με το μοντέλο WA συναρτήσει του φορτίου της μηχανής

### 7.3.3 ΡΥΘΜΙΣΗ ΝΟΜΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΚΤΟΣ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ

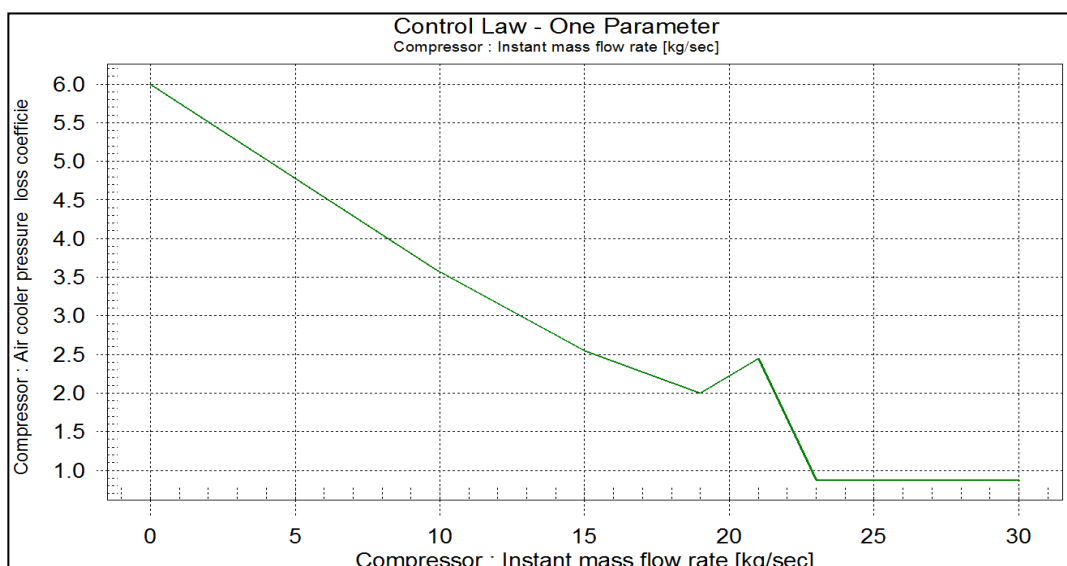
Έχοντας ρυθμίσει τα μοντέλα καύσης στον κύλινδρο, και τον νόμο ελέγχου των θυρίδων εξαγωγής και εισαγωγής απομένει να ρυθμίσουμε το νόμο ελέγχου του βαθμού απόδοσης στροβίλου και το νόμο ελέγχου πτώσης πίεσης διαμέσου του ψυγείου αέρα σάρωσης.

Οι στροφές του T/C επηρεάζονται από τη θερμοκρασία των καυσαερίων η οποία με τη σειρά της επηρεάζεται από την καύση στον κύλινδρο, το χρονισμό των βαλβίδων εξαγωγής, και από το βαθμό απόδοσης της τουρμπίνας. Συνεπώς, για να προσεγγίσουμε ικανοποιητικά τις στροφές του T/C μετά τη ρύθμιση του μοντέλου της καύσης ρυθμίζουμε το βαθμό απόδοσης του στροβίλου. Ο νόμος ελέγχου συναρτήσει της παροχής αέρα φαίνεται στο Διάγραμμα 7.9 .



Διάγραμμα 7.9: Νόμος Ελέγχου της απόδοσης του στροβίλου συναρτήσει της παροχής αέρα

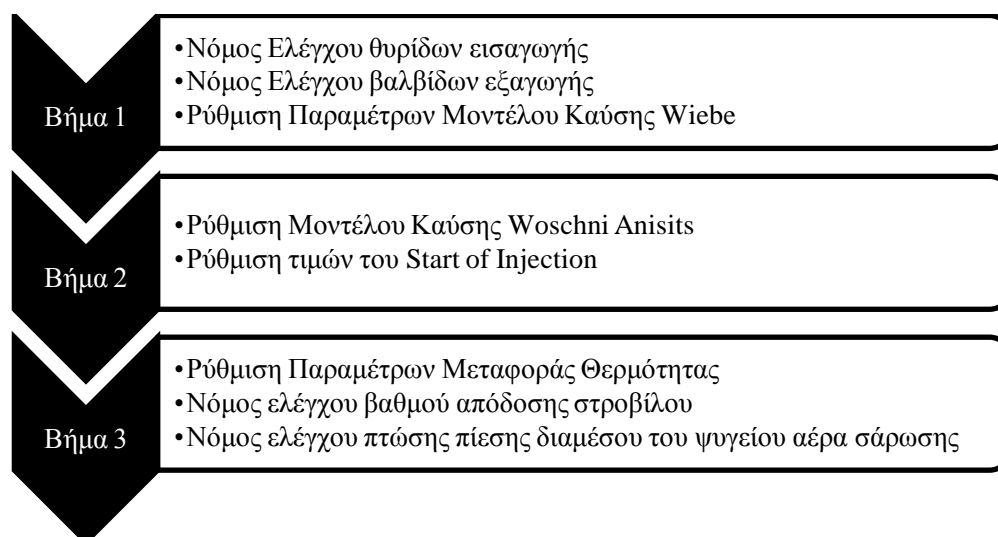
Τέλος αφού προσεγγίστηκαν όλα τα άλλα μεγέθη ορίστηκε και ο νόμος ελέγχου του συντελεστή πτώσης πίεσης διά μέσου του Air Cooler συναρτήσει της παροχής αέρα.



Διάγραμμα 7.10: Νόμος της πτώσης πίεσης δια μέσου του Air Cooler

## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΤΟ MOTHER

Στο **Διάγραμμα 7.11**, παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την προσομοίωση των Shop Trials.



*Διάγραμμα 7.11: Διάγραμμα Ροής διαδικασίας μοντελοποίησης των Shop Trials*

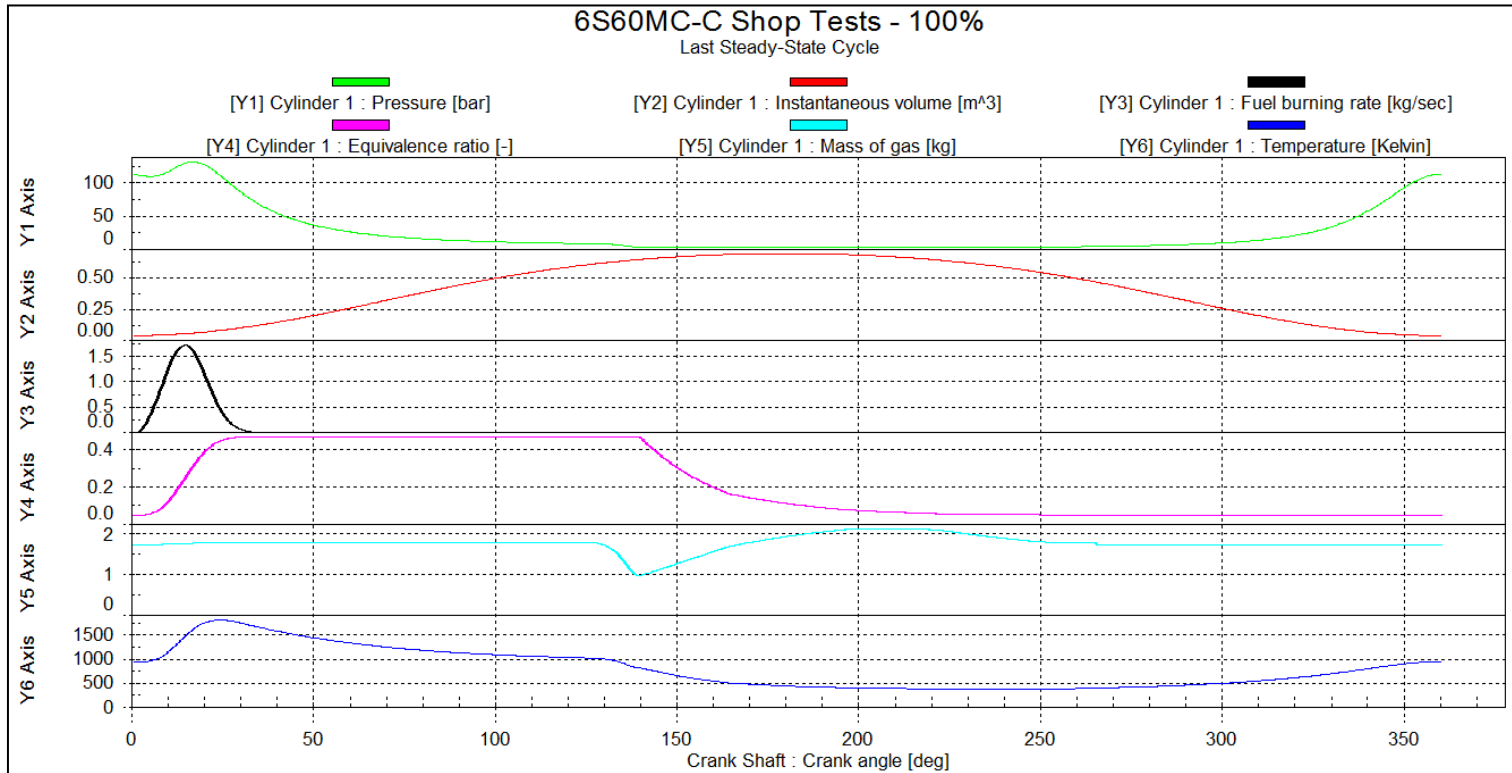
Στον **Πίνακα 7.3** τέλος παρουσιάζονται ορισμένα βασικά μεγέθη τα οποία υπολογίζονται από το MOTHER και οι τρόποι με τους οποίους επεμβαίνουμε σε περίπτωση όπου υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των τιμών της προσομοίωσης και των τιμών στα Shop Trials. Φυσικά κάθε αλλαγή δεν είναι μονοσήμαντη αλλά μία αλλαγή στις σταθερές του μοντέλου καύσης π.χ. επηρεάζει πολλά μεγέθη της μηχανής θετικά ή αρνητικά.

Υπολογιζόμενα Μεγέθη	Μέθοδος Ρύθμισης
$P_{BRAKE}$	➤ Σταθερές Μοντέλου Καύσης
SFOC	➤ Σταθερές Μοντέλου Μεταφοράς Θερμότητας
$P_{COMP}$	➤ Compression Ratio ➤ Χρονισμός βαλβίδων εξαγωγής ➤ Βαθμός απόδοσης Στροβίλου
$P_{MAX}$	➤ Χρονισμός βαλβίδων εξαγωγής ➤ Σταθερές Μοντέλου Καύσης
$T_{SCAV}$	➤ Χρονισμός θυρίδων εισαγωγής (backflow καυσαερίων)
$T_{EXH}$	➤ Χρονισμός Βαλβίδων Εξαγωγής ➤ Σταθερές Μοντέλου Καύσης ➤ Θερμοκρασία σάρωσης
T/C RPM	➤ Σταθερές Μοντέλου Καύσης ➤ Βαθμός απόδοσης Στροβίλου
A/C Pressure Drop	➤ Νόμος ελέγχου συντελεστή πτώση πίεσης διαμέσου του ψυγείου αέρα

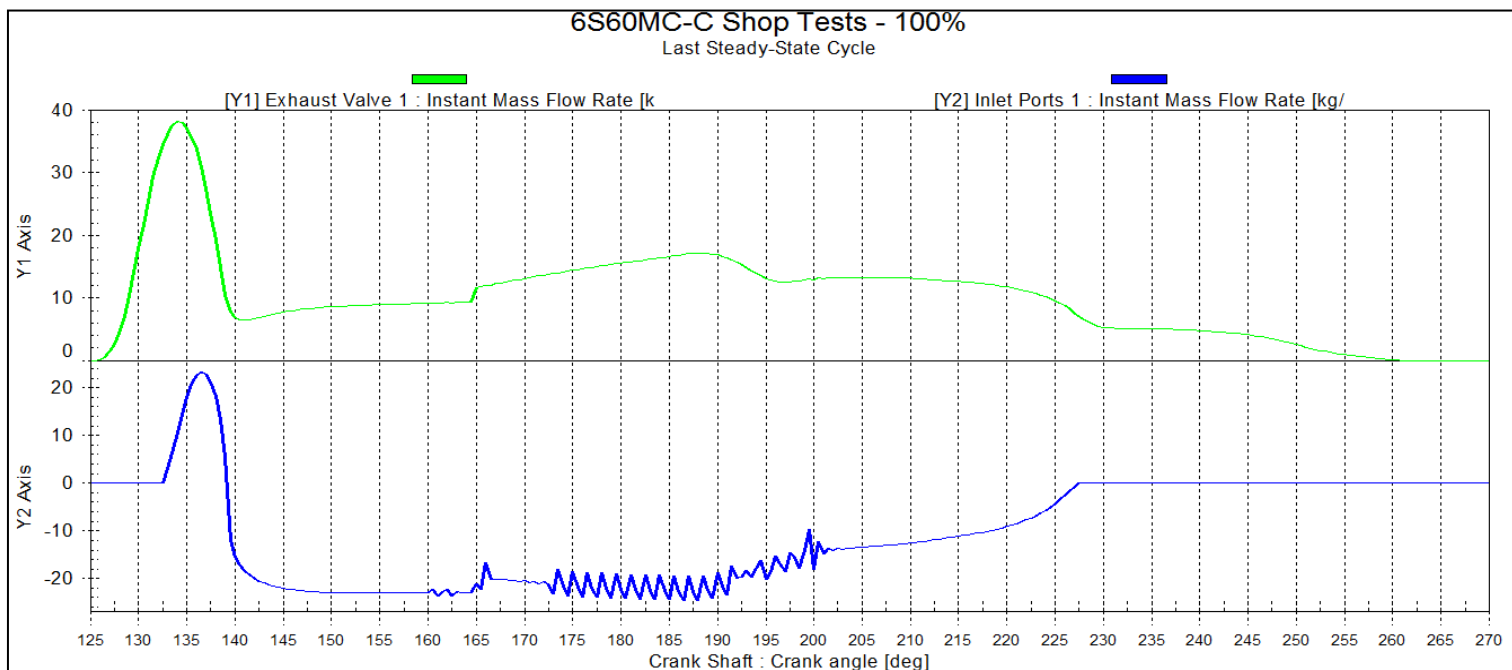
*Πίνακας 7.3: Τρόποι επέμβασης σε βασικά μεγέθη που υπολογίζει το MOTHER σε περίπτωση αποκλίσεων*

### 7.3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΩΝ SHOP TRIALS

Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστούν ορισμένα διαγράμματα από την προσομοίωση της μηχανής στα Shop Trials. Θα παρουσιαστούν τα βασικά θερμοδυναμικά μεγέθη του κυλίνδρου και οι παροχές διαμέσου των βαλβίδων εξαγωγής και θυρίδων εισαγωγής. Τέλος θα παραθέσουμε διαγράμματα της εξέλιξης των διαφόρων μορφών ενέργειας συναρτήσει του φορτίου της μηχανής.



Διάγραμμα 7.12: Τα σημαντικότερα μεγέθη του κυλίνδρου συναρτήσει της γωνίας στροφάλου [ 100% της ισχύος]



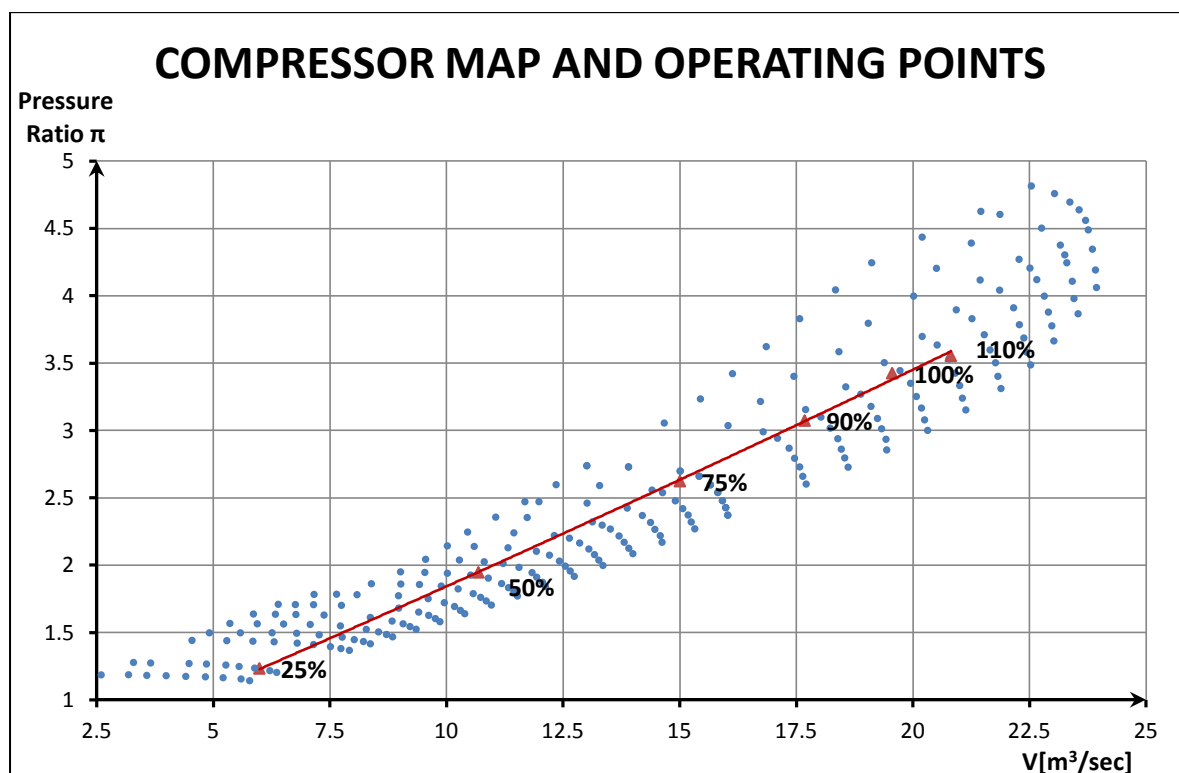
Διάγραμμα 7.13: Κοινό διάγραμμα παροχής αέρα διαμέσου των βαλβίδων εξαγωγής (Y1) και των θυρίδων εισαγωγής (Y2) [100% της ισχύος]



**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ- ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

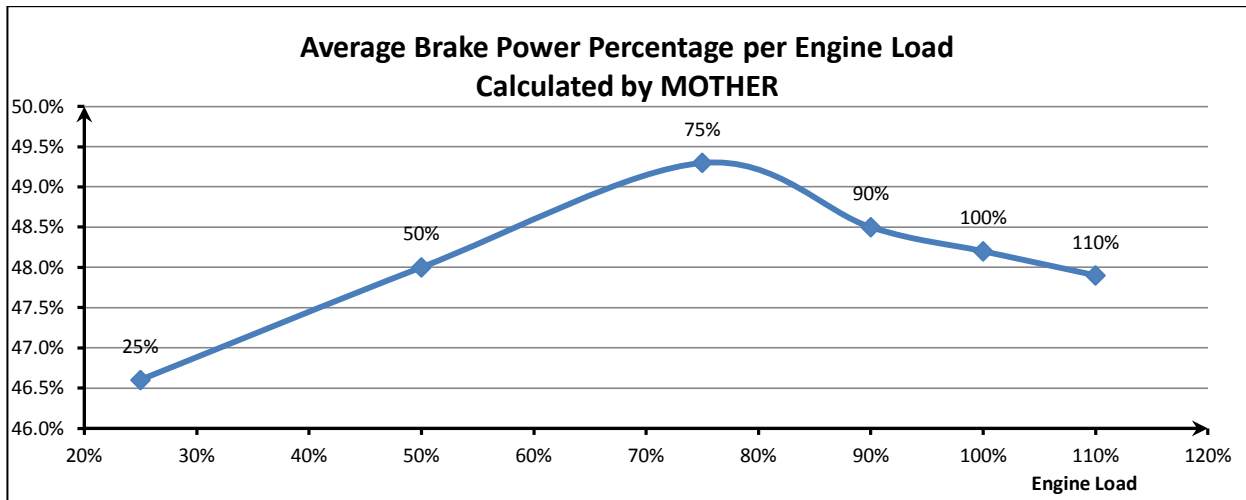
- 1 Η πίεση του κυλίνδρου παίρνει τη μέγιστη τιμή της, τη στιγμή όπου επιτυγχάνεται ο μέγιστος ρυθμός καύσης (**fuel burning rate**)
- 2 Η μέγιστη τιμή του λόγου ισοδυναμίας φ, πετυχαίνεται στο τέλος της καύσης και αρχίζει να μειώνεται με την αποκάλυψη των θυρίδων εισαγωγής λόγω εισόδου φρέσκου αέρα στον κύλινδρο.
- 3 Τη στιγμή που ανοίγουν οι θυρίδες εισαγωγής παρατηρείται **αρχική μείωση** του αέρα εντός κυλίνδρου κάτι το οποίο φαίνεται και στο διάγραμμα παροχής αέρα διαμέσου των θυρίδων εισαγωγής. Αυτό συμβαίνει διότι λόγω διαφοράς πίεσης καυσαέρια διαφεύγουν από τον θάλαμο καύσης και μπαίνουν στο χώρο της σάρωσης (exhaust gas backflow).
- 4 Η θερμοκρασία εντός του κυλίνδρου μειώνεται βαθμιαία και αρχίζει να μειώνεται δραστηκότερα από τη στιγμή που αποκαλύπτονται οι θυρίδες εισαγωγής αέρα.
- 5 Η παροχή αέρα των βαλβίδων εξαγωγής αυξάνεται ραγδαία κατά το πρώτο στάδιο του ανοίγματος τους φτάνοντας ένα τοπικό μέγιστο περίπου στις 134°, και στη συνέχεια πέφτει ραγδαία λόγω του backflow από τις θυρίδες εισαγωγής. Η μείωση αυτή φτάνει ένα ελάχιστο περίπου στις 140 μοίρες όπου το backflow σταματάει και πλέον εισέρχεται φρέσκος αέρας στον κύλινδρο. Λόγω, αυτού, η μόνη διέξοδος του καυσαερίου πλέον είναι οι βαλβίδες εξαγωγής και επιπλέον ο εισερχόμενος αέρας ωθεί το καυσαέριο προς την έξοδο. Στη συνέχεια, περίπου στις 190°, αρχίζουν να κλείνουν οι θυρίδες εισαγωγής και συνεπώς η ώθηση καυσαερίων από τον αέρα μειώνεται. Στις 200 μοίρες, όπου αρχίζουν να κλείνουν οι θυρίδες εξαγωγής, παρουσιάζεται ένα τοπικό ελάχιστο λόγω κλεισίματος των θυρών αλλά πλέον το έμβολο κατά την άνοδο του ωθεί προς τα έξω το καυσαέριο και το φρέσκο αέρα έως η βαλβίδα να κλείσει.

Η αναπαράσταση του συμπίεσής γίνεται με το χάρτη του. Στη συνέχεια παρατίθεται ο χάρτης του συμπίεσής με τα σημεία λειτουργίας του για κάθε φορτίο. Όπως βλέπουμε είμαστε αρκετά μακριά από τη γραμμή πάλμωσης.

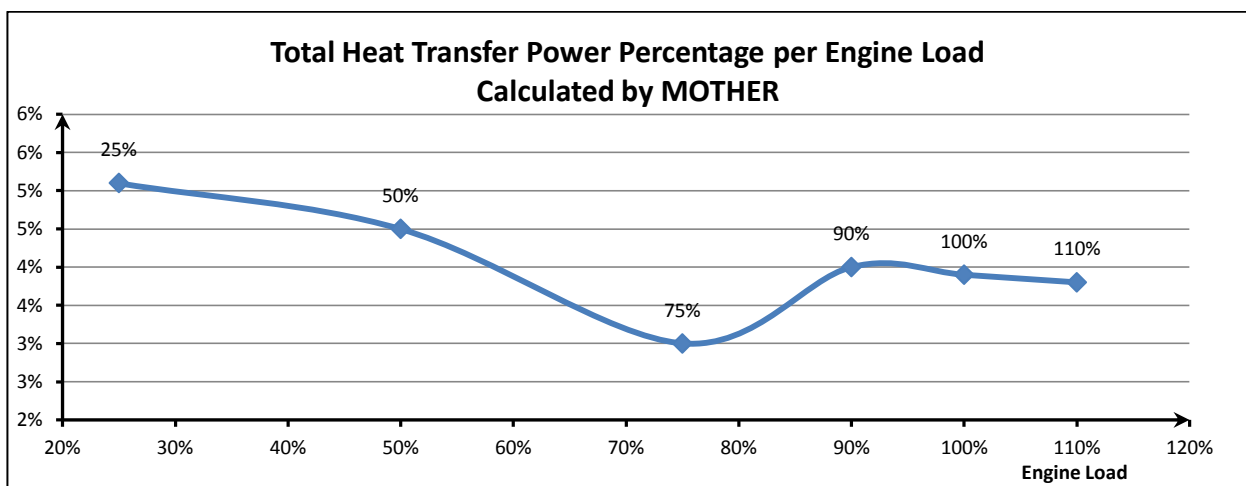


Διάγραμμα 7.14: Χάρτης συμπίεσής με τα σημεία λειτουργίας του για κάθε φορτίο της μηχανής

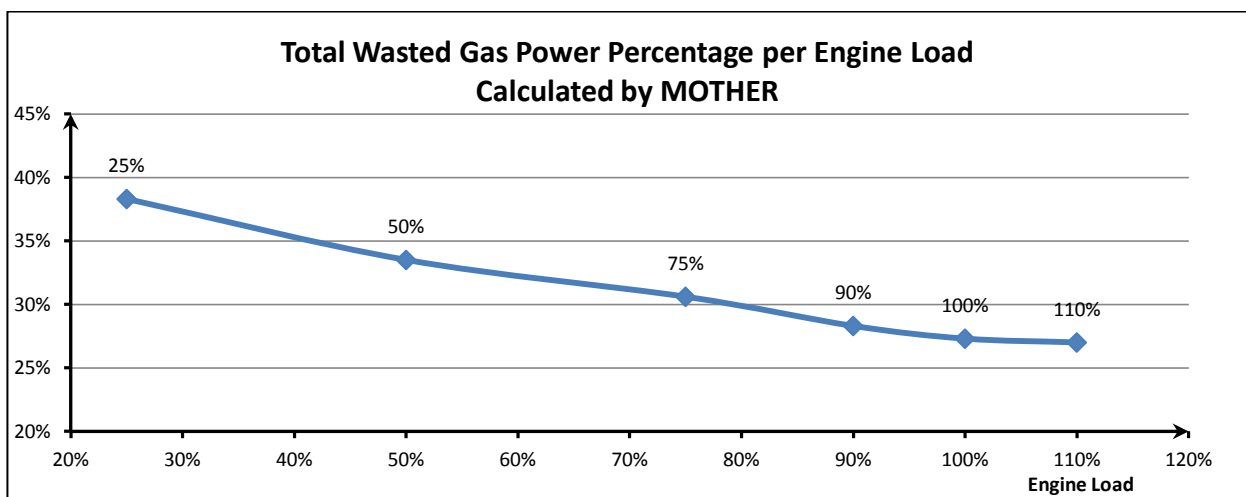
**7.3.4.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ**



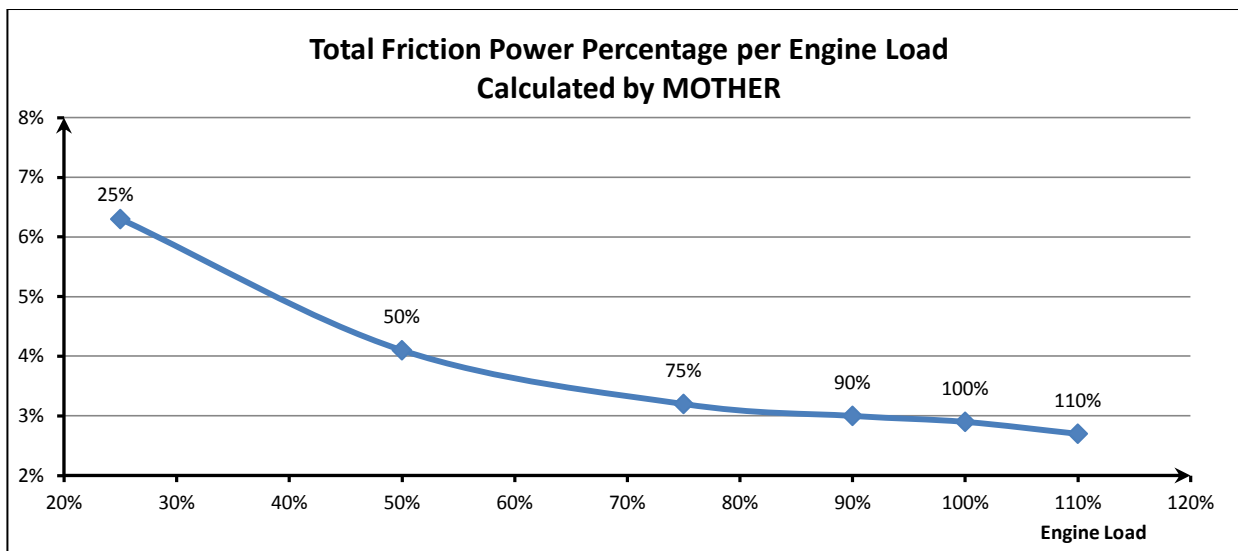
Διάγραμμα 7.15: Μεταβολή του ποσοστού της Ισχύος πέδης συναρτήσει του φορτίου



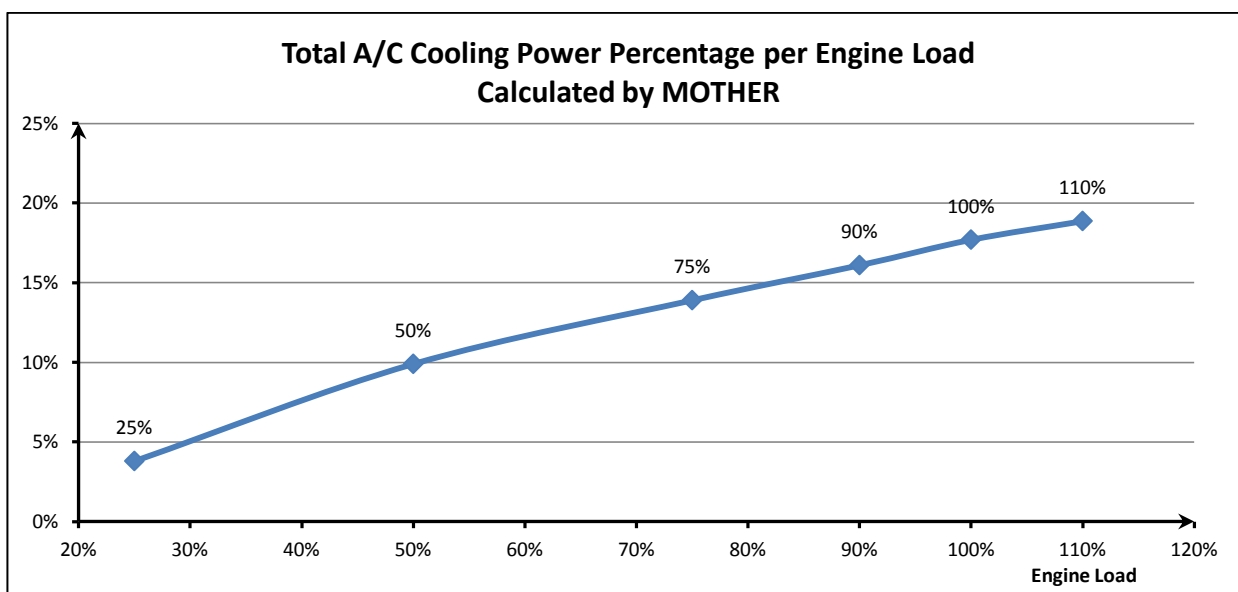
Διάγραμμα 7.16: Μεταβολή του ποσοστού της Ισχύος μεταφερόμενης θερμότητας συναρτήσει του φορτίου



Διάγραμμα 7.17: Μεταβολή του ποσοστού της θερμικής ισχύος απορριπτόμενου αερίου συναρτήσει του φορτίου



Διάγραμμα 7.18: Μεταβολή του ποσοστού της ισχύος τριβών συναρτήσει του φορτίου



Διάγραμμα 7.19: Μεταβολή της ισχύος που χάνεται στον Air Cooler συναρτήσει του φορτίου

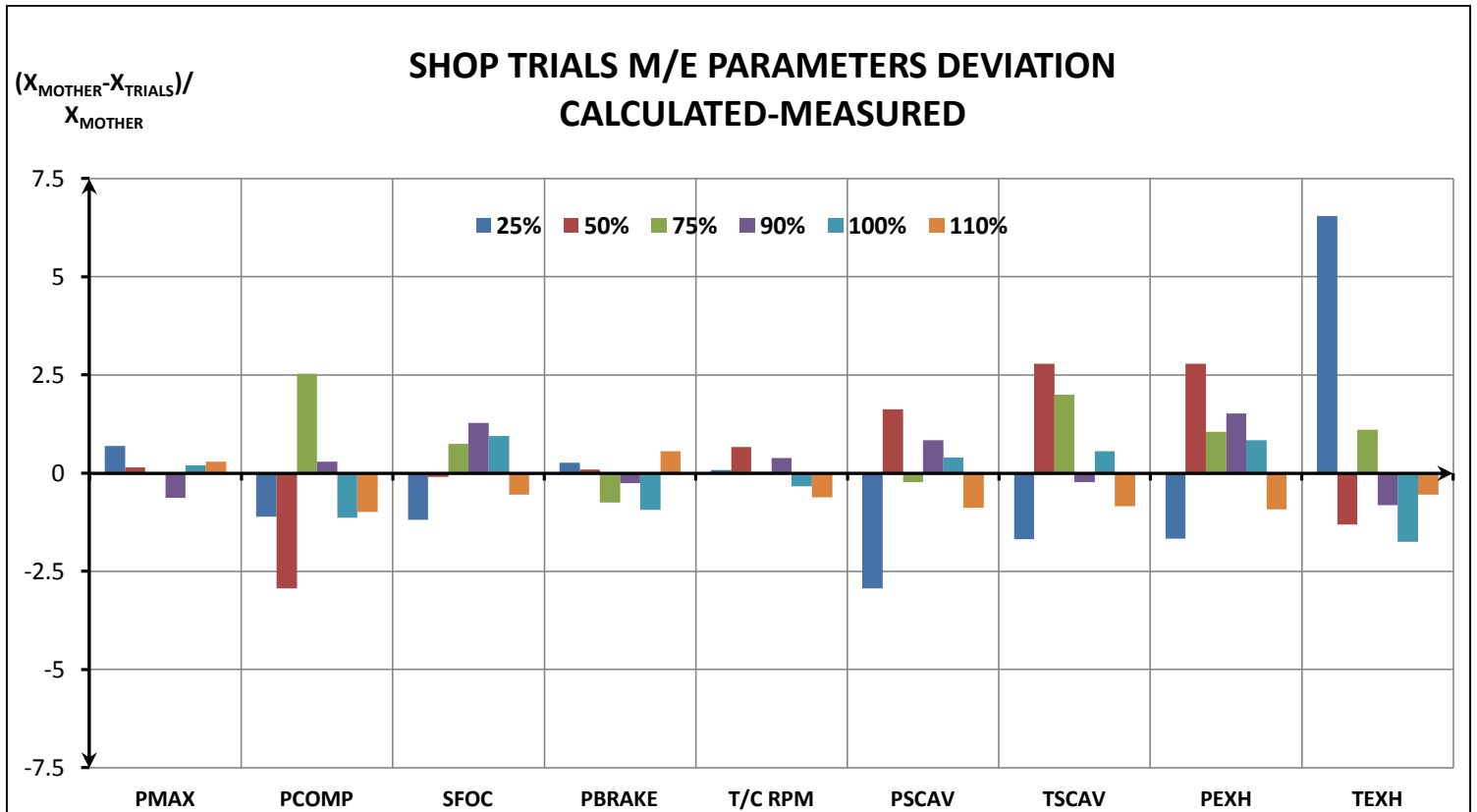
Η μέγιστη ισχύς πέδης παράγεται σε φορτίο 75% όπου έχουμε την ελαχιστοποίηση της χαμένης ισχύος λόγω μεταφοράς θερμότητας. Η μετέπειτα πτώση οφείλεται στην μεγάλη αύξηση της απορριπτόμενης θερμότητας στον Air Cooler η οποία είναι μεγαλύτερη από τη μείωση των υπόλοιπων ποσοστών θερμότητας. Η αύξηση της απορριπτόμενης ενέργειας στον Air Cooler οφείλεται, στην αύξηση της παροχής του αέρα που περνάει διά μέσω αυτού. Η πτώση πίεσης στον A/C ορίζεται μέσω νόμου ελέγχου, συναρτήσει της παροχής αέρα και παρουσιάζεται παρακάτω.

Η ισχύς του απορριπτόμενου αερίου μειώνεται, λόγω της αύξησης της απόδοσης του στροβίλου. Όσο αυξάνεται η απόδοση του στροβίλου, αυξάνεται το ποσοστό της ισχύος που απορροφάται από το στρόβιλο, και συνεπώς η ενέργεια που παραμένει στο καυσάεριο. Η αποδοτικότητα της τουρμπίνας βρέθηκε με δοκιμές και ορίζεται μέσω νόμου ελέγχου συναρτήσει της παροχής του στροβίλου.

Η ισχύς λόγω τριβών αυξάνεται συναρτήσει του φορτίου ως απόλυτη τιμή, λόγω της αύξησης της ταχύτητας του εμβόλου και της πίεσης στον κύλινδρο, αλλά μειώνεται ως ποσοστό της συνολικής ισχύος της μηχανής.

### 7.3.5 ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΤΩΝ ΑΝΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ SHOP TRIALS

Ο βασικός τρόπος να αξιολογήσουμε το μοντέλο είναι να ελέγξουμε τις αποκλίσεις των μεγεθών της μηχανής που προκύπτουν από τις προσομοιώσεις από τις αντίστοιχες μετρημένες των Shop Trials. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα όλες οι ποσότητες σε όλα τα φορτία (με εξαίρεση τη θερμοκρασία των καυσαερίων στο 25% της ισχύος) είναι όλα κάτω από 5% και η μεγάλη πλειοψηφία αυτών κάτω του 2.5 %. Οι αποκλίσεις αυτές κρίνονται ικανοποιητικές.



Διάγραμμα 7.20: Αποκλίσεις του μοντέλου για τα δεδομένα των Shop Trials

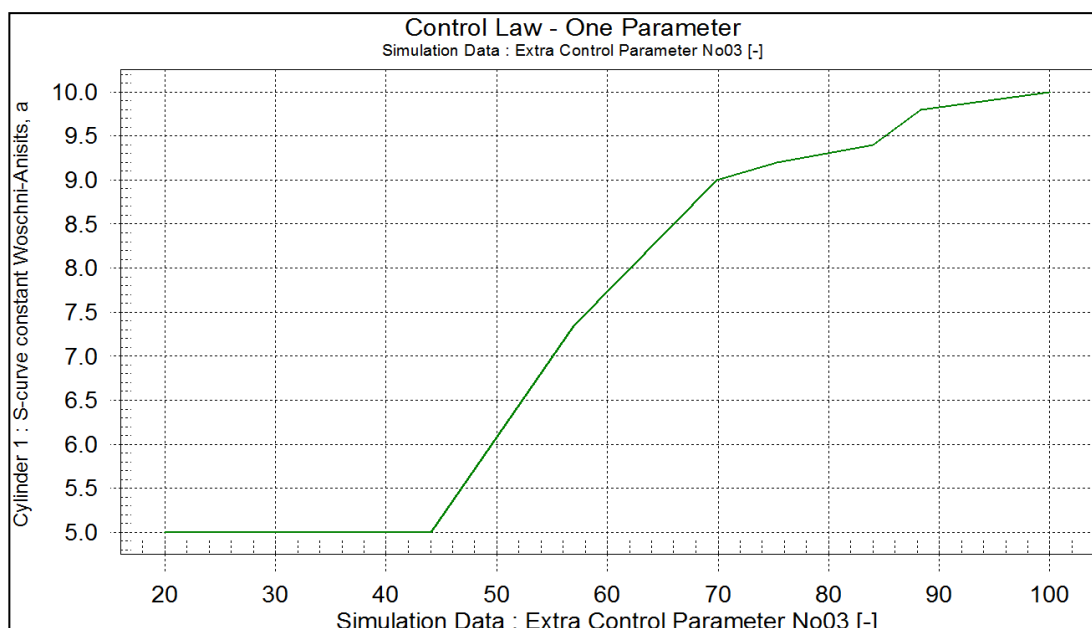
## 7.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ SEA TRIALS

Έχοντας πετύχει αποδεκτές αποκλίσεις των υπολογιζόμενων από το MOTHER μεγεθών με τις αντίστοιχες μετρημένες των Shop Trials προχωράμε στην προσομοίωση των Sea Trials της μηχανής ή αλλιώς των δοκιμών θαλάσσης. Η βασική διαφορά στη λειτουργία της μηχανής στις 2 αυτές συνθήκες είναι το χρησιμοποιούμενο καύσιμο. Το καύσιμο επηρεάζει την απόδοση της μηχανής, μέσω της **θερμογόνου δύναμης** του LCV/LHV ( Lower Calorific Value/ Lower Heating Value) και της **πυκνότητας του**. Η πρώτη ποσότητα ουσιαστικά είναι η **ποιότητα-χημική** ενέργεια του καυσίμου, και καθορίζει την ενέργεια που θα απορροφήσει η μηχανή από την καύση του. Η πυκνότητα του καυσίμου, επηρεάζει την **ποσότητα** του εγγεόμενου καυσίμου, στον θάλαμο καύσης. Συνεπώς, οι αλλαγές που θα γίνουν στο μοντέλο, σε σχέση με τα Shop Trials είναι **καθαρά** στο μοντέλο καύσης. Το μοντέλο καύσης που θα χρησιμοποιήσουμε είναι το **Woschni Anisits**. Τα πρώτα στοιχεία τα οποία πρέπει να καθορίσουμε είναι και πάλι, **η ποσότητα εγγεόμενου καυσίμου ανά κύκλο, το SOI, και την παράμετρο α**.

Από τις αναφορές των δοκιμών θαλάσσης είναι γνωστή η ειδική κατανάλωση καυσίμου (Specific Fuel Oil Consumption-SFOC) για LHV=10.200 kcal/kg (ISO LHV) και με την ειδική κατανάλωση αυτή υπολογίζουμε την ποσότητα εγγεόμενου καυσίμου ανά κύκλο όπως στην περίπτωση των Shop Trials.

Η γωνία έναρξης της έγχυσης (Start of Static Injection-SOI), ορίζεται με βάση το νόμο ελέγχου με παράμετρο το VIT. Το VIT της μηχανής εισάγεται ως Extra Control Parameter το οποίο βρίσκεται στην καρτέλα "Simulation Data". Ο νόμος ελέγχου VIT-SOI που χρησιμοποιείται είναι ο ίδιος που παρουσιάστηκε το διάγραμμα παραπάνω.

Η παράμετρος α, ορίζεται επίσης με έναν νόμο ελέγχου συναρτήσεως του κανόνα της αντλίας καυσίμου (Fuel Pump Index). Το Fuel Pump Index ή Fuel Rack εισάγεται και αυτό σαν Extra Control Parameter. Το Σαν πρώτη προσέγγιση χρησιμοποιούμε τις τιμές της παραμέτρου α που χρησιμοποιήθηκαν στα Shop Trials και στη συνέχεια τα ρυθμίζουμε ανάλογα. Τέλος κάνουμε ένα fine tuning αλλάζοντας ελαφρώς την παράμετρο Δm και τις σταθερές του μοντέλου ώστε να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα.

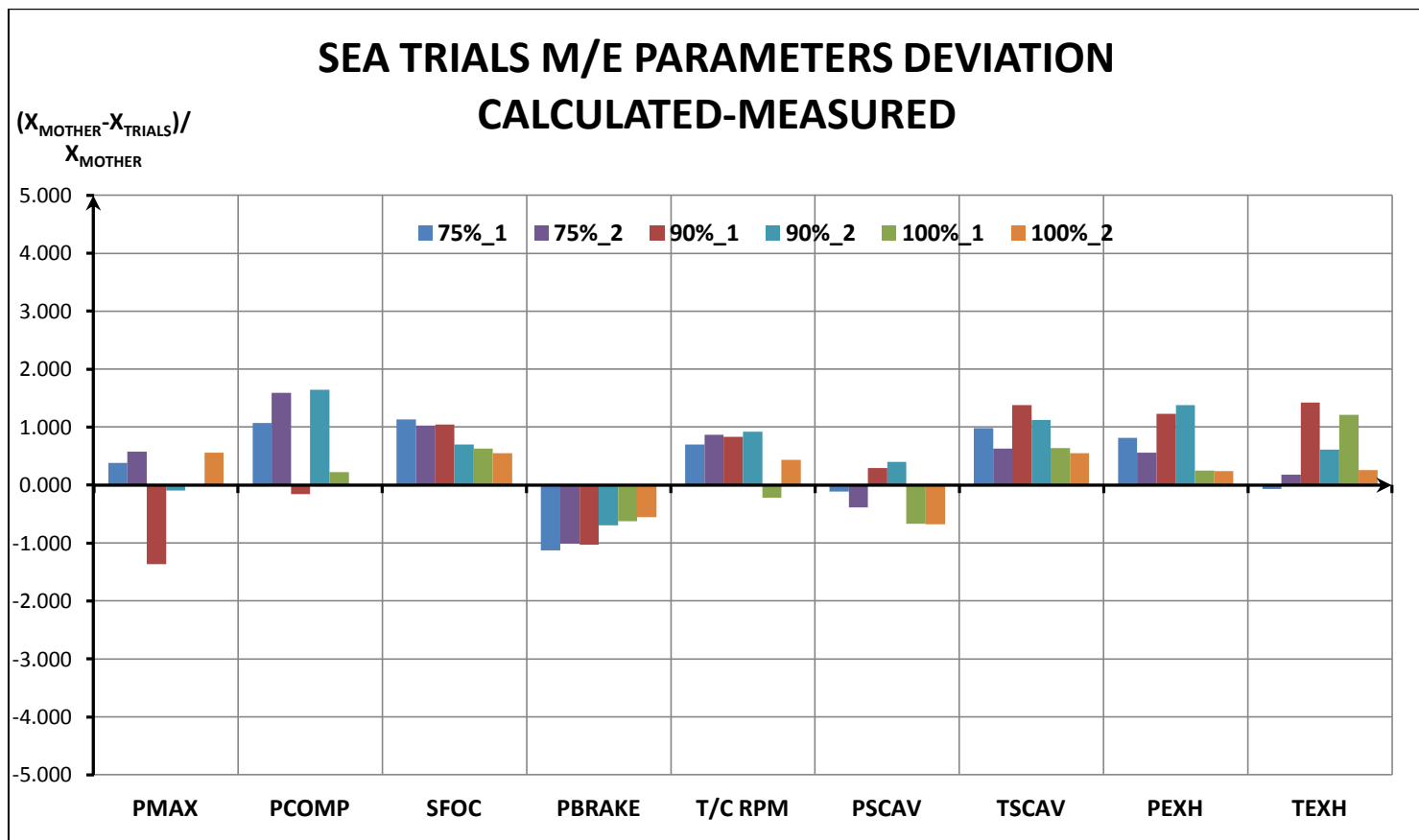


Διάγραμμα 7.21: Νόμος Ελέγχου της παραμέτρου α του μοντέλου WA συναρτήσεως του Fuel Rack

Οι νόμοι ελέγχου των βαλβίδων εξαγωγής, θυρίδων εισαγωγής και οι παράμετροι των μοντέλων απόπλυσης, μεταφοράς θερμότητας και απωλειών τριβής παραμένουν ίδιες με των Shop Trials.

### 7.4.1 ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΤΩΝ SEA TRIALS

Όμοια με πριν, ελέγχουμε την ακρίβεια του μοντέλου μας με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του με τα αντίστοιχα μετρημένα κατά τις δοκιμές. Παρατηρούμε **ακόμα καλύτερη** συμπεριφορά του μοντέλου για την περίπτωση των δοκιμών θαλάσσης. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα Όλα τα μεγέθη της μηχανής έχουν απόκλιση κάτω του 2% από τα μετρημένα στο πλοίο. Οι δείκτες 1 και 2 αναπαριστούν τις διπλές διαδρομές που γίνονται κατά τις δοκιμές θαλάσσης ώστε να αφαιρεθεί ο παράγοντας του ρεύματος.



Διάγραμμα 7.22: Αποκλίσεις του μοντέλου για τα δεδομένα των Sea Trials

### 7.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ PERFORMANCE REPORTS

Ο τελευταίος τρόπος της εκτίμησης της ποιότητας του μοντέλου μας (performance evaluation) είναι ο έλεγχος της ακρίβειας του με ορισμένες αναφορές απόδοσης (Performance Reports). Τα Performance Reports είναι αναφορές οι οποίες περιέχουν λεπτομερείς πληροφορίες διαφόρων μεγεθών της μηχανής και λαμβάνονται κάθε μήνα ή κάθε δύο μήνες. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν Performance Reports από κάθε πλοίο (ένα κάθε χρόνο περίπου) ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσον το μοντέλο προβλέπει ικανοποιητικά τη συμπεριφορά της μηχανής ακόμα και μετά από πολλές ώρες λειτουργίας.

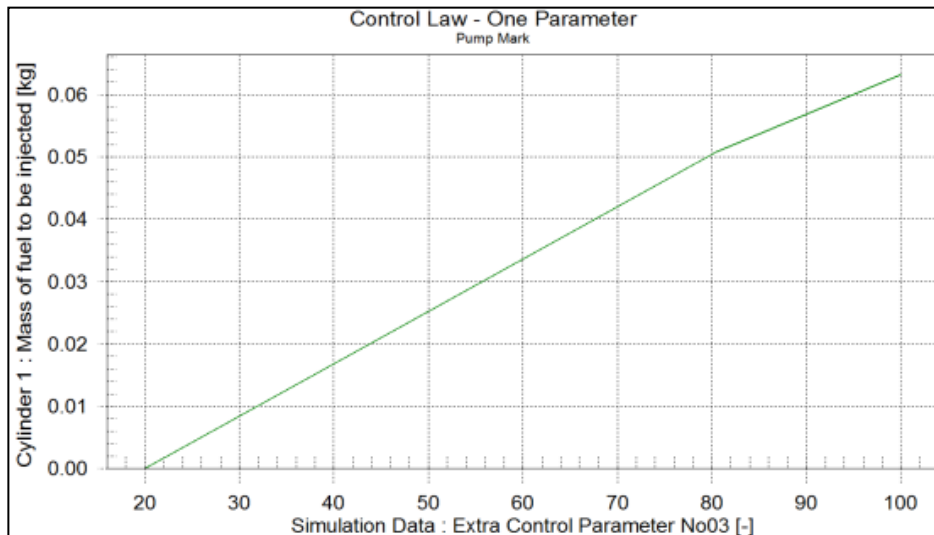
Οι αποκλίσεις ήταν, όπως και αναμενόταν άλλωστε, υψηλότερες από αυτές που παρουσιάστηκαν στα Shop Trials αλλά εντός αποδεκτών ορίων. Συγκεκριμένα σε όλα τα πλοία οι αποκλίσεις σπανίως ξεπερνούσαν το 5% και ποτέ δεν ξεπερνούσαν το 10%. Σε αυτό το σημείο οφείλουμε να αναφέρουμε ότι η ποιότητα της ακρίβειας σε ένα Performance Report είναι σαφώς χαμηλότερη από αυτή του Shop και Sea Trial όπου οι μετρήσεις γίνονται σχεδόν σε εργαστηριακό επίπεδο και τα μετρητικά είναι όλα σε άριστη κατάσταση.



## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΤΟ MOTHER

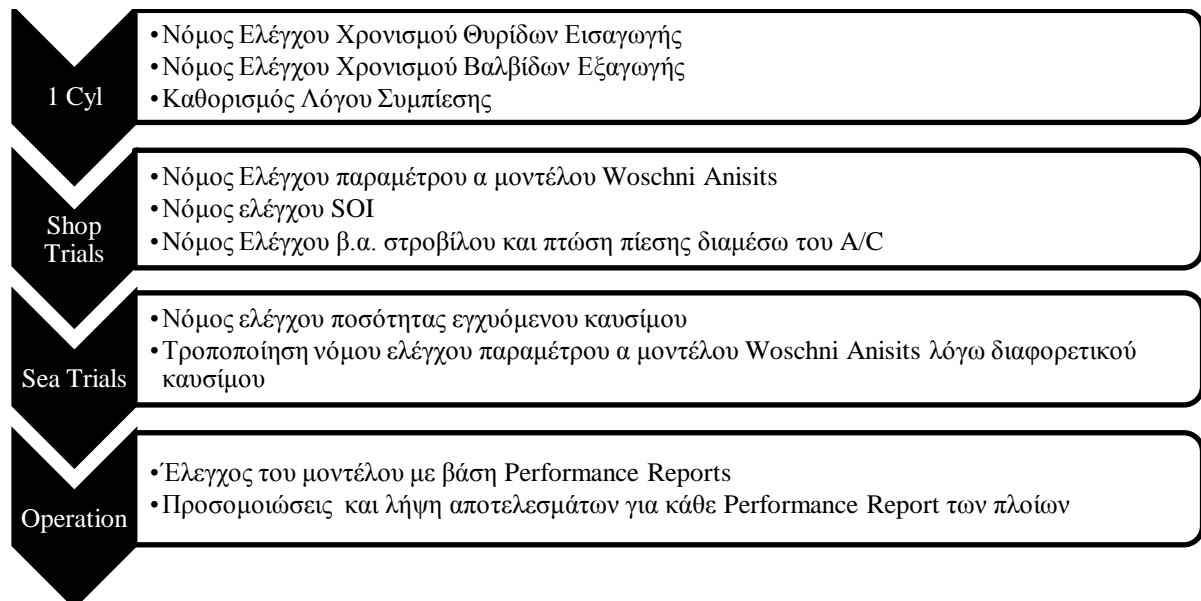
Χρησιμοποιούμε τους ίδιους νόμους ελέγχου για την παράμετρο  $\alpha$  και το SOI με τα Sea Trials και επιπλέον ορίζουμε ένα νόμο ελέγχου για την ποσότητα εγχεόμενου καυσίμου ανά κύκλο με βάση το Pump Mark. Το Pump Mark της αντλίας καυσίμου δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο από το φορτίο της μηχανής αλλά εξαρτάται από την ποιότητα και την πυκνότητα του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Για το λόγο αυτό διορθώνουμε το Pump Mark το οποίο χρησιμοποιούμε σαν μεταβλητή στον νόμο ελέγχου για να υπολογίσουμε το εγχεόμενο στον κύλινδρο καύσιμο με την παρακάτω σχέση:

$$Pump\ Mark_{COR} = Pump\ Mark \cdot \left( \frac{LHV_{REPORT}}{LHV_{TRIALS}} \right) \cdot \left( \frac{\rho_{FUEL_{REPORT}}}{\rho_{FUEL_{TRIALS}}} \right) \quad (7.5)$$



7.23: Νόμος Ελέγχου της ποσότητας εγχεόμενου καυσίμου συναρτήσει του Pump Mark

Στο **Διάγραμμα 7.24** παρατίθεται ένα διάγραμμα ροής το οποίο παρουσιάζει τα βήματα τα οποία ακολουθήθηκαν και οι νόμοι ελέγχου που ορίστηκαν σε κάθε Configuration.



Διάγραμμα 7.24: Διάγραμμα ροής διαδικασίας προσομοίωσης της μηχανής στο MOTHER ανά configuration

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

### 8.1 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η βασική πηγή δεδομένων στην παρούσα εργασία ήταν οι Αναφορές Απόδοσης των πλοίων (Performance Reports) και οι μεσημβρινές αναφορές (noon reports). Οι μεσημβρινές αναφορές χρησιμοποιούνται για την άντληση πληροφοριών αναφορικά με τον καιρό και τα ρεύματα. Τα Performance Reports λαμβάνονται κάθε ένα με δύο μήνες και τα noon reports λαμβάνονται καθημερινά. Η ακρίβεια των Performance Reports είναι πολύ υψηλότερη των noon reports. Για το λόγο αυτό τα Performance reports αποφασίστηκε να είναι ο βασικός κορμός δεδομένων και όπου χρειάζεται να αντλούμε επιλεκτικά δεδομένα από τα noon reports. Συνολικά, έχουμε στη διάθεση 137 Performance Reports εκ των οποίων ορισμένα αποκλείστηκαν καθώς θεωρήθηκαν λανθασμένες μετρήσεις.

### 8.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η βασική συλλογιστική της εργασία είναι η ακόλουθη:

*"Δεδομένης της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης, αφαιρώντας όλες τις άλλες μορφές αντίστασης τότε η εναπομένουσα αντίσταση θα αφορά αποκλειστικά την αντίσταση που οφείλεται στη ρύπανση."*

Αναφερόμαστε σε **ισχύ** πρόωσης και μορφές **αντίστασης**. Συνεπώς πρέπει να υπολογίσουμε την αντίσταση του πλοίου για την οποία αναπτύσσεται η δεδομένη ισχύς πρόωσης από τη μηχανή. Αρχικά, υπολογίζουμε την ισχύ πέδης της μηχανής με το πρόγραμμα MOTHER. Στη συνέχεια υπολογίζουμε την ισχύ ρυμούλκησης πολλαπλασιάζοντας την ισχύ πέδης με τις επιμέρους αποδοτικότητες του πλοίου.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά υπολογίζουμε τον συντελεστή ομόρρου  $w$ , και τον συντελεστή μείωσης ώσης  $t$  μέσω των προσεγγιστικών τύπων που παρατίθενται στο σχετικό κεφάλαιο. Σαν τιμή λαμβάνεται ο μέσος όρος των τιμών που προκύπτουν από τους τύπους (5.7) έως (5.10) για το συντελεστή ομόρρου  $w$ , και (5.12) έως (5.15) για τον συντελεστή μείωσης ώσης  $t$ . Στη συνέχεια, υπολογίζουμε τον βαθμό απόδοσης σχετικής περιστροφής  $\eta_R$  και τον βαθμό απόδοσης έλικας σε ελεύθερη ροή  $\eta_0$ .

$$\eta_R = 0.9922 - 0.05908 \cdot \frac{A_E}{A_0} + 0.07424(C_P - 0.0225 \cdot LCB_{MID}) \quad (8.1)$$

$$\eta_0 = \frac{THP_0}{DHP_0} = \frac{TV_0}{2\pi n_{prop} Q_0} = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_{T0}}{K_{Q0}} \quad (8.2)$$

Για τον υπολογισμό της ώσης αρχικά υπολογίζουμε το λόγο  $\frac{K_Q}{J^2}$ :

Ξέροντας ότι ισχύει:

$$\frac{K_Q}{J^2} = \frac{T}{\frac{\rho n^2 D^5}{\left(\frac{V}{nD}\right)^2}} \Rightarrow T = \frac{K_Q}{J^2} \cdot J^2 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D_{PR}^5 \Rightarrow$$

$$T = K_Q \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D_{PR}^5 \quad (8.3)$$

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Γνωρίζοντας τα  $t$  και  $w$  μπορούμε να υπολογίσουμε το βαθμό απόδοσης γάστρας  $\eta_H$  σύμφωνα με τη σχέση (8.4).

$$\eta_H = \frac{EHP}{THP_0} = \frac{R_T \cdot V}{T \cdot V_A} = \frac{\frac{R_T}{T}}{\frac{V_A}{V}} = \frac{1-t}{1-w} \quad (8.4)$$

Τέλος ο βαθμός απόδοσης αξονικού συστήματος υποτίθεται σταθερός και ίσος με  $\eta_S=0.98$ . Γνωρίζοντας όλους τους επιμέρους βαθμούς απόδοσης είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε τον **ολικό βαθμό απόδοσης προωστήριας εγκατάστασης**  $\eta_T$  σύμφωνα με τη σχέση (8.5).

$$\eta_T = \frac{EHP}{SHP} = \frac{EHP}{DHP} \cdot \frac{DHP}{SHP} = \eta_D \cdot \eta_S = \eta_H \cdot \eta_0 \cdot \eta_R \cdot \eta_S \quad (8.5)$$

Με γνώση του  $\eta_T$  υπολογίζουμε την ισχύ ρυμούλκησης και στη συνέχεια την **αντίσταση του πλοίου για πλεύση σε δεδομένη ταχύτητα**.

$$EHP = SHP \cdot \eta_T \quad (8.6)$$

$$R_T = \frac{EHP}{v_S} \quad (8.7)$$

Η έκφραση (8.6) είναι η ολική αντίσταση του πλοίου εκφρασμένη σε kN αν η EHP είναι σε kW και η ταχύτητα σε m/sec. Αποτελεί τη συνολική **δύναμη** που αντιστέκεται στην πρόσω κίνηση του πλοίου. Από τη δύναμη αυτή αφαιρούμε τη δύναμη αντίστασης  $R_{WAVE}$ , δηλαδή την πρόσθετη αντίσταση κυματισμού, και τη δύναμη αντίστασης λόγω ανέμου  $R_{AIR}$ . Η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού υπολογίζεται μέσω της μεθόδου STA2 και η αντίσταση ανέμου υπολογίζεται μέσω της αναδρομικής μεθόδου Fujiwara et al. Για τον υπολογισμό της αντίστασης κυματισμού απαιτούνται ορισμένα στοιχεία του κύματος.

Η ταχύτητα του πλοίου η οποία χρησιμοποιείται στις παραπάνω μεθόδους διορθώνεται λόγω της παρουσίας ρεύματος. Συγκεκριμένα, λαμβάνεται υπόψη μόνο η αξονική επίδραση του ρεύματος στην ταχύτητα του πλοίου, και αγνοείται η εγκάρσια συνιστώσα.

Για τον υπολογισμό της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού, απαιτείται η γνώση ορισμένων στοιχείων του κυματισμού. Τα στοιχεία αυτά είναι το ύψος κύματος, η περίοδος του κύματος και το μήκος του κύματος. Ο υπολογισμός των στοιχείων αυτών, γίνεται με τη βοήθεια της **κλίμακας Beaufort** και του παρακάτω πίνακα ο οποίος συνδέει την κλίμακα Beaufort με τα στοιχεία του φάσματος Pierson-Moskowitz το οποίο χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού.

Beaufort Scale	Sea State	Significant Wave (Ft)	Significant Range of Periods (Sec)	Average Period (Sec)	Average Length of Waves (ft)
1	0	<0.5	.5 - 1	1	2
2	1	0.5	1 - 2.5	1.5	9.5
3	2	2	1.5 - 5	3	26
4	3	3.5	2 - 6.5	4	50
5	4	6	2.5 - 8.5	5	80
6	5	8	3-10	6-7	130
7	6	18	4-13	8-9	220
8	7	32	5.5 - 17	10-12	400
9	8	52	7.5 - 23	13-15	650

Πίνακας 8.1: Pierson - Moskowitz Sea Spectrum vs Beaufort Force

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Η κλίμακα Beaufort βρίσκεται μέσω του **Πίνακα 8.2** συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου (wind speed) η οποία παρέχεται από τα Performance Reports ή τα Noon Reports.

Beaufort number	Descriptive term	Velocity equivalent at a standard height of 10 metres above open flat ground				Specifications			Probable wave height* in metres	Probable wave height* in feet
		Mean velocity in knots	m s <sup>-1</sup>	km h <sup>-1</sup>	m.p.h.	Land	Sea	Coast		
0	Calm	<1	0-0.2	<1	<1	Calm; smoke rises vertically	Sea like a mirror	Calm	-	-
1	Light air	1-3	0.3-1.5	1-5	1-3	Direction of wind shown by smoke drift but not by wind vanes	Ripples with the appearance of scales are formed, but without foam crests	Fishing smack just has steerage way	0.1 (0.1)	¼ (¼)
2	Light breeze	4-6	1.6-3.3	6-11	4-7	Wind felt on face; leaves rustle; ordinary vanes moved by wind	Small wavelets, still short but more pronounced; crests have a glassy appearance and do not break	of smacks which then travel at about 1-2 knots	0.2 (0.3)	½ (1)
3	Gentle breeze	7-10	3.4-5.4	12-19	8-12	Leaves and small twigs in constant motion; wind extends light flag	Large wavelets; crests begin to break; foam of glassy appearance; perhaps scattered white horses	Smacks begin to careen and travel about 3-4 knots	0.6 (1)	2 (3)
4	Moderate breeze	11-16	5.5-7.9	20-28	13-18	Raises dust and loose paper; small branches are moved	Small waves, becoming longer; fairly frequent white horses	Good working breeze, smacks carry all canvas with good list	1 (1.5)	3½ (5)
5	Fresh breeze	17-21	8.0-10.7	29-38	19-24	Small trees in leaf begin to sway; crested wavelets form on inland waters	Moderate waves, taking a more pronounced long form; many white horses are formed (chance of some spray)	Smacks shorten sail	2 (2.5)	6 (8½)
6	Strong breeze	22-27	10.8-13.8	39-49	25-31	Large branches in motion; whistling heard in telegraph wires; umbrellas used with difficulty	Large waves begin to form; the white foam crests are more extensive everywhere (probably some spray)	Smacks have double reef in mainsail; care required when fishing	3 (4)	9½ (13)
7	Near gale	28-33	13.9-17.1	50-61	32-38	Whole trees in motion; inconvenience felt when walking against wind	Sea heaps up and white foam from breaking waves begins to be blown in streaks along the direction of the wind	Smacks remain in harbour and those at sea lie to	4 (5.5)	13½ (19)
8	Gale	34-40	17.2-20.7	62-74	39-46	Breaks twigs off trees; generally impedes progress	Moderately high waves of greater length; edges of crests	All smacks make for harbour, if near	5.5 (7.5)	18 (25)

**Πίνακας 8.2: Η κλίμακα Beaufort**

Συνεπώς με δεδομένη την ταχύτητα του ανέμου, υπολογίζουμε την κλίμακα μποφόρ μέσω του **Πίνακα 8.2** και στη συνέχεια υπολογίζουμε τα στοιχεία του κυματισμού μέσω του **Πίνακα 8.1**.

Στον **Πίνακα 8.3** παρουσιάζονται όλες οι ποσότητες οι οποίες υπολογίζονται, η μέθοδος υπολογισμού, και οι ποσότητες που απαιτούνται σαν Input.

	Calculation Method	REQUIRED INPUT
<b>Brake Power and other M/E Parameters</b>	<i>MOTHER</i>	$N_{ENG}, P_{SCAV}, T_{SCAV}, T_{EXH}, P_{EXH}, VIT,$ <i>Pump Mark, T/C RPM,</i> <i>Ambient Conditions</i>
<b>Wave Added Resistance</b>	<i>STA 2 Empirical Method</i>	<i>Mean Draft, Wave Height, Ship Speed, Wave Length, Wave Period, Waterline Coefficient</i>
<b>Wind Resistance Coefficient</b>	<i>Fujiwara et al Regression Formula</i>	<i>Mean Draft, Corrected Wind, Angle</i>
<b>Calm Water Resistance</b>	<i>FORMDATA METHOD</i>	<i>Ship Speed, Main Dimensions and Coefficients, Displacement, Wetted Surface Area</i>
<b>Wave Characteristics (h, T, λ)</b>	<i>Interpolation from Beaufort Scale Matrices</i>	<i>Wind Speed, Beaufort Scale</i>

**Πίνακας 8.3: Μέθοδοι Υπολογισμού και απαιτούμενο Input**

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Στη συνέχεια η αντίσταση λόγω ρύπανσης προκύπτει αν αφαιρέσουμε από τη συνολική αντίσταση την αντίσταση κυματισμού, αέρα και την αντίσταση σε ήρεμο νερό.

$$R_{FOUL} = R_T - R_{WAVE} - R_{AIR} - R_{CW} \quad (8.8)$$

Και η σταθερά της αντίστασης λόγω ρύπανσης  $C_{FOUL}$  υπολογίζεται ως:

$$C_{FOUL} = \frac{R_{FOUL}}{V_S^2} \quad (8.9)$$

Δεδομένου ότι η αντίσταση λόγω ρύπανσης  $R_{FOUL}$  ως συνιστώσα αντίστασης έχει τετραγωνική σχέση με την ταχύτητα του πλοίου.

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι, υπολογισμοί και διορθώσεις προγραμματίζονται στο πρόγραμμα Matlab. Η εισαγωγή στο Matlab των απαραίτητων δεδομένων γίνεται μέσω της εισαγωγής τους σε αρχείο excel και στη συνέχεια μέσω της εντολής "xlsread" διαβάζονται και καταχωρούνται ως μεταβλητές. Τα στοιχεία τα οποία χρειάζεται ο κώδικας για να τρέξει και παρέχονται με τον ανωτέρω τρόπο φαίνονται στον **Πίνακα 8.4**.

Στοιχεία από τα Performance Reports	Στοιχεία από το Stability Booklet	Άλλα Στοιχεία
Ταχύτητα Ανέμου	$C_B$	$N_{ENG}$ (MOTHER)
Διεύθυνση Ανέμου	$C_W$	$P_{BRAKE}$ (MOTHER)
$V_S$ σε κόμβους	$C_P$	$C_{RFORM}$ (FORMDATA)
Διεύθυνση Κυμάτων	LCB	
Διεύθυνση Πλοίου	WSA	
Βύθισμα Πλοίου	$L_{WL}$	
Ταχύτητα Ρευμάτων	Displacement	
Διεύθυνση Ρευμάτων		

*Πίνακας 8.4: Εισαγόμενα στοιχεία στον κώδικα του Matlab*

### 8.3 ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Η μοντελοποίηση της μηχανής έγινε με βάση τα Shop Trials και Sea Trials του πλοίου M/V KATERINA. Παρότι οι μηχανές είναι φαινομενικά ίδιες παρατηρήσαμε διαφορές σε ορισμένα θερμοδυναμικά μεγέθη των Shop Trials μεταξύ των πλοίων, άλλες φορές σημαντικές και άλλες αμελητέες. Για το λόγο αυτό για τα πλοία VASSOS, MARIA, MARITSA εφαρμόζονται διορθώσεις στα υπολογιζόμενα από το MOTHER θερμοδυναμικά μεγέθη ανάλογα με τις διαφορές των αντίστοιχων μεγεθών στα Shop Trials του συγκεκριμένου πλοίου, σε σχέση με τα Shop Trials του πλοίου KATERINA.

<b>CORRECTIONS APPLIED TO QUANTITIES CALCULATED BY MOTHER DUE TO DEVIATIONS IN SHOP TRIALS</b>				
<b>P<sub>SCAV</sub> DEVIATION</b>				
<b>[bar]</b>				
<b>ENGINE RPM</b>	63.5	72.8	77	80
P <sub>SCKATERINA</sub> -P <sub>SCMARIA</sub>	0.03	0.03	0.08	0.12
P <sub>SCKATERINA</sub> -P <sub>SC MARITSA</sub>	0.08	0.13	0.18	0.21
P <sub>SC KATERINA</sub> -P <sub>SC VASSOS</sub>	0.12	0.13	0.16	0.17
<b>P<sub>COMP</sub> DEVIATION</b>				
<b>[bar]</b>				
<b>ENGINE RPM</b>	63.5	72.8	77	80
P <sub>COMP KATERINA</sub> -P <sub>COMP MARIA</sub>	5	4.3	7.2	8.5
P <sub>COMP KATERINA</sub> -P <sub>COMP MARITSA</sub>	3.1	4.1	6.5	7.6
P <sub>COMP KATERINA</sub> -P <sub>COMP VASSOS</sub>	3.8	3.7	5.5	5.1
<b>P<sub>MAX</sub> DEVIATION</b>				
<b>[bar]</b>				
<b>ENGINE RPM</b>	63.5	72.8	77	80
P <sub>MAX KATERINA</sub> -P <sub>MAX MARIA</sub>	1.3	0.5	1.5	0.1
P <sub>MAX KATERINA</sub> -P <sub>MAX MARITSA</sub>	0	0.7	0.5	0
P <sub>MAX KATERINA</sub> -P <sub>MAX VASSOS</sub>	0.8	1.3	1	1
<b>TURBINE INLET TEMPERATURE DEVIATION</b>				
<b>[K]</b>				
<b>ENGINE RPM</b>	63.5	72.8	77	80
T <sub>T/C INLET KATERINA</sub> -T <sub>T/C INLET MARIA</sub>	-20	-20	-25	-20
T <sub>T/C INLET KATERINA</sub> -T <sub>T/C INLET MARITSA</sub>	-30	-40	-45	-50
T <sub>T/C INLET KATERINA</sub> -T <sub>T/C INLET VASSOS</sub>	-30	-40	-45	-40
<b>TURBOCHARGER REVOLUTIONS</b>				
<b>[RPM]</b>				
<b>ENGINE RPM</b>	63.5	72.8	77	80
T/C RPM <sub>KATERINA</sub> -T/C RPM <sub>MARIA</sub>	0	-200	-100	0
T/C RPM <sub>KATERINA</sub> -T/C RPM <sub>MARITSA</sub>	-200	-350	-400	-350
T/C RPM <sub>KATERINA</sub> -T/C RPM <sub>MARIA</sub>	-100	-200	-200	-150

Πίνακας 8.5: Αποκλίσεις μεγεθών στα Shop Trials μεταξύ των πλοίων

Η διόρθωση γίνεται συναρτήσει των στροφών της μηχανής οι οποίες είναι ίδιες σε όλα τα πλοία (για ίδιο φορτίο μηχανής). Για ενδιάμεσες τιμές των στροφών η διόρθωση προκύπτει με γραμμική παρεμβολή.



## 8.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ

Στο σημείο αυτό οφείλουμε να αναφέρουμε ότι όλα τα δεδομένα με τα οποία θα εργαστούμε αποτελούν **μετρήσεις, και υπόκεινται σε σφάλματα**. Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή τα αποτελέσματα του θερμοδυναμικού μοντέλου **υποκαθιστούν τις αναξιόπιστες μετρήσεις** ισχύος και κατανάλωσης καυσίμου και κάνουμε την παραδοχή ότι τα δεδομένα που εισάγουμε στο μοντέλο μας είναι κατά το δυνατό αξιόπιστα. Θα μπορούσαμε να ομαδοποιήσουμε τα διαθέσιμα δεδομένα σε 2 μεγάλες ομάδες. Αυτά που σχετίζονται με τον υπολογισμό της ισχύος της μηχανής και ουσιαστικά αποτελούν τα Input Data του MOTHER και αυτά που σχετίζονται με τον υπολογισμό της αντίστασης.

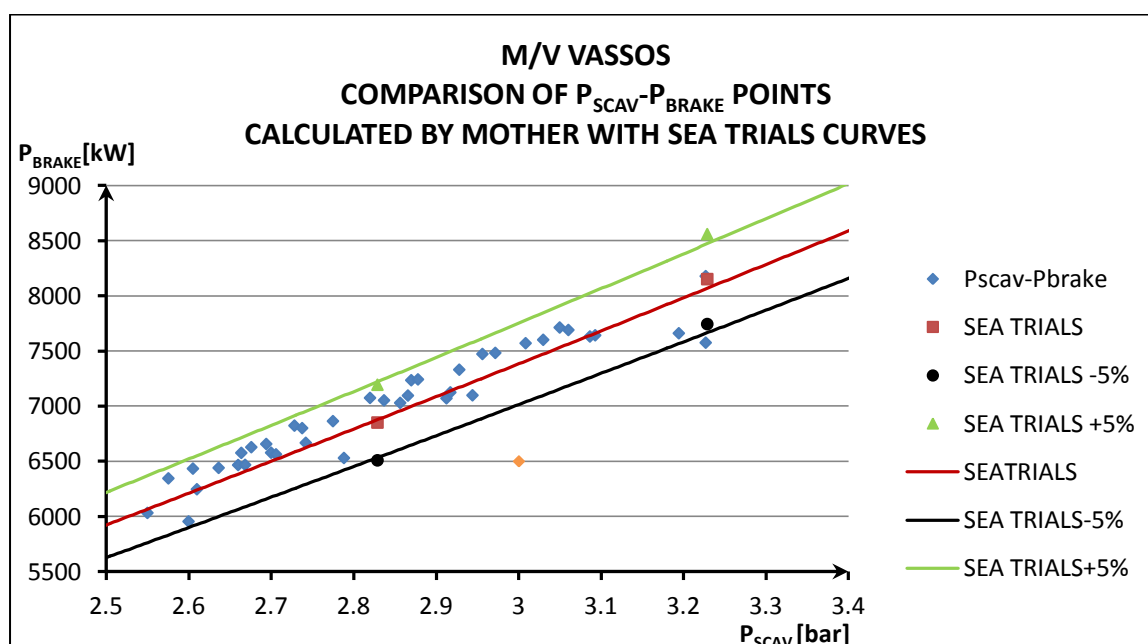
Οι παράμετροι οι οποίοι σχετίζονται με τον υπολογισμό της ισχύος είναι γενικά φερέγγυες μετρήσεις, εκτός από τον υπολογισμό της πίεσης στη σάρωση  $P_{SCAV}$ . Η πλέον αφερέγγυα, και δυστυχώς η πιο σημαντική μέτρηση, είναι η μέτρηση της **ταχύτητας του πλοίου-speed through water**. Αρχικά, το ίδιο το μετρητικό της ταχύτητας του πλοίου είναι αμφισβητούμενης ακρίβειας και επιπλέον οι πληροφορίες για την ταχύτητα και τη διεύθυνση των ρευμάτων λαμβάνονται από χάρτες και δεν είναι μετρημένα εκείνη τη στιγμή.

Για το λόγο αυτό αναπτύξαμε μία διαδικασία **απόρριψης αφερέγγυων σημείων-μετρήσεων**. Αρχικά θα γίνει μία σύγκριση των **μετρήσεων** με τις καμπύλες των Sea Trials. Στη συνέχεια θα γίνει μία σύγκριση, συν τω χρόνω, της διαφοράς των αποτελεσμάτων του MOTHER από τις **μετρήσεις** βασικών παραμέτρων της μηχανής ( $P_{SCAV}$ , T/C RPM,  $T_{TURBO INLET}$ ). Και στις 2 περιπτώσεις αν ένα σημείο απέχει πολύ θα αποκλείεται από την μετέπειτα ανάλυση.

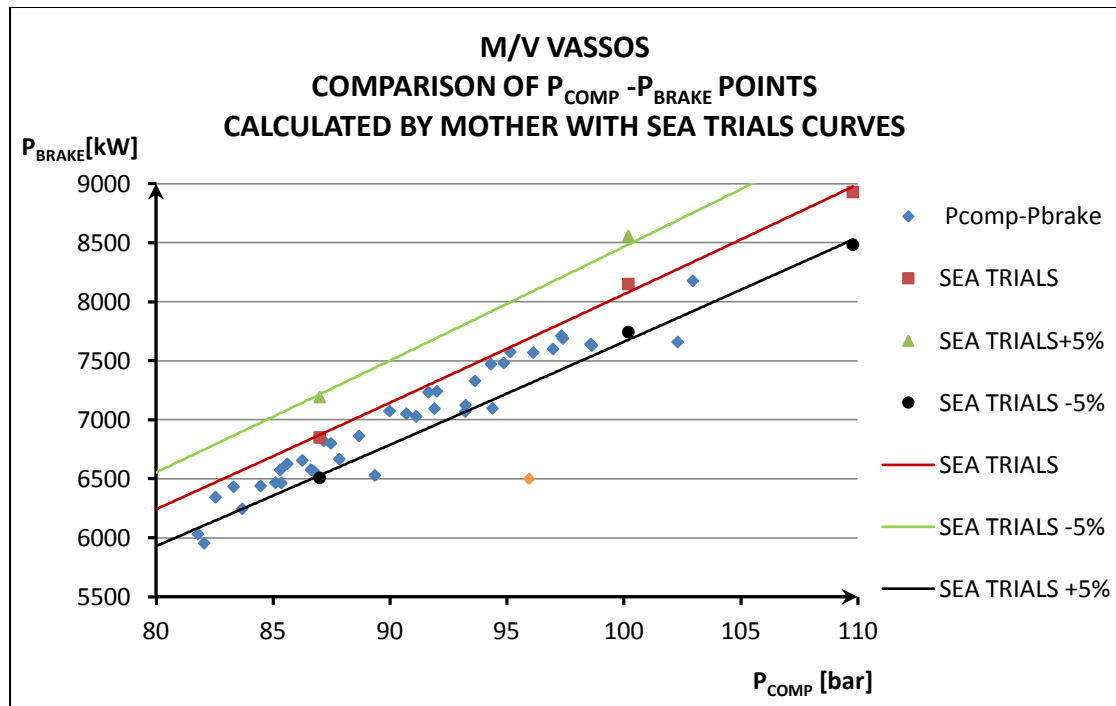
### 8.4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΑ SEA TRIALS

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα γίνει σύγκριση βασικών παραμέτρων μηχανής με τα Sea Trials. Για κάθε πλοίο θα γίνει σύγκριση των τιμών που υπολογίζονται από το MOTHER για τα ζεύγη " $P_{SCAV}-P_{BRAKE}$ ", " $P_{COMP}-P_{BRAKE}$ " και " $T/C RPM-T_{TURBO INLET}$ " με τις αντίστοιχες των Sea Trials. Τα σημεία τα οποία σημειώνονται με πορτοκαλί χρώμα θεωρούνται ότι έχουν μη αποδεκτή απόκλιση και αποκλείονται από την μετέπειτα ανάλυση.

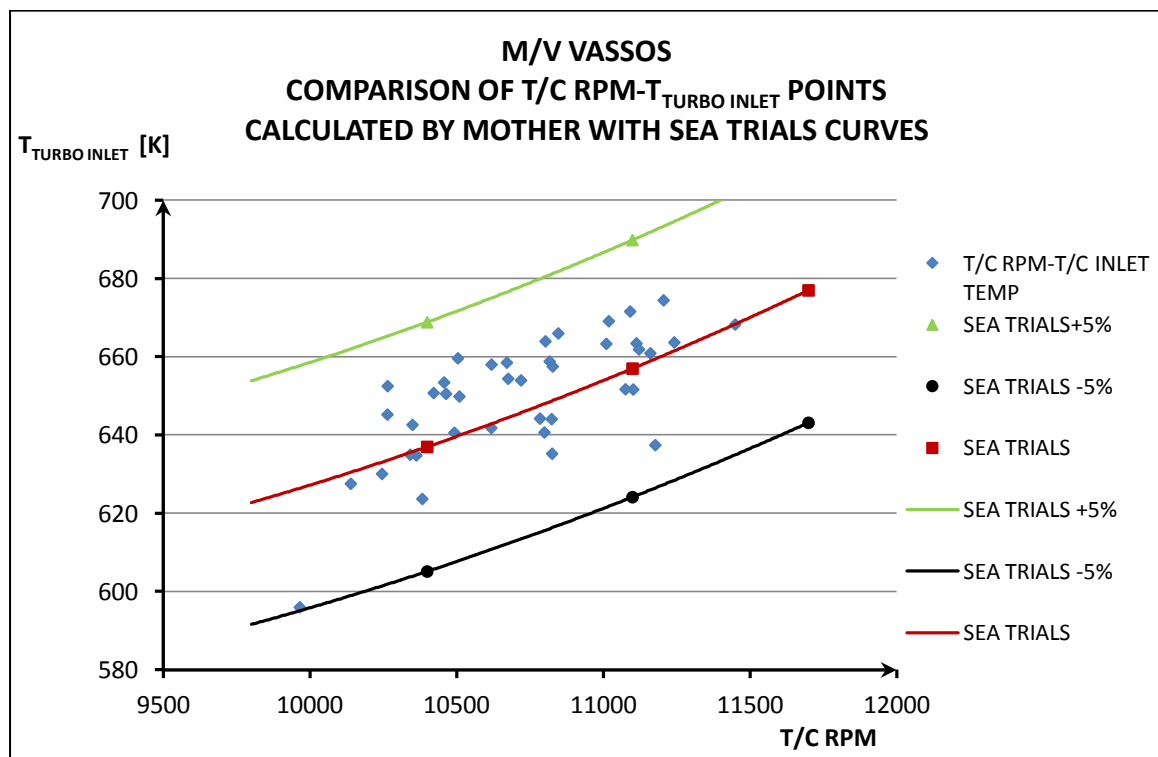
#### 8.4.1.1 M/V VASSOS



Διάγραμμα 8.1: Σύγκριση των τιμών  $P_{SCAV}-P_{BRAKE}$  που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V VASSOS)



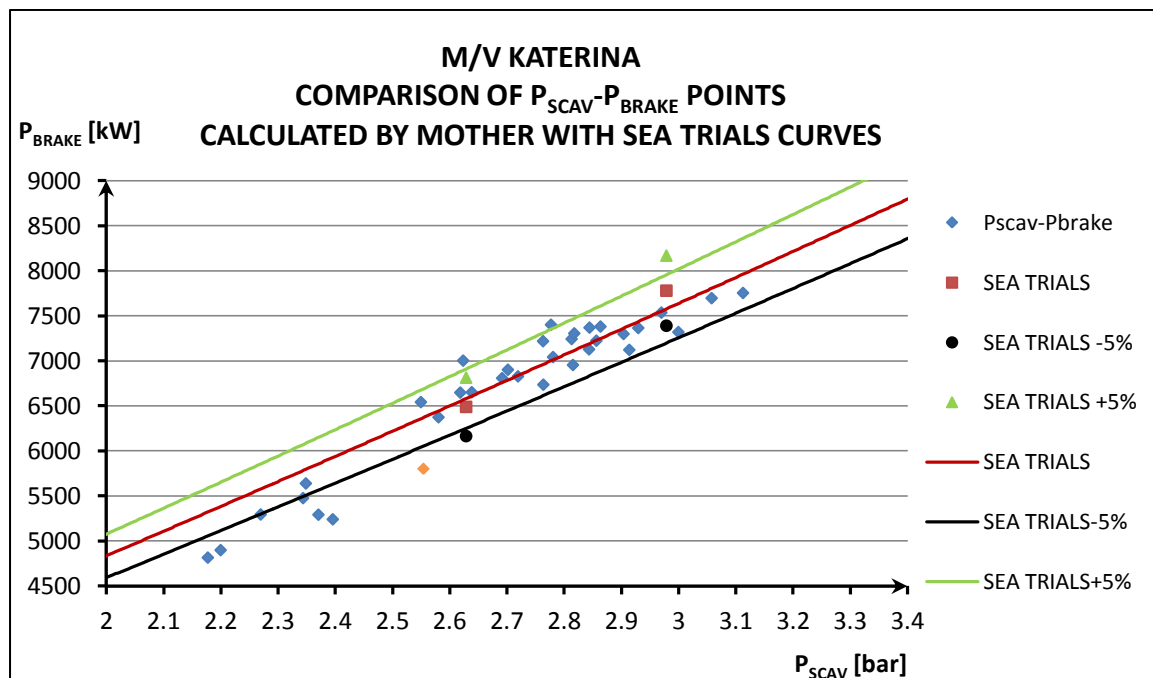
Διάγραμμα 8.2: Σύγκριση των τιμών  $P_{COMP} - P_{BRAKE}$  που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V VASSOS)



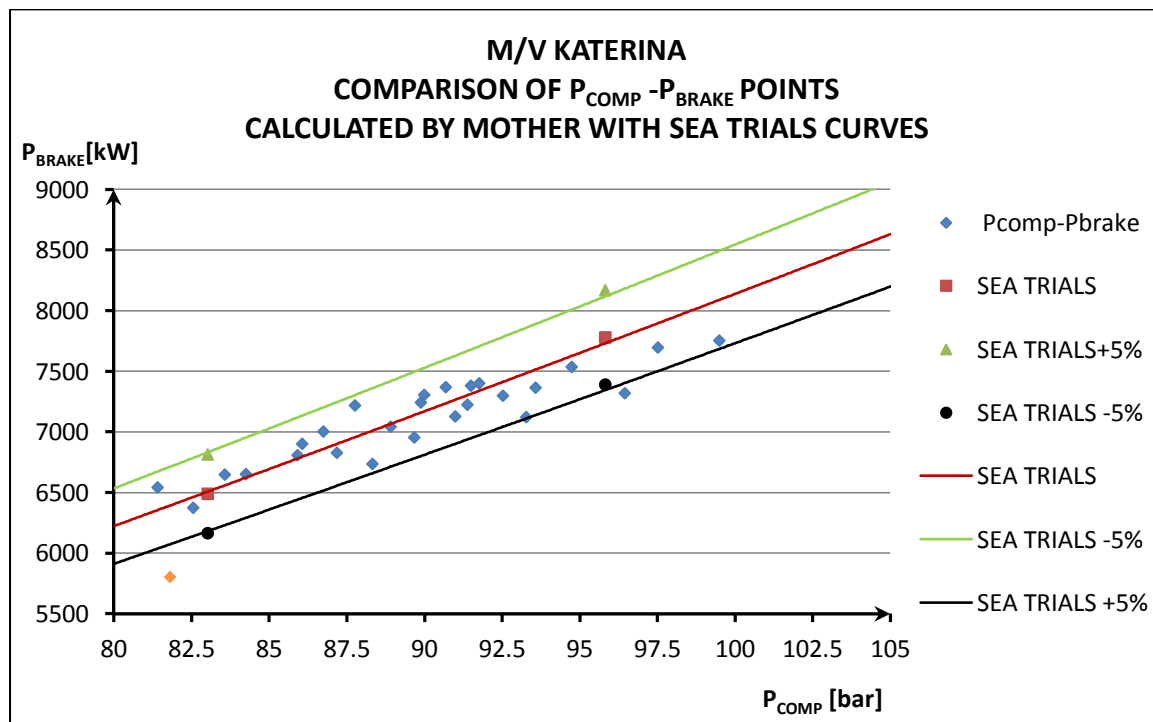
Διάγραμμα 8.3: Σύγκριση των τιμών T/C RPM -  $T_{TURBO INLET}$  που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V VASSOS)

8.4.1.2 M/V KATERINA

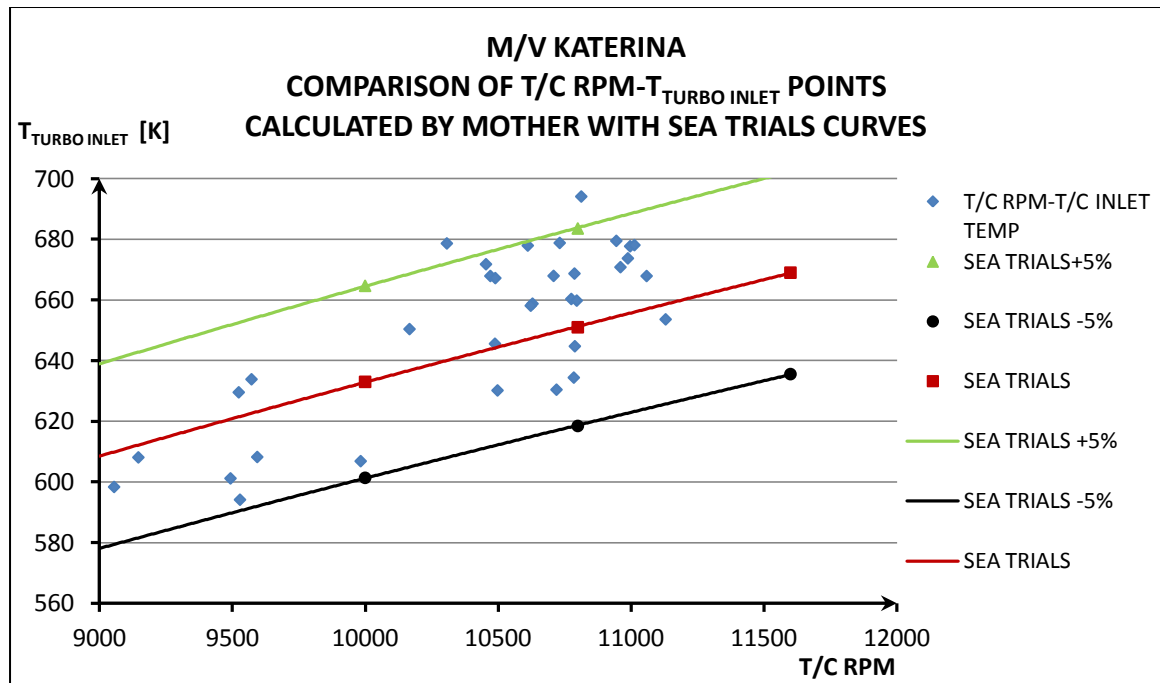
Παρατηρούνται ορισμένες αποκλίσεις στο διάγραμμα  $P_{SCAV}-P_{BRAKE}$  αλλά δεν θα γίνει απόρριψη άλλων σημείων πλην του σημειωμένου με πορτοκαλί χρώμα διότι τα υπόλοιπα δεν παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις στα άλλα διαγράμματα.



Διάγραμμα 8.4: Σύγκριση των τιμών  $P_{SCAV}-P_{BRAKE}$  που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V KATERINA)



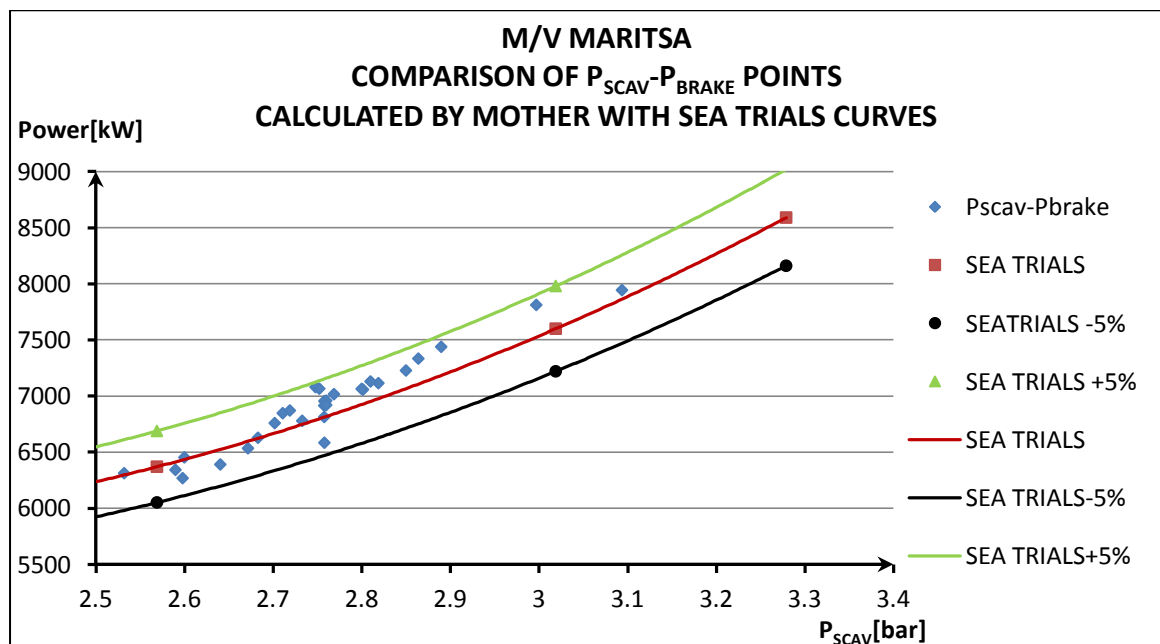
Διάγραμμα 8.5: Σύγκριση των τιμών  $P_{COMP}-P_{BRAKE}$  που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V KATERINA)



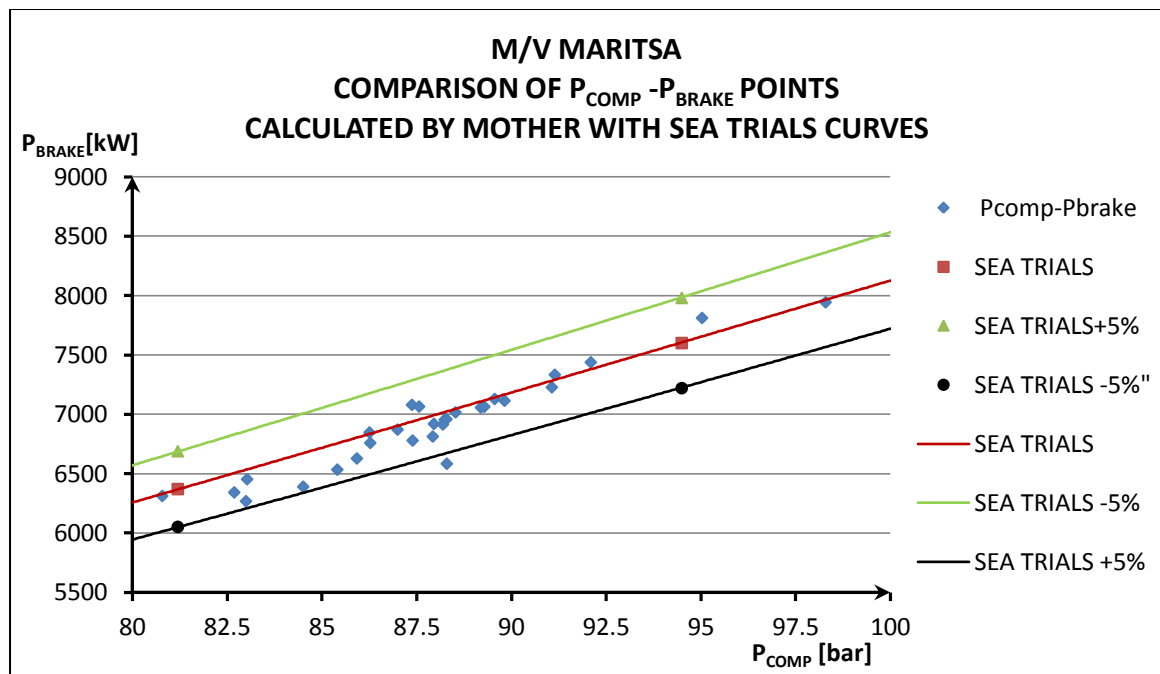
Διάγραμμα 8.6: Σύγκριση των τιμών T/C RPM-T<sub>TURBO INLET</sub> που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V KATERINA)

### 8.4.1.3 M/V MARITISA

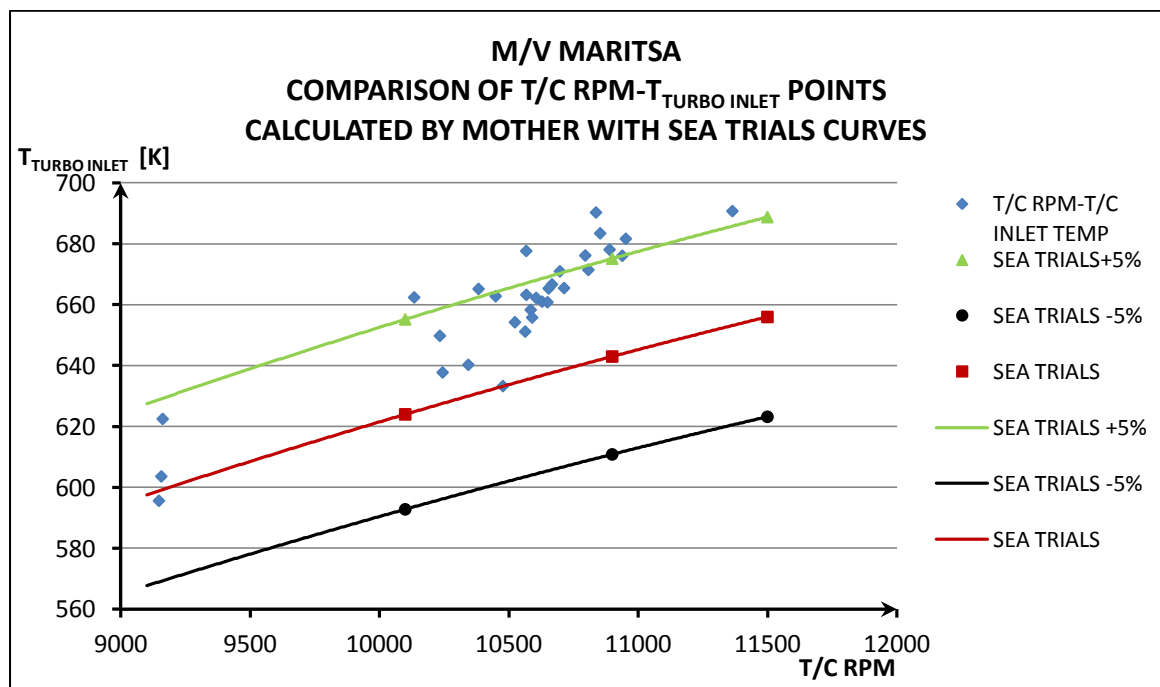
Δεν παρατηρήθηκε μη αποδεκτή απόκλιση σε κάποιο σημείο του διαγράμματος  $P_{SCAV}-P_{BRAKE}$  και  $P_{COMP}-P_{BRAKE}$ . Οι μικρές αποκλίσεις που φαίνονται στο διάγραμμα θερμοκρασίας καυσαερίων είναι της τάξης των 10 K και συνεπώς δε λαμβάνονται υπόψη. Συνεπώς σε αυτό το στάδιο δεν θα υπάρξει κάποιος αποκλεισμός σημείου για το πλοίο M/V MARITISA.



Διάγραμμα 8.7: Σύγκριση των τιμών  $P_{SCAV}-P_{BRAKE}$  που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V MARITISA)



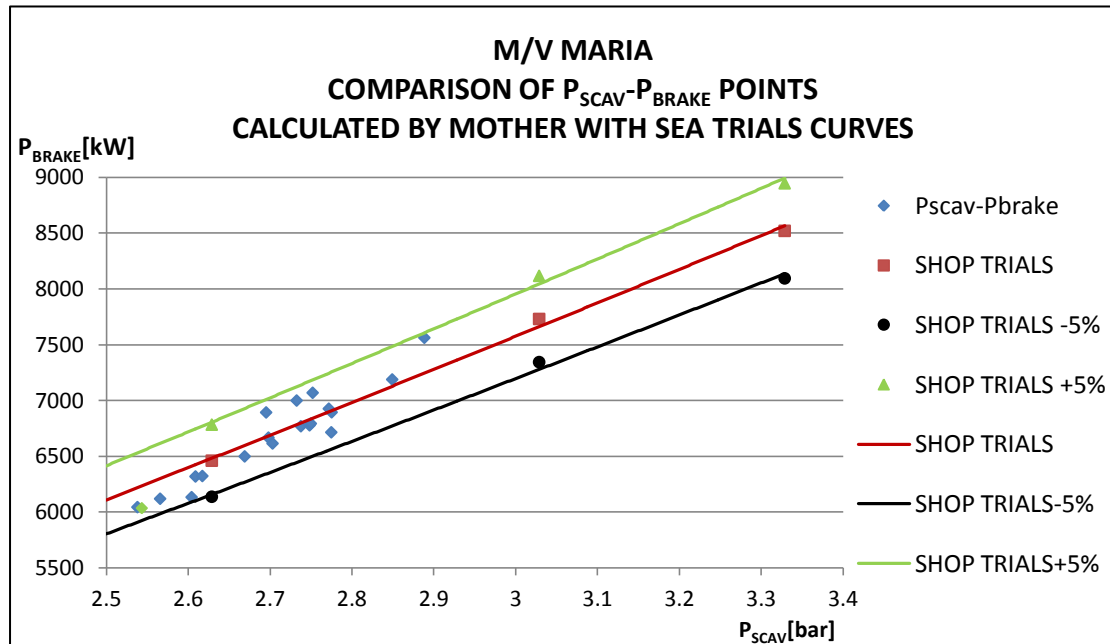
Διάγραμμα 8.8: Σύγκριση των τιμών  $P_{COMP} - P_{BRAKE}$  που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V MARITSA)



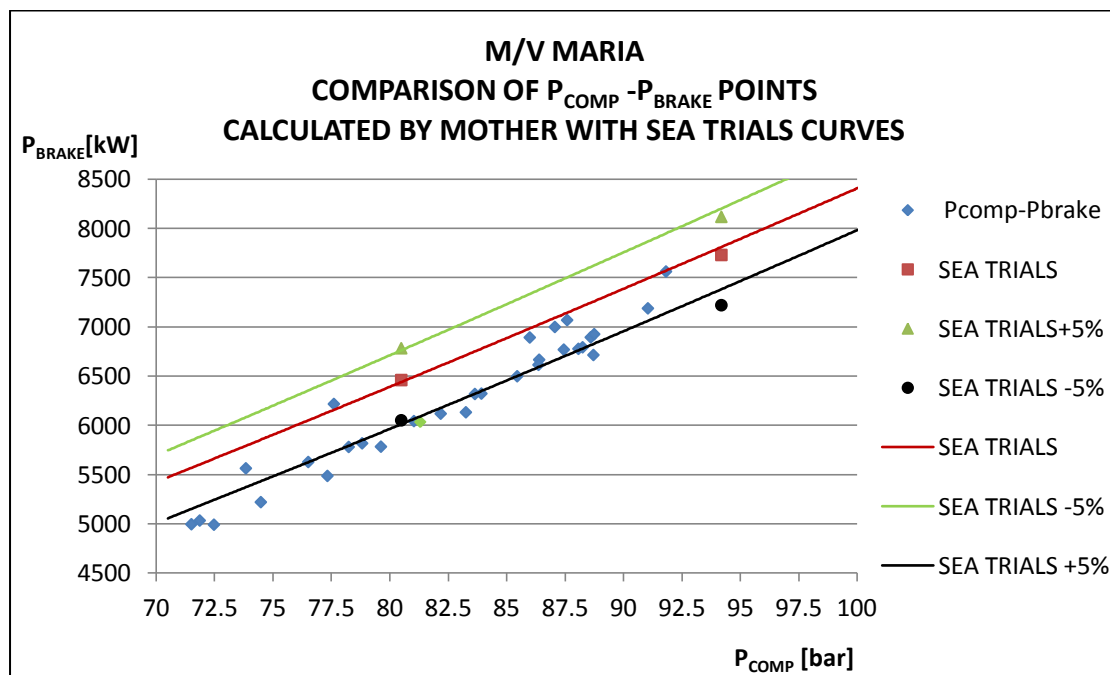
Διάγραμμα 8.9: Σύγκριση των τιμών T/C RPM -  $T_{TURBO INLET}$  που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V MARITSA)

8.4.1.4 M/V MARIA

Παρατηρούμε ότι στο διάγραμμα  $T_{TURBO\ INLET} - P_{BRAKE}$  υπάρχει ένα σημείο πολύ εκτός ορίων. Αλλά λόγω του ότι στα υπόλοιπα διαγράμματα (πράσινο χρώμα) τα αντίστοιχα σημεία είναι εντός ορίων, και το  $T_{TURBO\ INLET}$  δεν αποτελεί Input Data του MOTHER, δεν θα αποκλειστεί από την περαιτέρω ανάλυση.

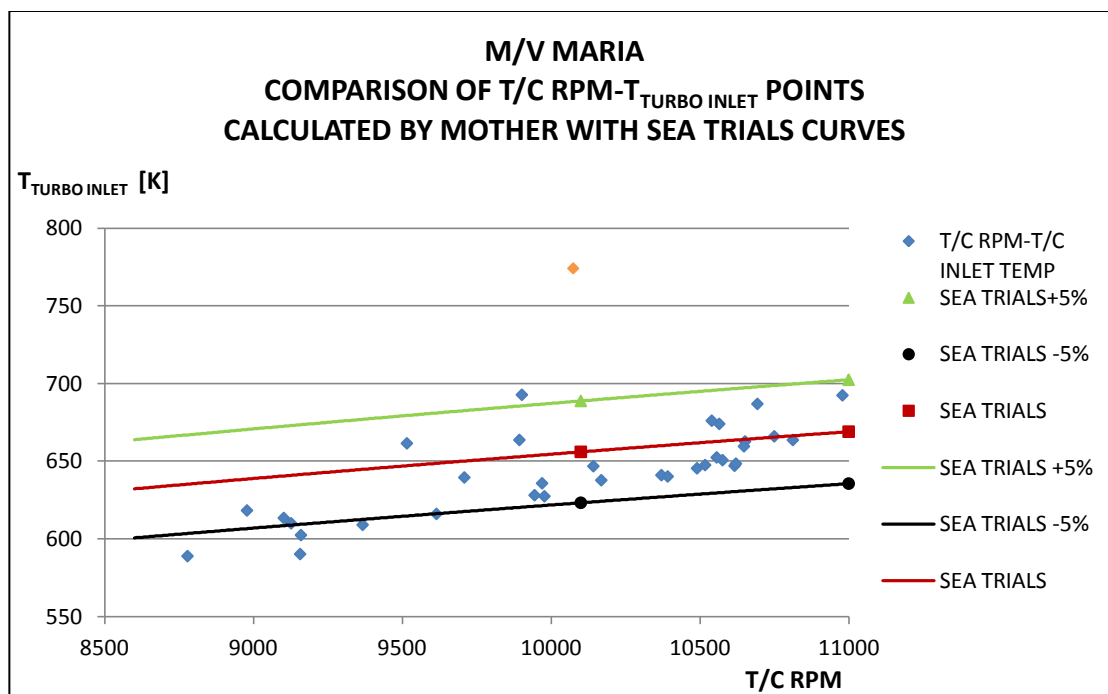


Διάγραμμα 8.10: Σύγκριση των τιμών  $P_{SCAV} - P_{BRAKE}$  που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V MARIA)



Διάγραμμα 8.11: Σύγκριση των τιμών  $P_{COMP} - P_{BRAKE}$  που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V MARIA)





Διάγραμμα 8.12: Σύγκριση των τιμών T/C RPM- $T_{TURBO INLET}$  που υπολόγισε το MOTHER με τα Sea Trials (M/V MARIA)

#### 8.4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Όπως προαναφέρθηκε, τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούμε είναι μετρήσεις και υπόκεινται σε σφάλματα. Για το λόγο αυτό θα γίνει μία σύγκριση των παραμέτρων της μηχανής οι οποίες υπολογίζονται με το MOTHER με τις μετρήσεις που λαμβάνουμε από τα Performance Reports, **συν τω χρόνω**. Αν υπάρχει απόκλιση σε ένα μεμονωμένο σημείο, τότε υπάρχει **λάθος στη συγκεκριμένη μέτρηση** και το σημείο απορρίπτεται από την περαιτέρω ανάλυση. Εάν αυτή η απόκλιση συνεχίζεται για μεγάλο χρονικό διάστημα τότε υπάρχει κάποιο σφάλμα στη μηχανή. Επί παραδείγματι αν για μεγάλο χρονικό διάστημα εμφανίζεται η πίεση συμπίεσης χαμηλότερη από αυτή που υπολογίζει το μοντέλο τότε υπάρχει θέμα στη στεγανότητα του κυλίνδρου.

Τα βασικά διαγράμματα τα οποία χρησιμοποιούμε για τον έλεγχο αυτό, είναι τα διαγράμματα πίεσης σάρωσης ( $P_{SCAV}$ ), στροφών του υπερπληρωτή (T/C RPM) και θερμοκρασίας καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου. Επικουρικά, χρησιμοποιούμε το διάγραμμα πίεσης συμπίεσης  $P_{COMP}$  και της μέγιστης πίεσης στον κύλινδρο  $P_{MAX}$ .

Αν παρατηρηθεί κάποια **μεγάλη απόκλιση** (πάνω από 10-15%) στα διαγράμματα της πίεσης  $P_{SCAV}$  ελέγχουμε αν υπάρχει κάποια αντίστοιχη **συνεπής** απόκλιση στην πίεση συμπίεσης  $P_{comp}$ . Αυτό θα σημαίνει, ότι δεν υπάρχει κάποιο λάθος στη μέτρηση της  $P_{SCAV}$  αλλά μία πραγματική κατάσταση την οποία το μοντέλο δεν κατάφερε να προβλέψει τόσο ικανοποιητικά. Συνεπώς δεν θα είναι ικανοποιητική και η πρόβλεψη της ισχύος της μηχανής και για το λόγο αυτό το σημείο αυτό απορρίπτεται από την περαιτέρω ανάλυση. Αν η απόκλιση του μεγέθους είναι **ασύμβατη-ασυνεπής** με τις αποκλίσεις του ίδιου σημείου στα άλλα μεγέθη τότε θεωρείται λάθος της μέτρησης, και ως λάθος δεδομένο εισόδου και αφαιρείται από την ανάλυση.

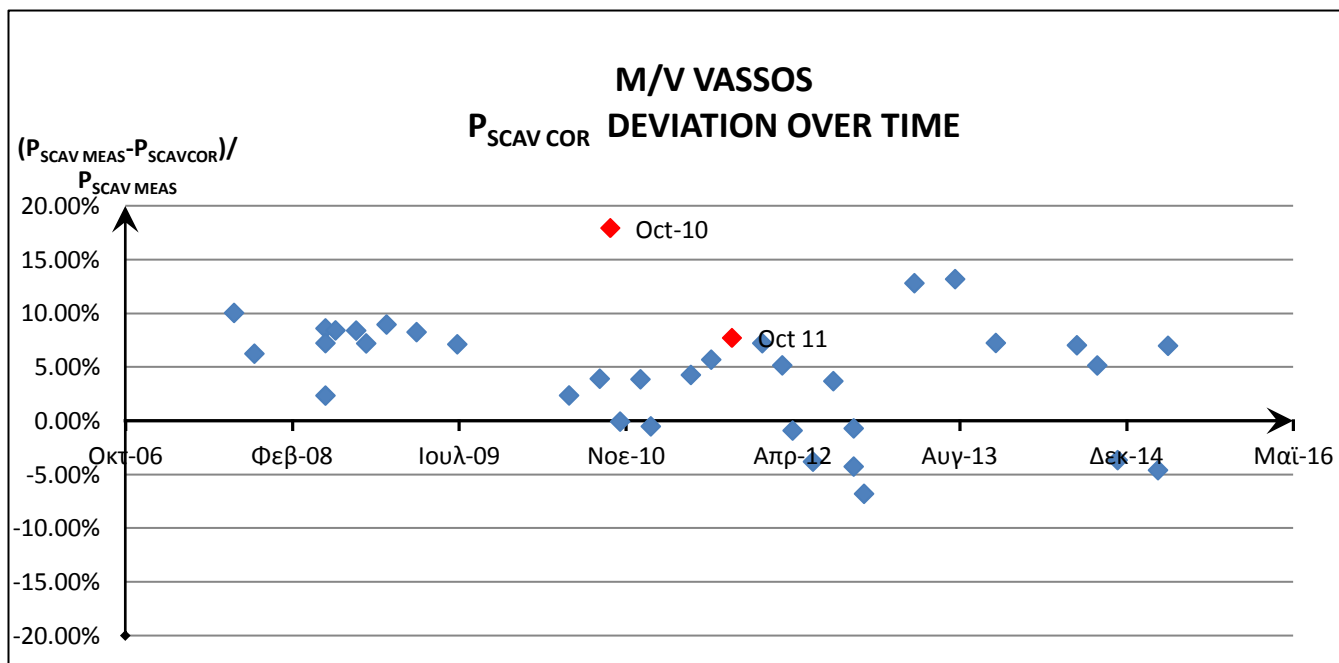
Αν παρατηρηθούν αποκλίσεις στην θερμοκρασία των καυσαερίων τότε ελέγχονται στο αντίστοιχο σημείο οι στροφές του υπερπληρωτή και αντίστροφα. Αυξημένη θερμοκρασία καυσαερίων, δηλαδή μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο των καυσαερίων, θα οδηγήσει σε αυξημένη ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή, λόγω απορρόφησης ενέργειας από τα καυσαέρια. Αν αυτό δε συμβαίνει δηλαδή δεν υπάρχει συνέπεια τότε τα σημεία κρίνονται αναξιόπιστα και αποκλείονται.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

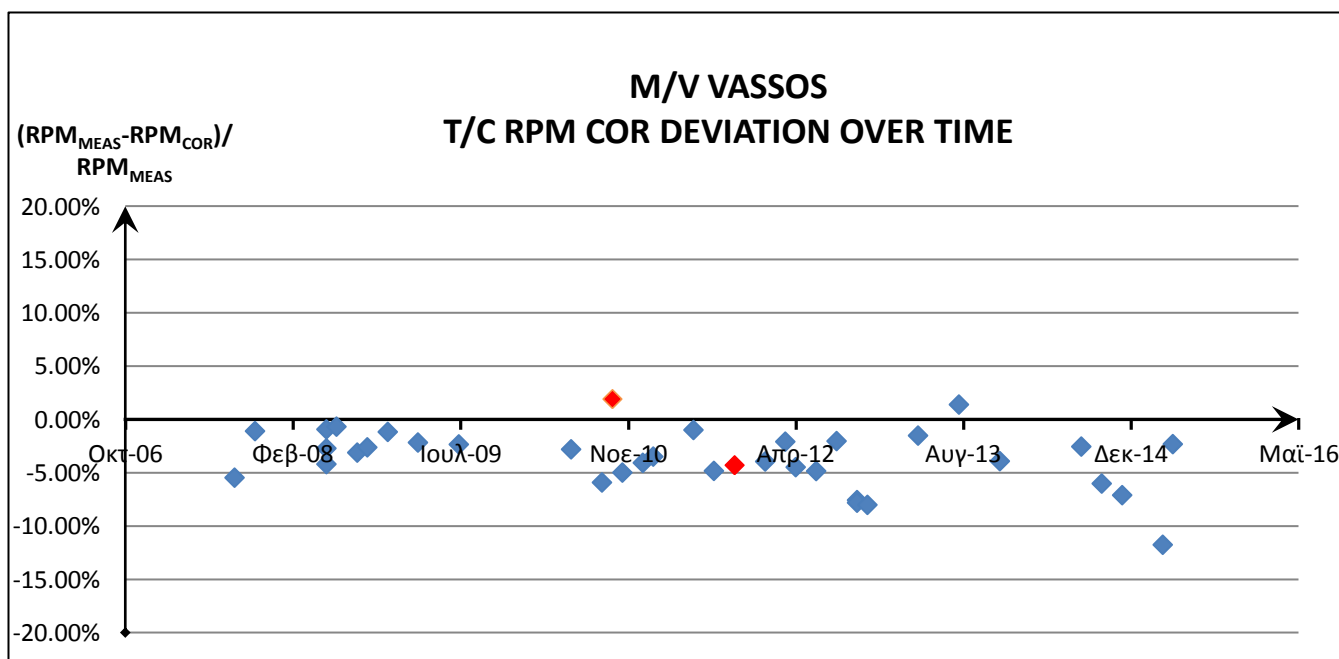
Η πίεση συμπίεσης και η μέγιστη πίεση (λαμβάνονται μέσω δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων) είναι γενικά αφερέγγυες μετρήσεις. Μας δίνουν πληροφορίες για την ποιότητα της στεγανότητας του κυλίνδρου ( $P_{comp}$ ) και για την ποιότητα της καύσης ( $P_{max}$ ). Λόγω της σχετικής αφερεγγυότητας ο έλεγχος θα περιοριστεί στα τρία πρώτα προαναφερθέντα διαγράμματα.

Με κόκκινο χρώμα συμβολίζονται οι μετρήσεις οι οποίες τελικά αποκλείονται της ανάλυσης και με πορτοκαλί χρώμα οι μετρήσεις που βγαίνουν μεν εκτός ορίων αλλά μετά από εξέταση των υπόλοιπων διαγραμμάτων αποφασίστηκε να μην αποκλειστούν της ανάλυσης.

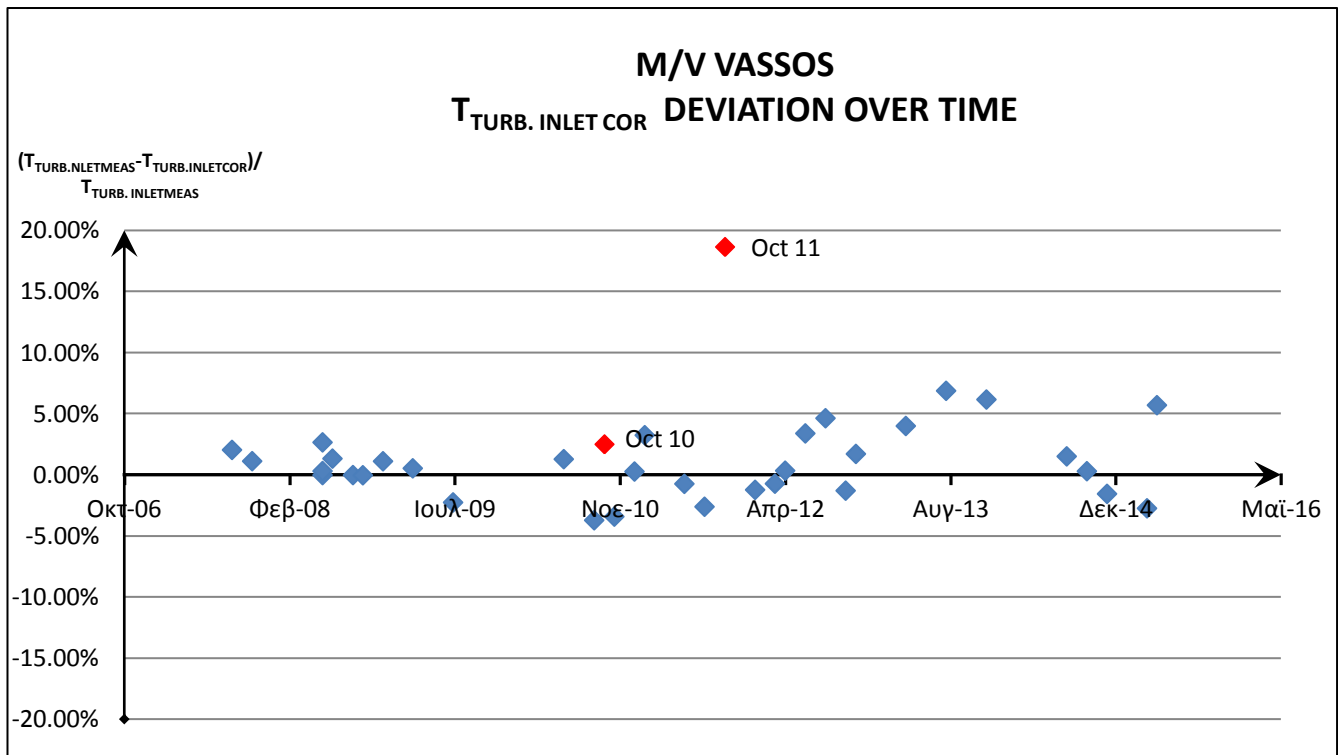
### 8.4.2.1 M/V VASSOS



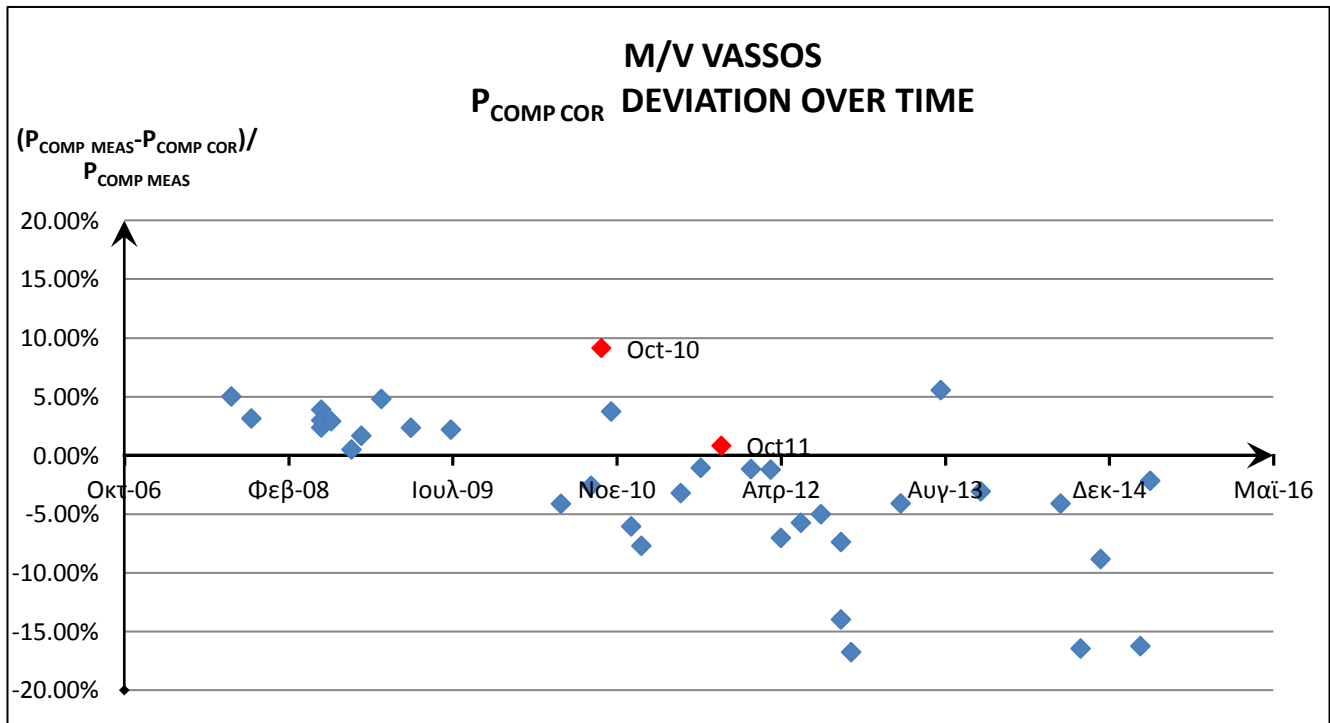
Διάγραμμα 8.13: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση σάρωσης  $P_{SCAV}$  συν το χρόνο (M/V VASSOS)



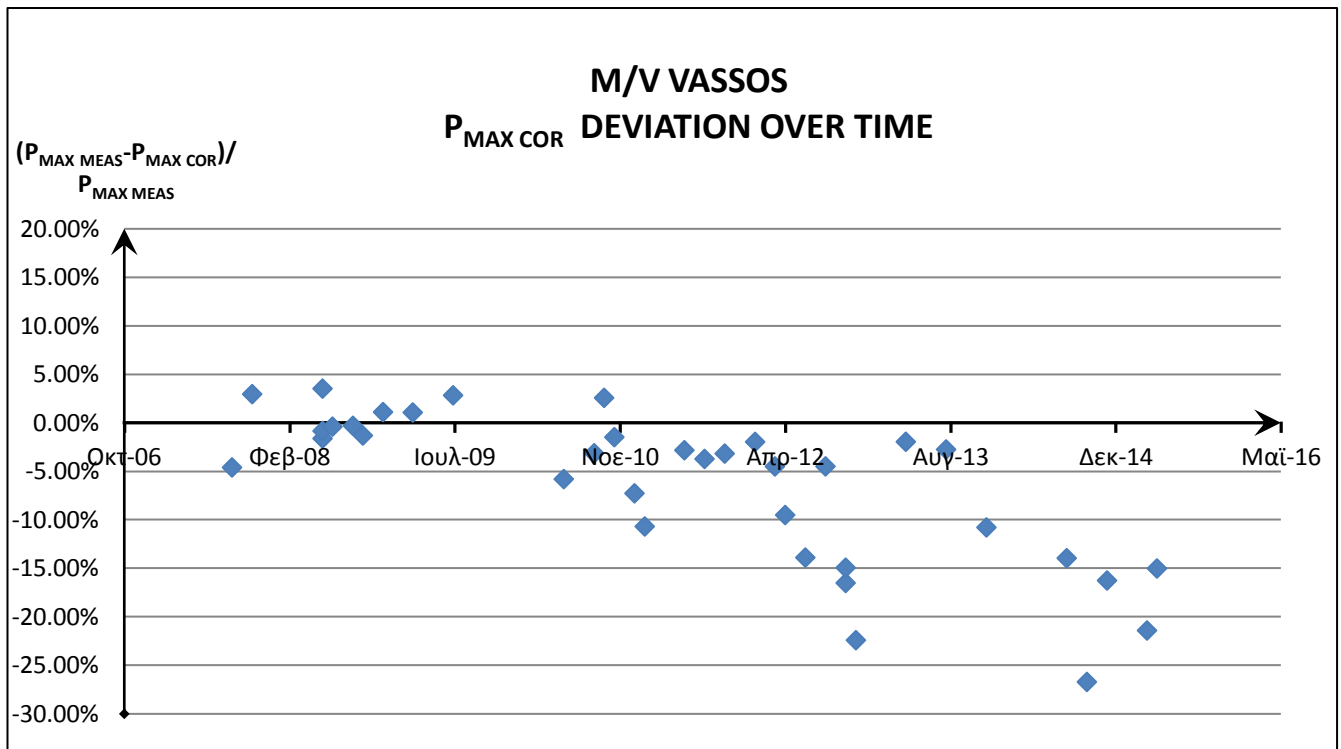
Διάγραμμα 8.14: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τις στροφές του T/C συν το χρόνο (M/V VASSOS)



Διάγραμμα 8.15: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τη θερμοκρασία εισόδου στο Στρόβιλο (Turbine Inlet Temperature) συν το χρόνο (M/V VASSOS)

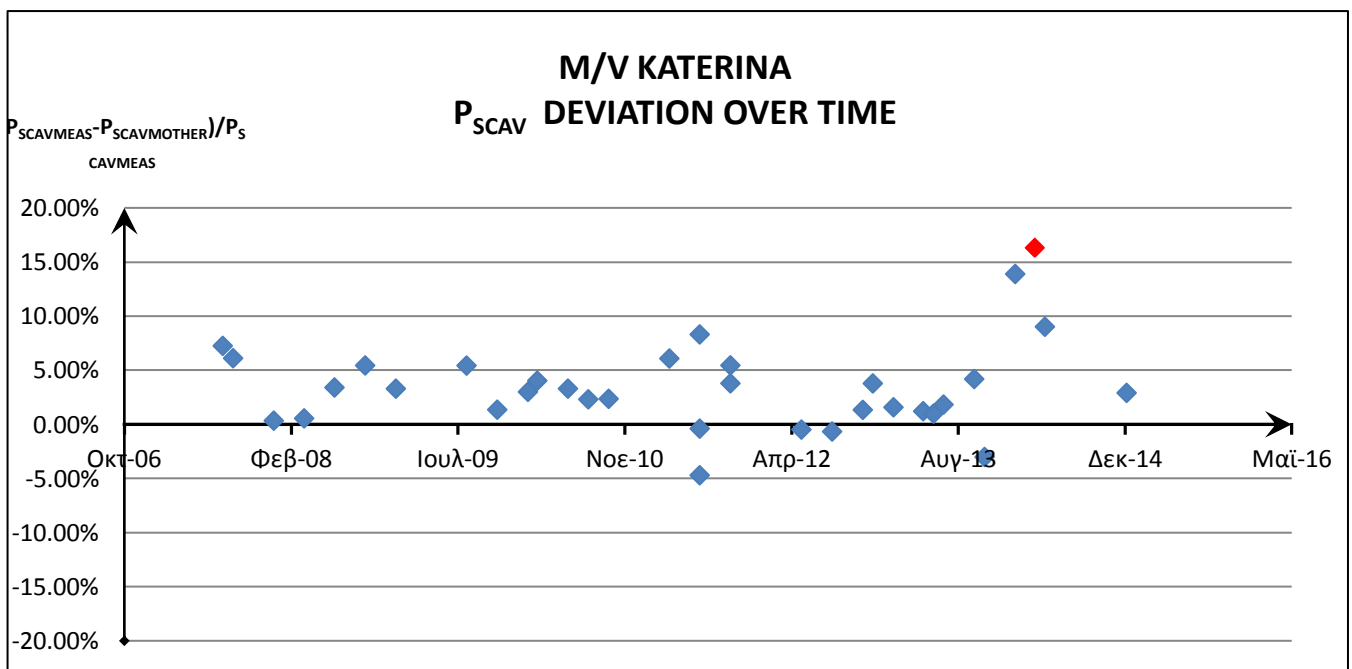


Διάγραμμα 8.16: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση συμπίεσης (Compression Pressure) συν το χρόνο (M/V VASSOS)

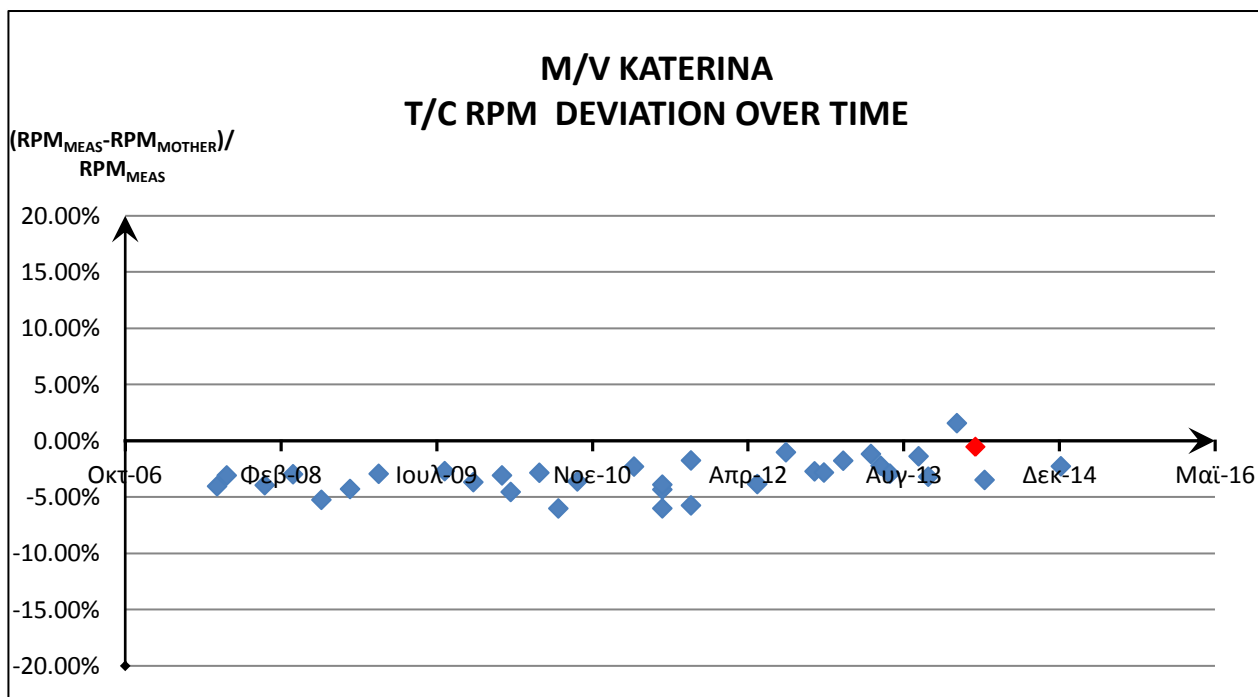


Διάγραμμα 8.17: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την μέγιστη πίεση (Maximum Pressure) συν το χρόνο (M/V VASSOS)

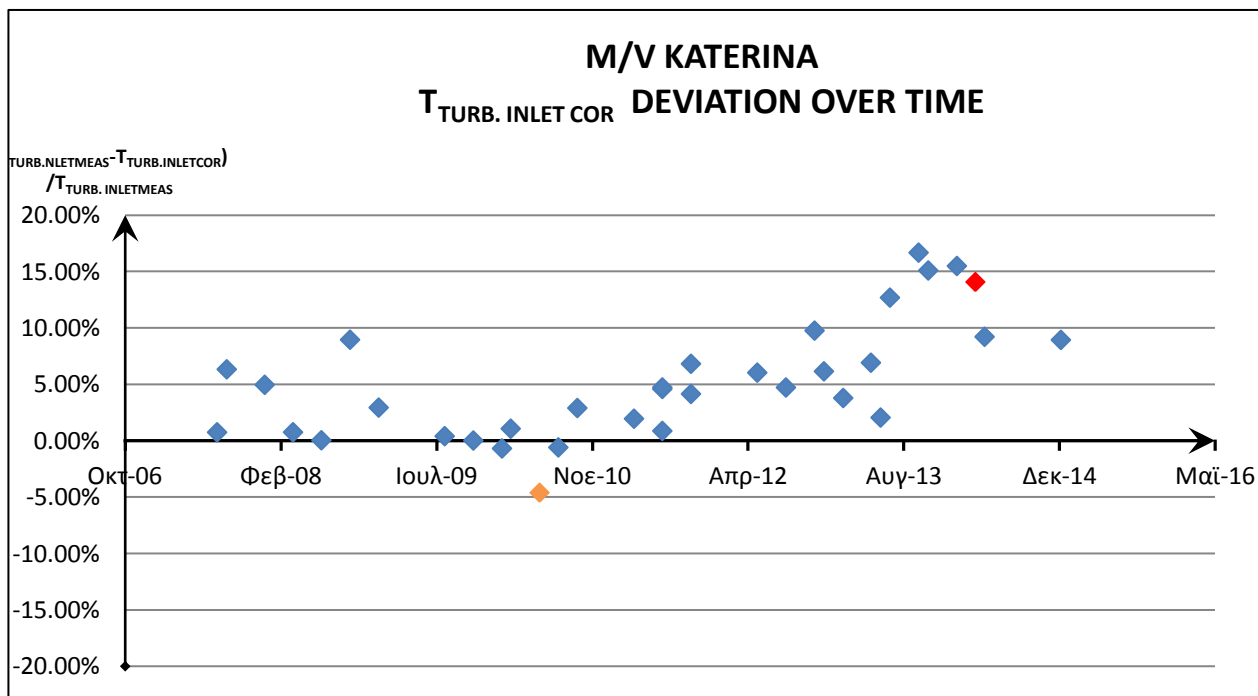
### 8.3.2.2 M/V KATERINA



Διάγραμμα 8.18: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση σάρωσης P<sub>SCAV</sub> συν το χρόνο (M/V KATERINA)



Διάγραμμα 8.19: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τις στροφές του T/C συν το χρόνο (M/V KATERINA)



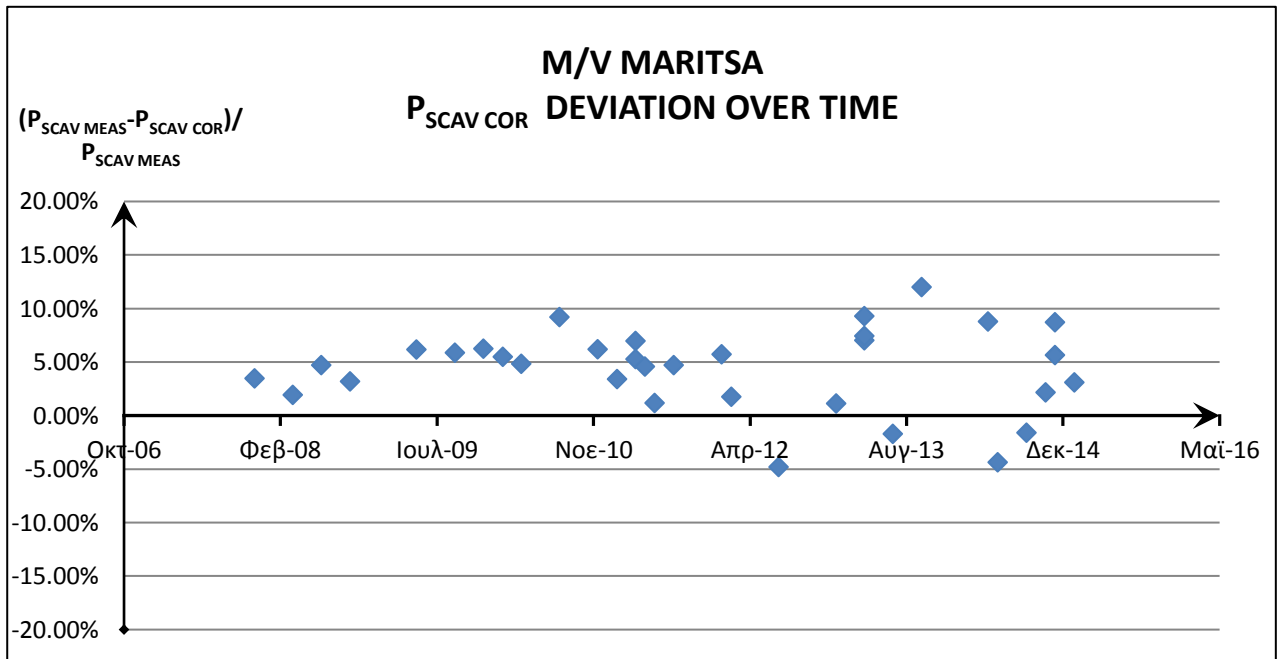
Διάγραμμα 8.20: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τη θερμοκρασία εισόδου στο Στρόβιλο (Turbine Inlet Temperature) συν το χρόνο (M/V KATERINA)

Παρατηρείται αύξηση της απόκλισης στις στροφές του υπερπληρωτή με συνεπή αύξηση (μεγαλύτερου μεγέθους) στη θερμοκρασία καυσαερίων. Η διαφορά του μεγέθους της απόκλισης, οφείλεται στο ότι οι στροφές του υπερπληρωτή, είναι κατ' απόλυτη τιμή μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερες των τιμών της θερμοκρασίας καυσαερίων και συνεπώς μία αλλαγή σε αυτές έχει μικρότερη επίδραση.

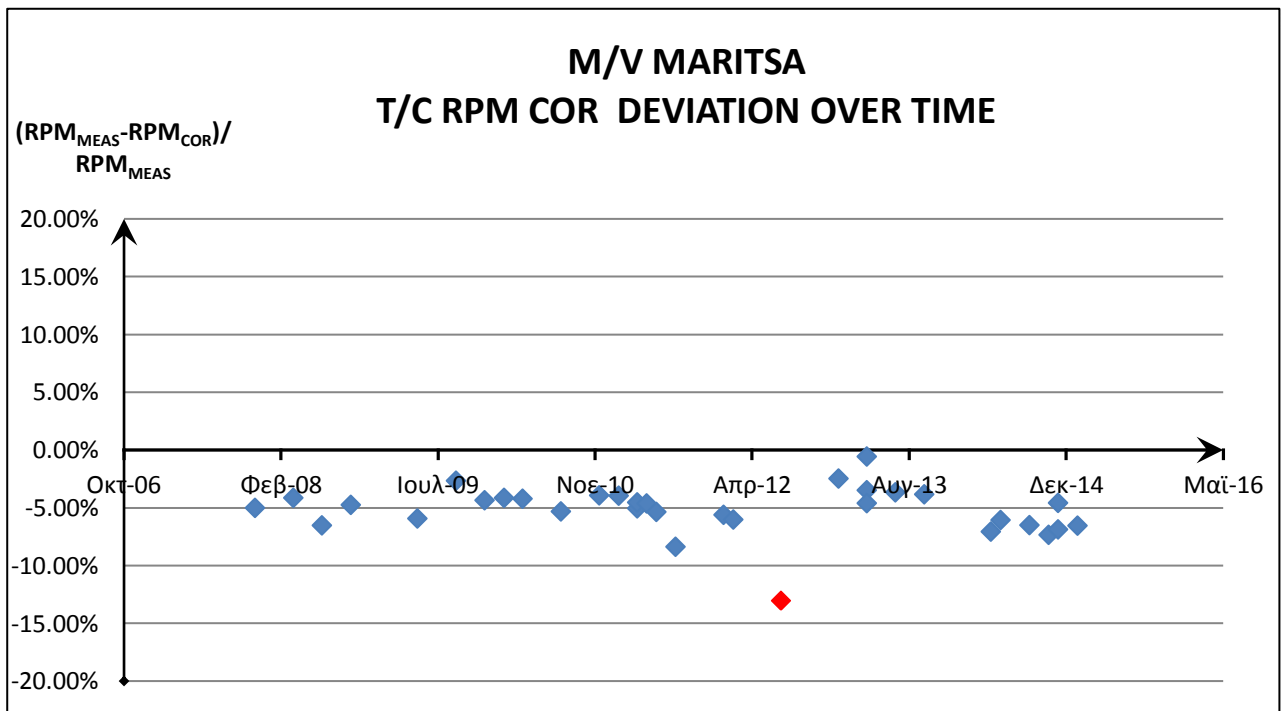




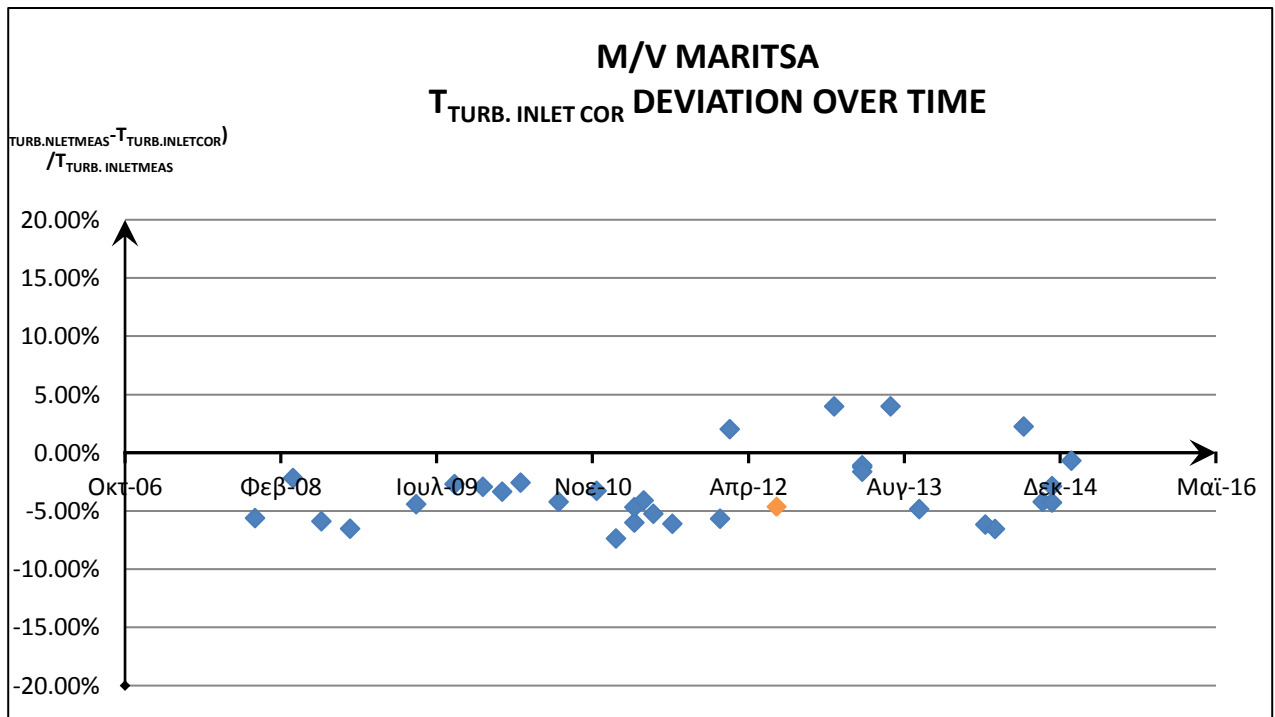
8.4.2.3 M/V MARITSA



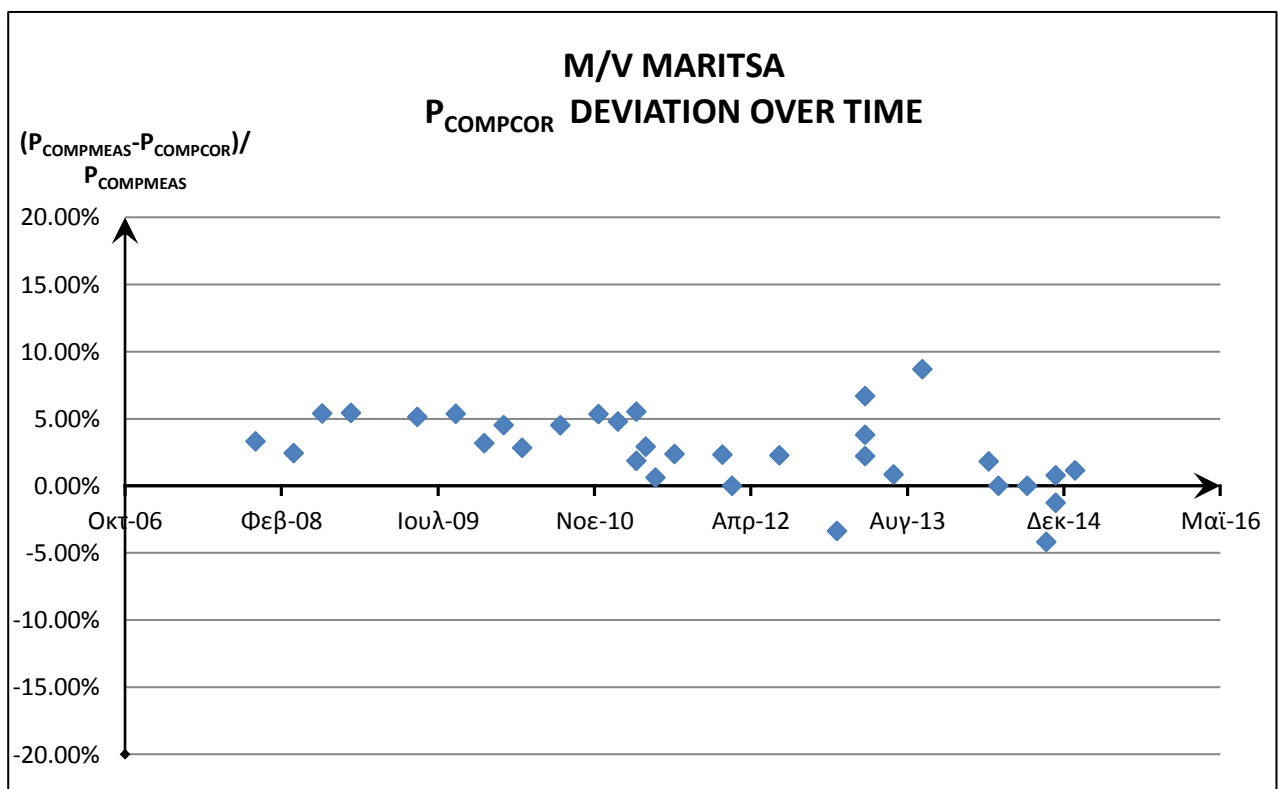
Διάγραμμα 8.23: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση σάρωσης P<sub>SCAV</sub> συν το χρόνο (M/V MARITSA)



Διάγραμμα 8.24: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τις στροφές του T/C συν το χρόνο (M/V MARITSA)

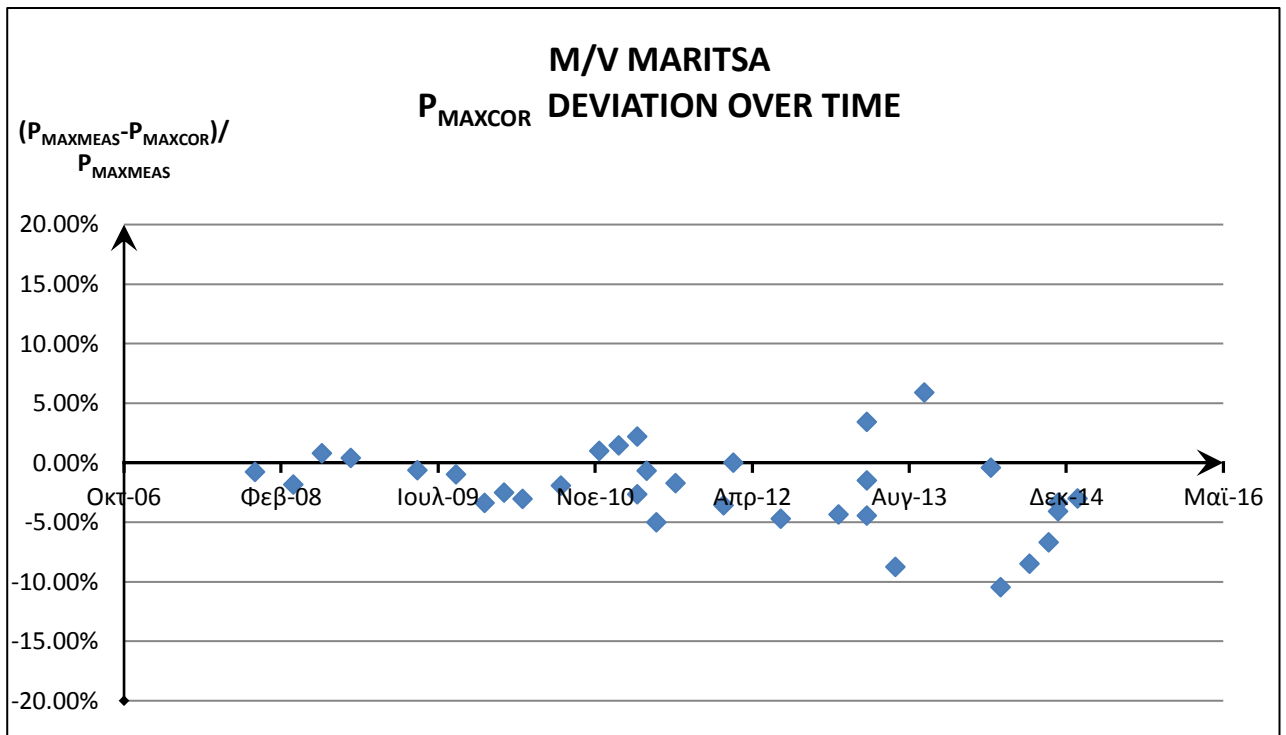


Διάγραμμα 8.25: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τη θερμοκρασία εισόδου στο Στρόβιλο (Turbine Inlet Temperature) συν το χρόνο (M/V MARITSA)



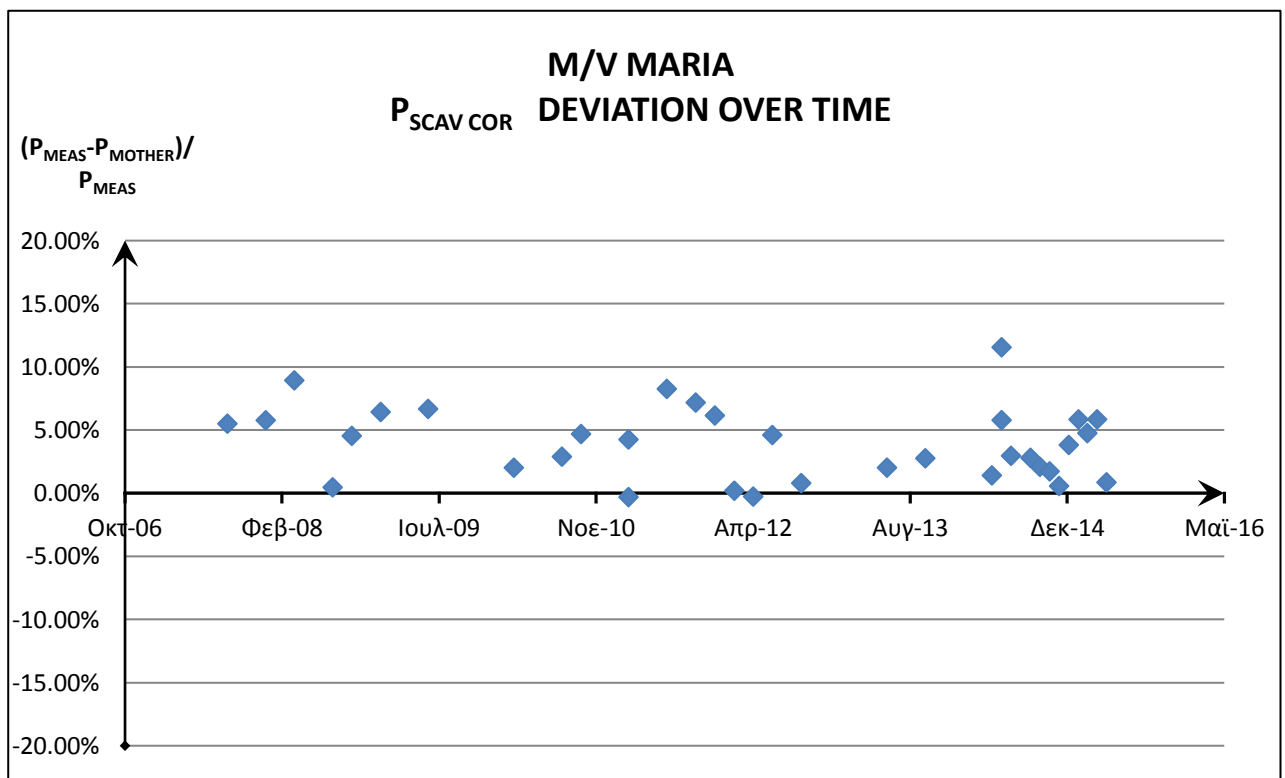
Διάγραμμα 8.26: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση συμπίεσης (Compression Pressure) συν το χρόνο (M/V MARITSA)

Παρατηρείται μία αύξηση της P<sub>SCAV</sub> και μία συνεπής αύξηση της P<sub>COMP</sub>. Η αύξηση των στροφών του T/C λόγω αύξησης της θερμοκρασίας των καυσαερίων είναι συνεπής πλην του πορτοκαλί σημείου.

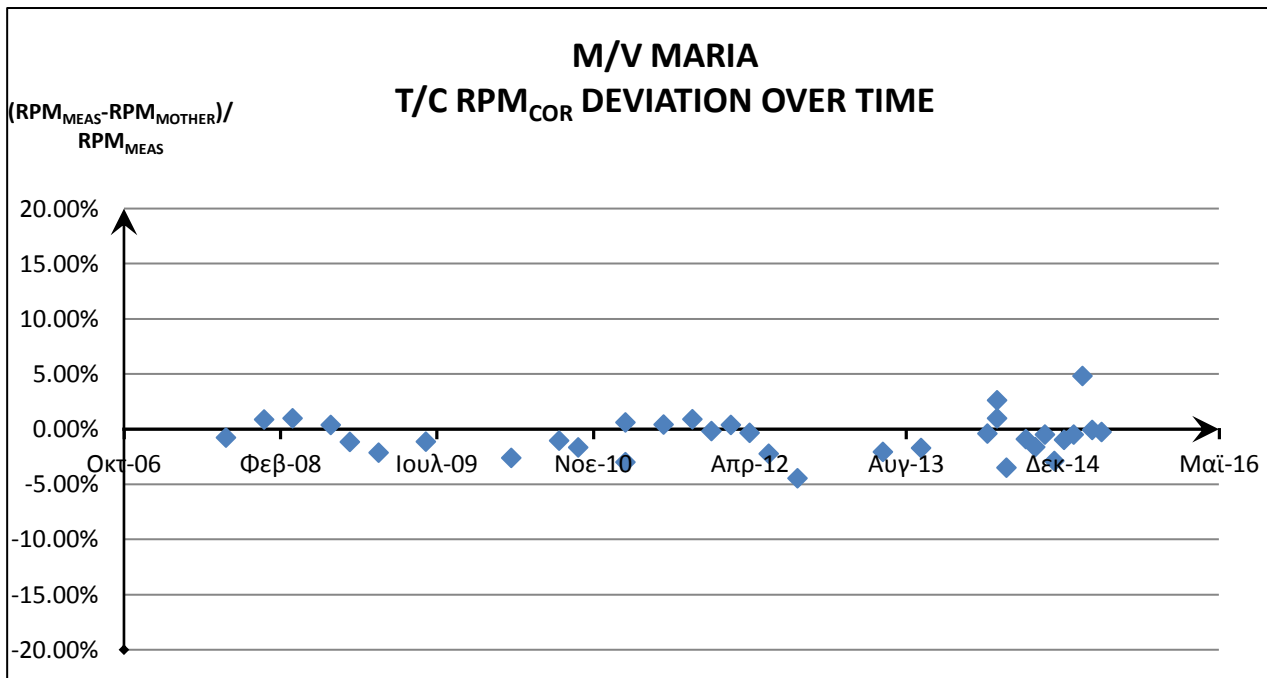


Διάγραμμα 8.27: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την μέγιστη πίεση (Maximum Pressure) συν το χρόνο (M/V MARITSA)

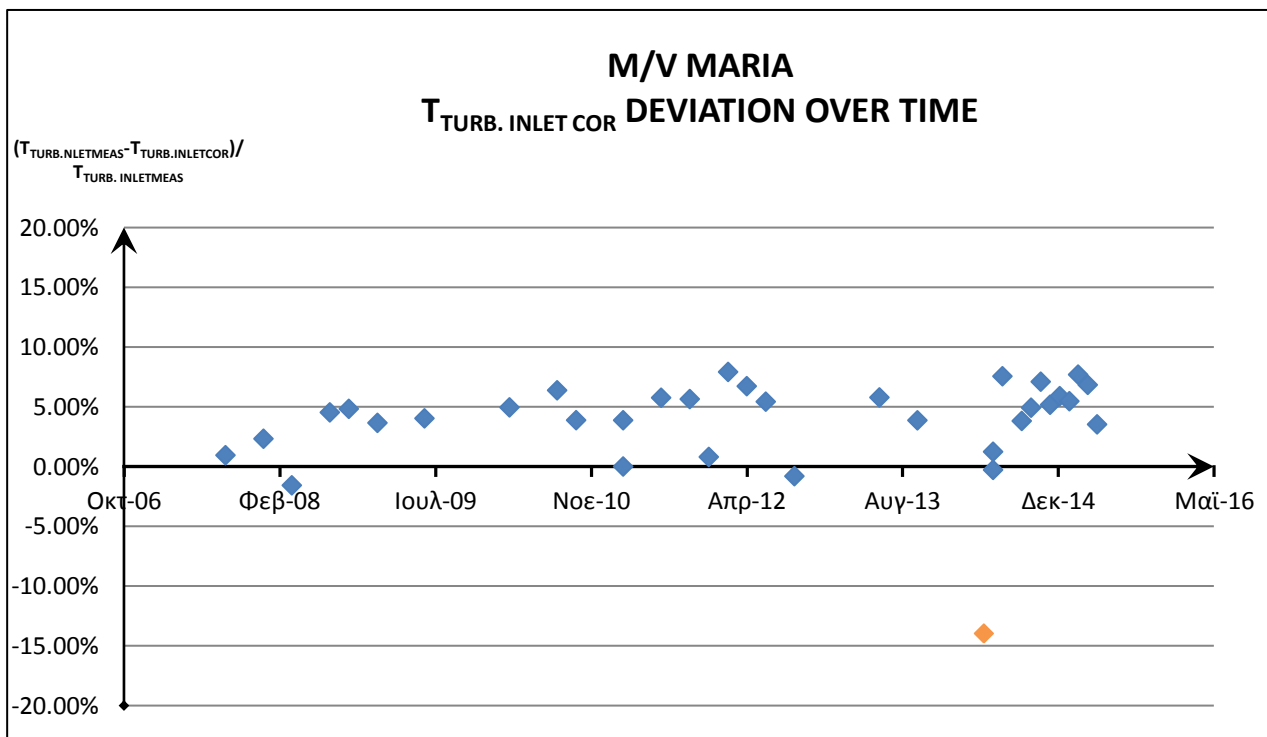
#### 8.4.2.4 M/V MARIA



Διάγραμμα 8.28: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση σάρωσης  $P_{SCAV}$  συν το χρόνο (M/V MARIA)

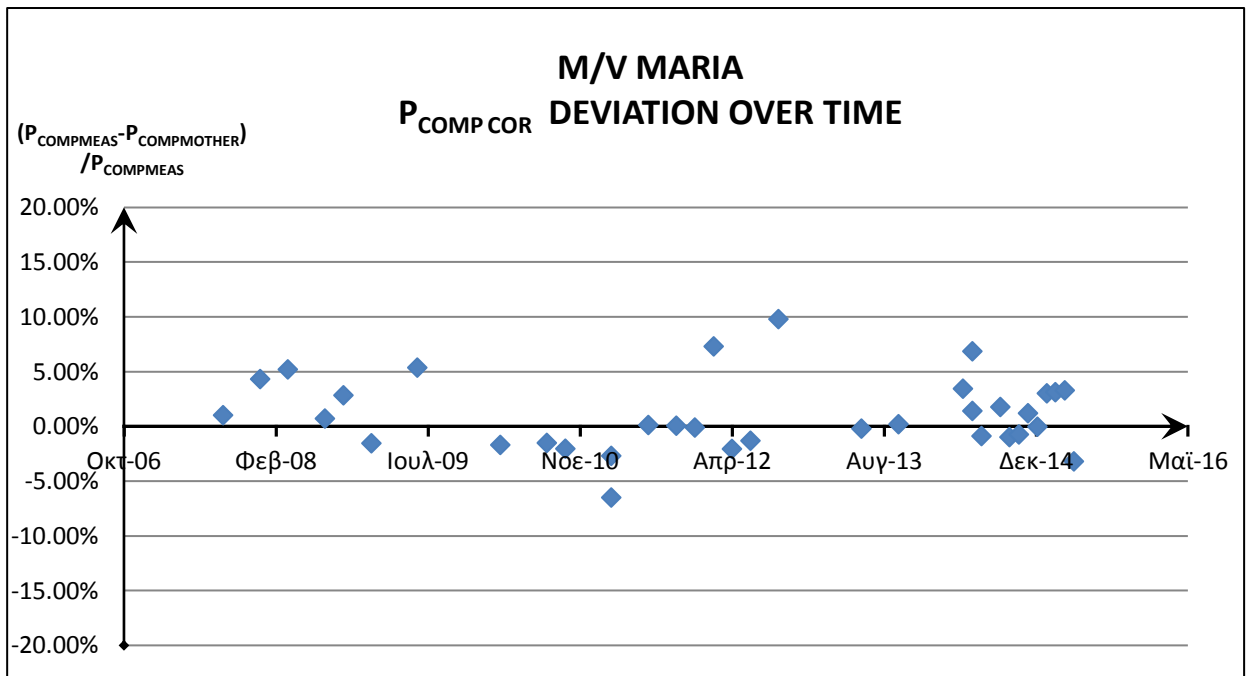


Διάγραμμα 8.29: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τις στροφές του T/C συν το χρόνο (M/V MARITSA)

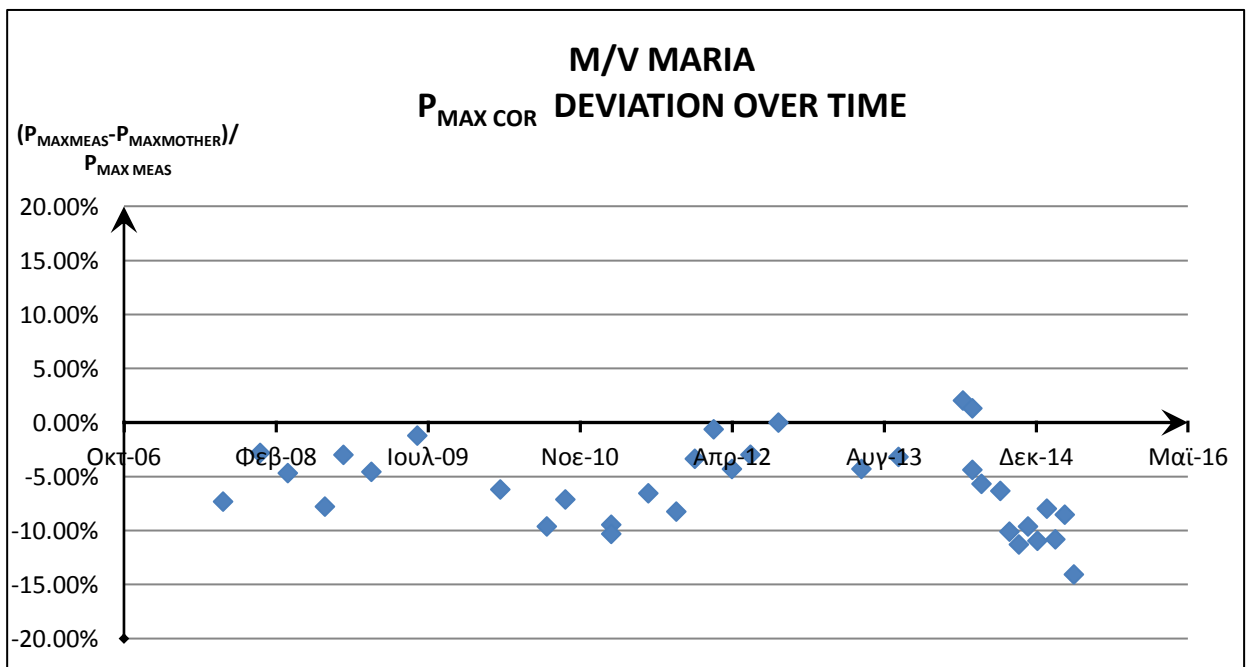


Διάγραμμα 8.30: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για τη θερμοκρασία εισόδου στο Στρόβιλο (Turbine Inlet Temperature) συν το χρόνο (M/V MARIA)

Η απόκλιση στο σημείο αυτό είναι μεμονωμένη και συνεπώς θεωρείται ότι είναι λάθος του μετρητικού. Λόγω του ότι η θερμοκρασία των καυσαερίων δεν αποτελεί Input δεν γίνεται αποκλεισμός του συγκεκριμένου σημείου.



Διάγραμμα 8.31: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την πίεση συμπίεσης (Compression Pressure) συν το χρόνο (M/V MARIA)



Διάγραμμα 8.32: Απόκλιση των τιμών μετρήσεων από τις τιμές του μοντέλου για την μέγιστη πίεση (Maximum Pressure) συν το χρόνο (M/V MARIA)

Όλες οι αποκλίσεις είναι εντός φυσιολογικών ορίων. Παρατηρείται μία ασυμφωνία απόκλισης της  $P_{COMP}$  με την  $P_{MAX}$  η οποία οφείλεται πιθανότατα με την ποιότητα της καύσης.

### ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Γενικά οι αποκλίσεις ήταν σε αποδεκτά επίπεδα, στην πλειονότητα τους κάτω του 10%. Η παράμετρος μηχανής με τις μικρότερες αποκλίσεις ήταν σε όλα τα πλοία οι στροφές του υπερπληρωτή (T/C RPM) και η παράμετρος με τη μέγιστη απόκλιση ήταν η μέγιστη πίεση στον κύλινδρο  $P_{MAX}$ . Στην μεγάλη πλειοψηφία τους οι μετρήσεις ήταν συνεπής μεταξύ τους (, και η απόκλιση μοντέλου-μετρήσεων ήταν σε αποδεκτά επίπεδα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η εξέλιξη του φαινομένου της ρύπανσης-fouling στην παρούσα εργασία θα καταδειχθεί μέσω της **χρονικής εξέλιξης** των σταθερών  $C_{BRAKE}$  και  $C_{FOUL}$ .

Το  $C_{BRAKE}$  είναι η σταθερά της έλικας και ορίζεται ως:

$$C_{BRAKE} = \frac{P_{BRAKE}}{N_{ENG}^3} \quad (9.1)$$

$P_{BRAKE}$	Η ισχύς που παράγει η μηχανή υπολογιζόμενη από το MOTHER	[kW]
$N_{ENG}$	Στροφές της μηχανής	[RPM]

Το  $C_{FOUL}$  ονομάζεται σταθερά αντίστασης λόγω ρύπανσης και ορίζεται ως:

$$C_{FOUL} = \frac{R_{FOUL}}{V_S^2} \quad (9.2)$$

$R_{FOUL}$	Αντίσταση του πλοίου που οφείλεται στη ρύπανση	[kN]
$V_S$	Ταχύτητα του πλοίου στο νερό (speed through water)	[kn]

#### ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΥΠΟΚΕΙΝΤΑΙ ΟΙ ΣΤΑΘΕΡΕΣ $C_{BRAKE}$ ΚΑΙ $C_{FOUL}$

Η πρώτη παράμετρος είναι περισσότερο φερέγγυα για το λόγο του ότι είναι εκτεθειμένη σε λιγότερα σφάλματα. Η ισχύς προκύπτει από το MOTHER με μεγάλη ακρίβεια και οι στροφές της μηχανής είναι επίσης πολύ ακριβής μέτρηση.

Η σταθερά αντίστασης λόγω ρύπανσης από την άλλη υπόκειται σε αρκετά σφάλματα. Αρχικά η ταχύτητα, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο τόσο στον υπολογισμό όλων των συνιστωσών της  $R_{FOUL}$ , αλλά και σαν παρονομαστής του κλάσματος. Μία σημαντική πηγή ανακρίβειας στην ταχύτητα αποτελεί η διόρθωση λόγω ρευμάτων, οι πληροφορίες των οποίων προέρχονται από χάρτες και όχι από μετρούμενα στοιχεία.

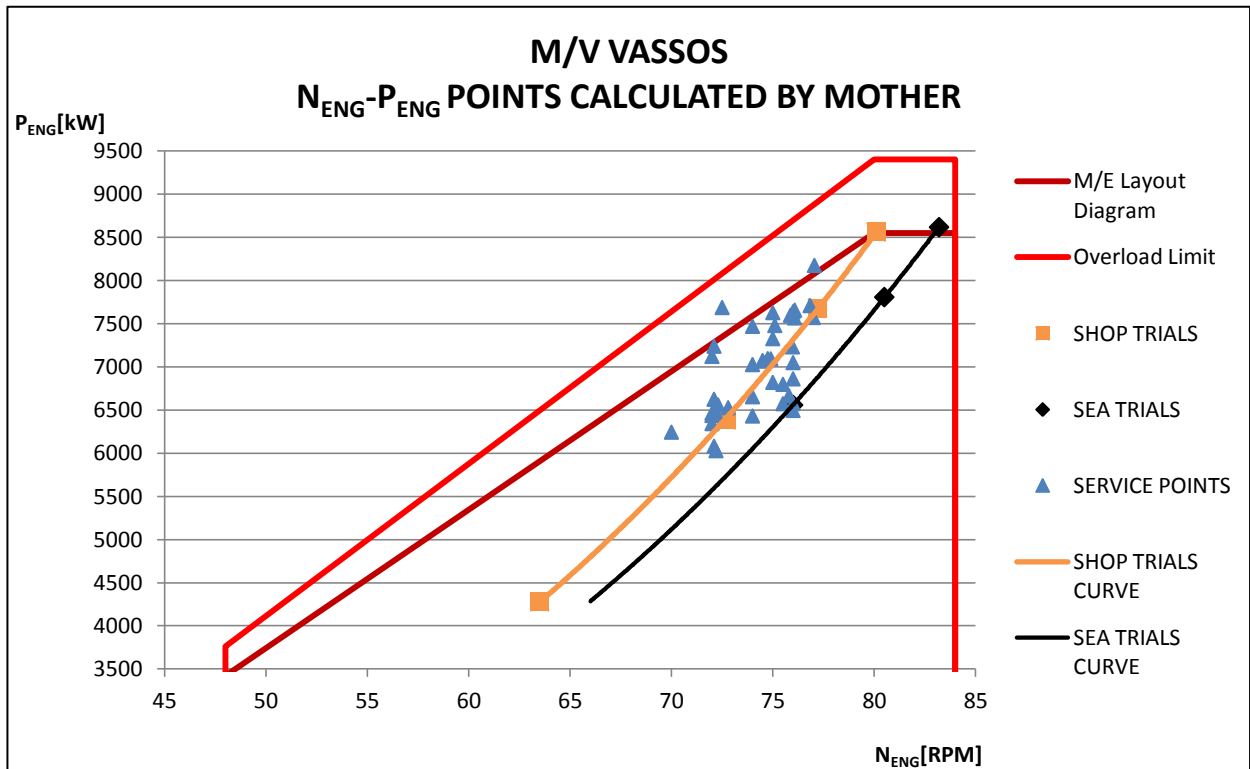
Βασική πηγή σφάλματος επίσης αποτελεί το ύψος κύματος και η περίοδος του κυματισμού τα οποία χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της πρόσθετης αντίστασης λόγω κυματισμού. Τα στοιχεία αυτά έχουν ληφθεί μέσω ενός φάσματος που δεν ισχύει ακριβώς για όλες τις θάλασσες και υπολογίζεται προσεγγιστικά μέσω της κλίμακας μποφόρ.

Τέλος, για τον υπολογισμό της αντίστασης σε ήρεμο νερό χρησιμοποιείται η μέθοδος FORMDATA η οποία αφενός δεν ισχύει ακριβώς για τη γάστρα του πλοίου, και αφετέρου είναι διαγραμματική και μπορούν να προκύψουν σημαντικές ανακρίβειες κατά την ανάγνωση στοιχείων από τα διαγράμματα.

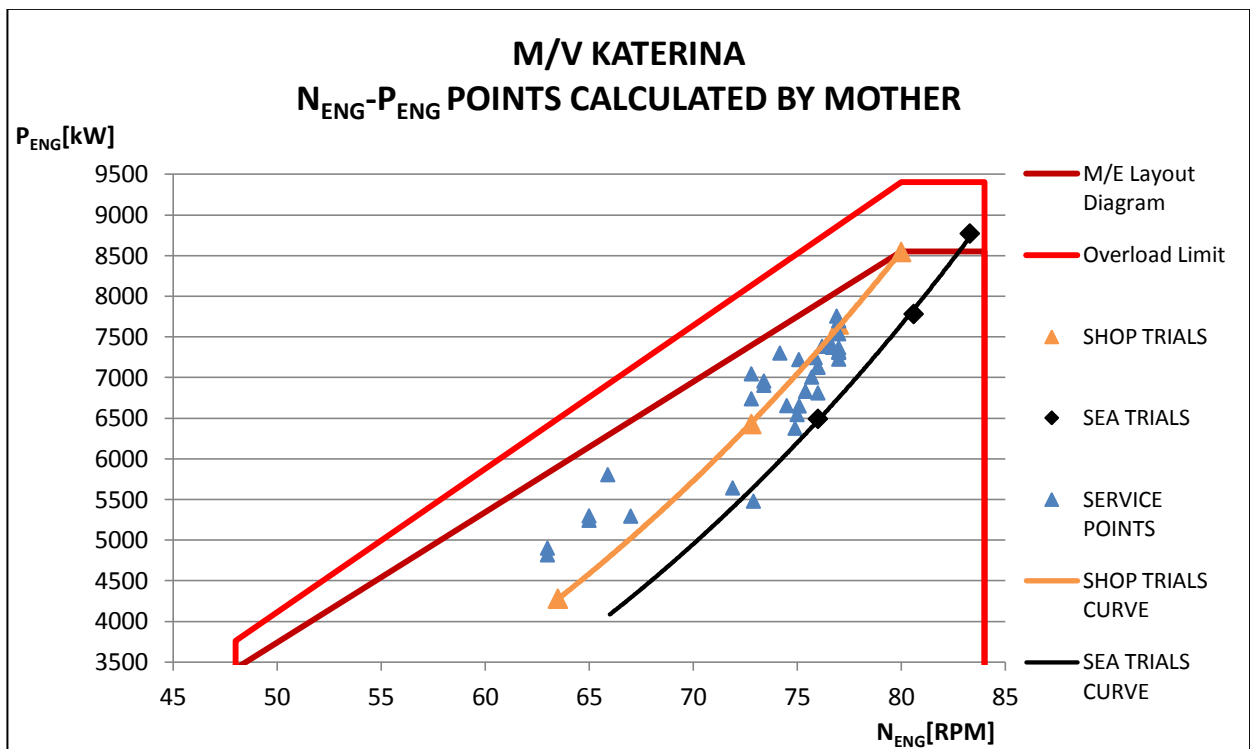
### 9.1 ΣΗΜΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΛΟΙΩΝ

Αρχικά θα παρουσιαστούν τα σημεία λειτουργίας των πλοίων. Παρουσιάζονται τα ζεύγη ( $N_{ENG}$ - $P_{ENG}$ ) όπως υπολογίστηκαν από το MOTHER εντός του διαγράμματος φόρτισης της μηχανής. Επιπλέον φαίνεται το όριο υπερφόρτισης της μηχανής και οι καμπύλες των Sea και Shop Trials. Λόγω του ότι από τα Sea Trials δεν υπάρχουν σημεία κάτω από το 75% γίνεται προεκβολή της καμπύλης για χαμηλότερα φορτία. Η εικόνα που αναμένουμε να δούμε είναι τα περισσότερα σημεία να βρίσκονται μεταξύ της καμπύλης των Shop Trials και των Sea Trials [1].

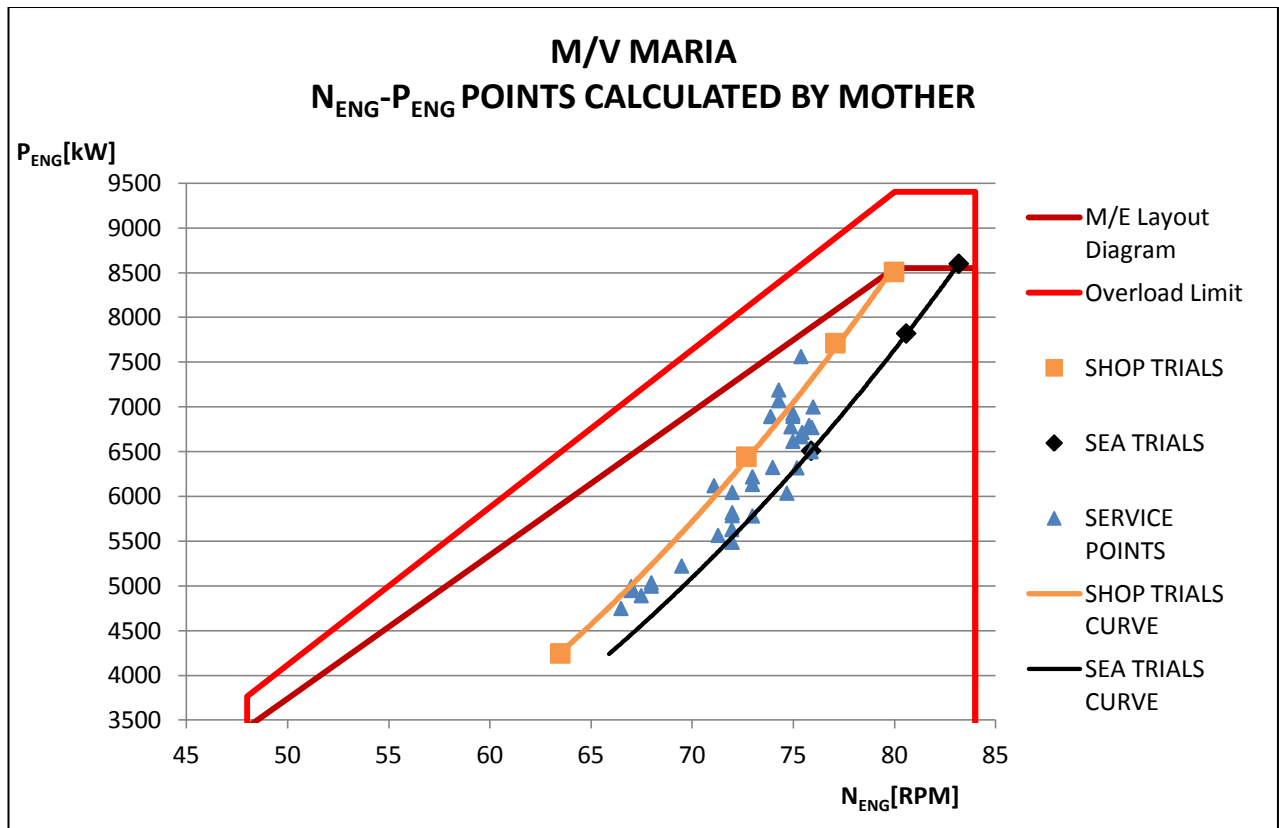




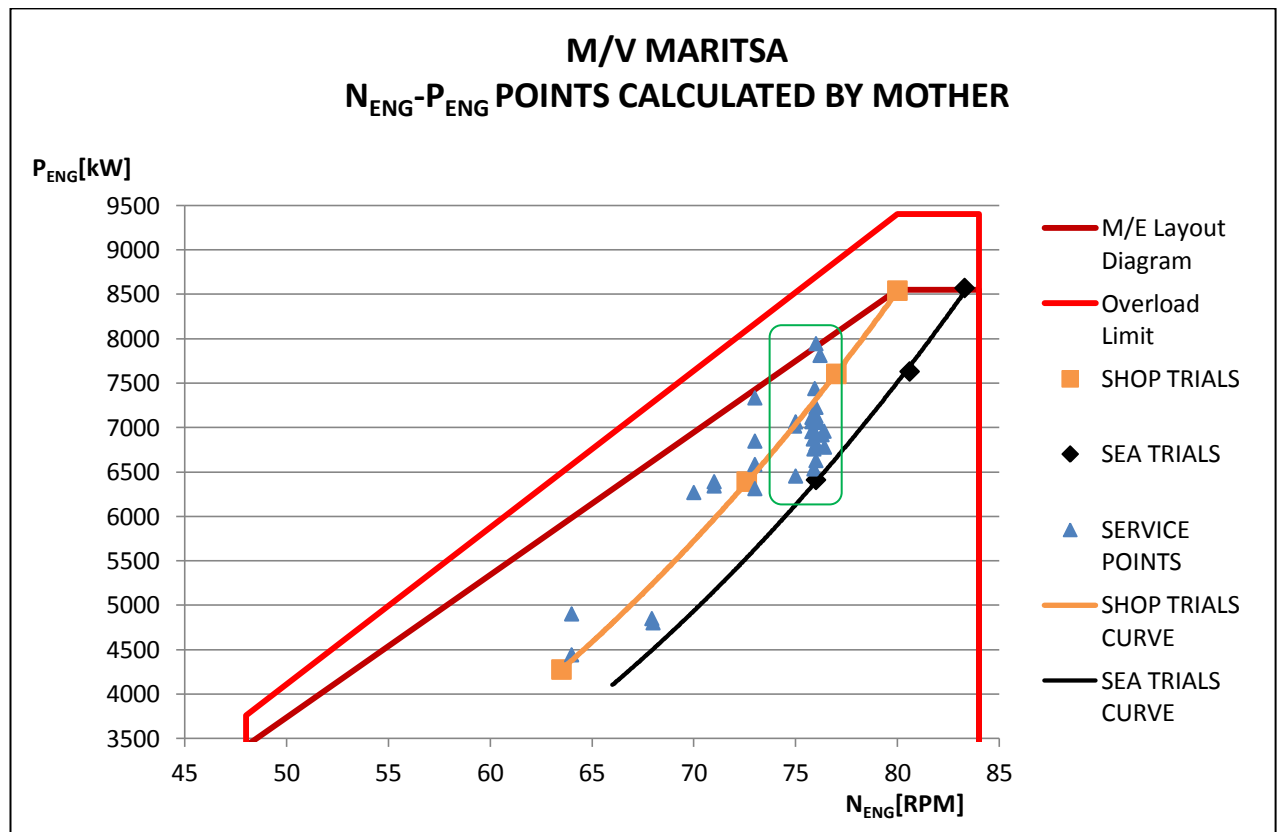
Διάγραμμα 9.1: Διάγραμμα Φόρτισης, Καμπύλες Shop Trials, Sea Trials και σημεία λειτουργίας και το πλοίο M/V VASSOS



Διάγραμμα 9.2: Διάγραμμα Φόρτισης, Καμπύλες Shop Trials, Sea Trials και σημεία λειτουργίας και το πλοίο M/V KATERINA



Διάγραμμα 9.3: Διάγραμμα Φόρτισης, Καμπύλες Shop Trials και Sea Trials και σημεία λειτουργίας και το πλοίο M/V MARIA



Διάγραμμα 9.4: Διάγραμμα Φόρτισης, Καμπύλες Shop Trials και Sea Trials και σημεία λειτουργίας και το πλοίο M/V MARITSA

## ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Στο πλοίο M/V VASSOS, παρατηρούμε ότι πολλά σημεία βρίσκονται πάνω στην καμπύλη των Shop Trials και αρκετά βρίσκονται σε καμπύλες έλικες πιο βαριές από των Shop Trials. Αυτό το οποίο προκαλεί εντύπωση είναι ότι υπάρχουν σημεία πολύ κοντά στο όριο φόρτισης και ένα σημείο εντός της περιοχής υπερφόρτισης.

Στο πλοίο M/V KATERINA τα περισσότερα σημεία βρίσκονται εντός της περιοχής που ορίζουν οι καμπύλες των Sea Trials και Shop Trials. Τα σημεία τα οποία βρίσκονται ανώτερα της καμπύλης των Shop Trials φαίνεται να βρίσκονται πάνω σε μία πιο βαριά καμπύλη παράλληλη με αυτή των Shop Trials.

Στο πλοίο M/V MARIA παρατηρούμε ότι αρκετά σημεία, σε αντίθεση με τα προηγούμενα πλοία βρίσκονται σε καμπύλες έλικας πιο ελαφριές από αυτή των Sea Trials και λιγότερα σημεία βρίσκονται πάνω και ανώτερα της καμπύλης των Shop Trials.

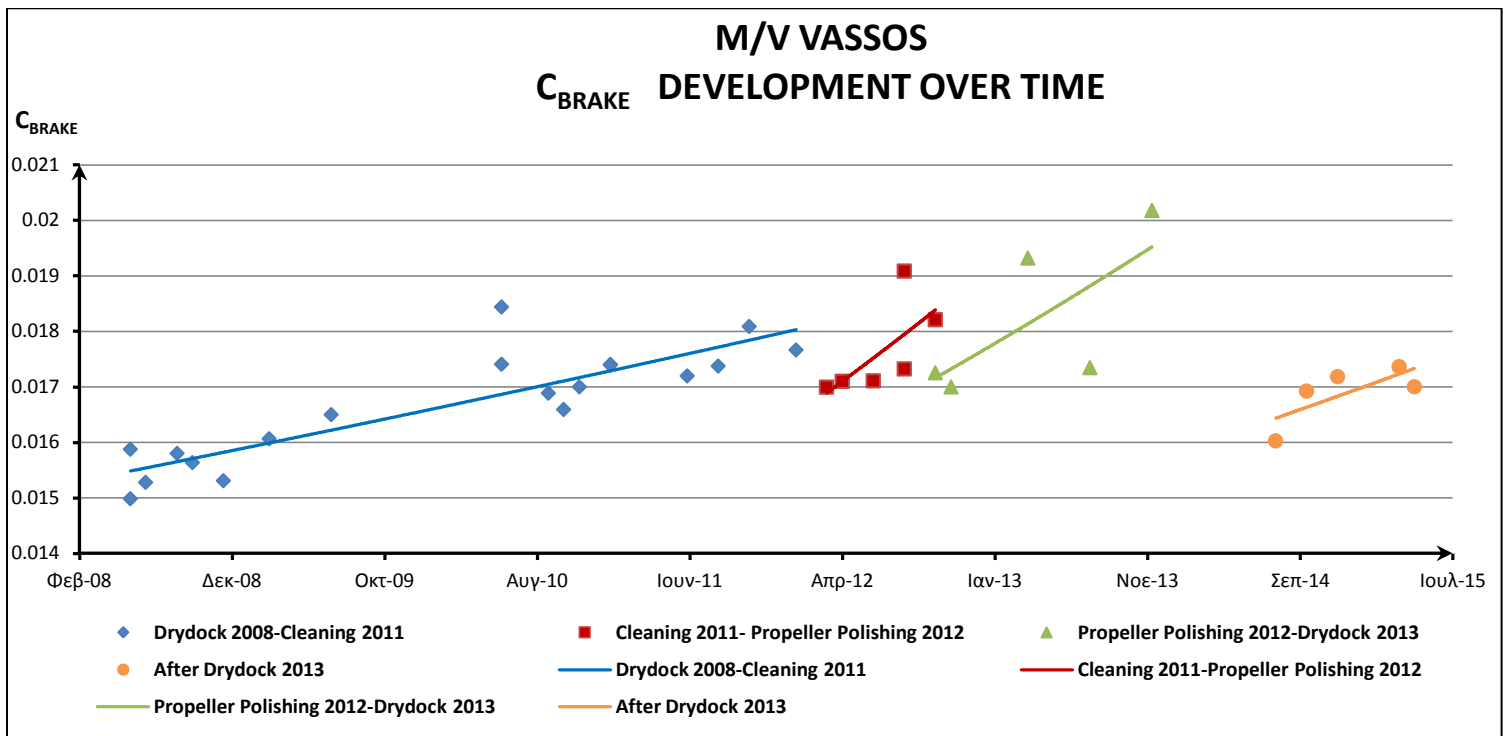
Η εικόνα που παρουσιάζουν οι μετρήσεις του πλοίου M/V MARITSA είναι πιο κοντά στην εικόνα που αναμέναμε. Τα περισσότερα σημεία βρίσκονται εντός της περιοχής που ορίζουν οι καμπύλες των Sea Trials και Shop Trials. Το ενδιαφέρον στο συγκεκριμένο πλοίο είναι ότι έχει πολλά σημεία στις 76 RPM (πράσινο πλαίσιο) και φαίνεται η συνεχής μετάβαση σε πιο βαριές καμπύλες έλικας λόγω ρύπανσης.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα των σταθερών  $C_{BRAKE}$  και  $C_{FOUL}$  συν τω χρόνω για τα τέσσερα πλοία τα οποία εξετάζουμε.

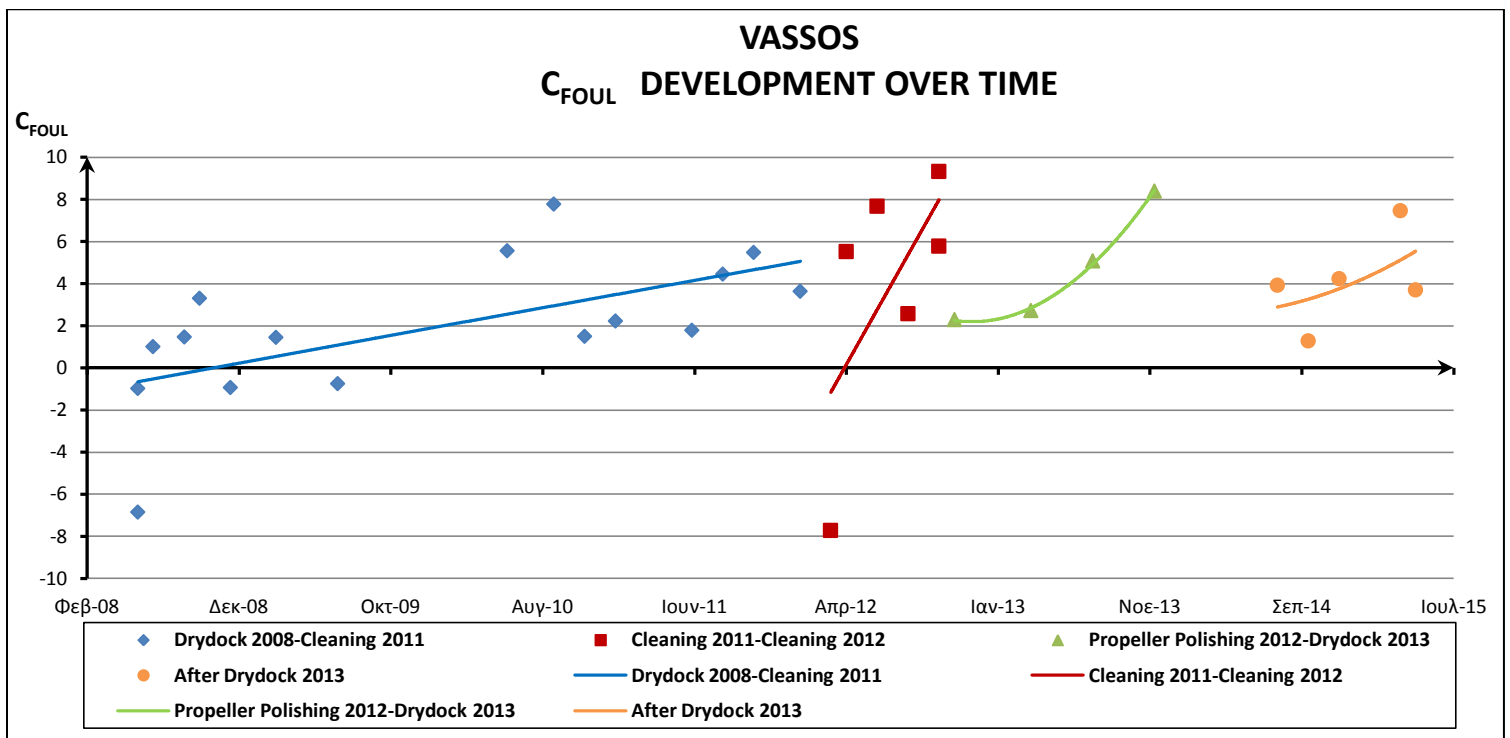


## 9.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $C_{BRAKE}$ ΚΑΙ $C_{FOUL}$ ΣΥΝ ΤΩ ΧΡΟΝΩ

### 9.2.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ $C_{BRAKE}$ ΚΑΙ $C_{FOUL}$ ΣΤΟ ΠΛΟΙΟ M/V VASSOS



Διάγραμμα 9.5: Μεταβολή της σταθεράς της έλικας  $C_{BRAKE}$  συν τω χρόνω (M/V VASSOS)



Διάγραμμα 9.6: Μεταβολή του συντελεστή αντίστασης λόγω ρύπανσης  $C_{FOUL}$  συν τω χρόνω (M/V VASSOS)

**ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V VASSOS**

Όπως αναμέναμε, το εμφανιζόμενο trend είναι αύξηση της σταθεράς της έλικας έως κάποιο καθαρισμό-δεξαμενισμό, απότομη πτώση και στη συνέχεια και πάλι αύξηση.

Αρχικά παρατηρούμε ότι μετά τον πρώτο καθαρισμό η κλίση του trend είναι πολύ υψηλότερη από αυτή μετά το δεξαμενισμό. Αυτό πιθανώς να οφείλεται σε φθορά των υφαλοχρωμάτων κατά τον καθαρισμό.

Μία άλλη παρατήρηση είναι ότι η μείωση του  $C_{\text{BRAKE}}$  είναι ελαφρώς μεγαλύτερη για το γυάλισμα της προπέλας από ότι για τον καθαρισμό της γάστρας. Επιπλέον ο ρυθμός μεταβολής της αύξησης του  $C_{\text{BRAKE}}$  μετά τον καθαρισμό είναι ελαφρώς μεγαλύτερος από ότι μετά το γυάλισμα της προπέλας, και ο μικρότερος ρυθμός μεταβολής της αύξησης (εκφρασμένος ως κλίση της καμπύλης) επέρχεται μετά από το δεξαμενισμό του πλοίου.

Παρατηρούμε επίσης ότι η μείωση της σταθεράς της έλικας μετά το δεξαμενισμό είναι περίπου 4 φορές μεγαλύτερη από ότι μετά από καθαρισμό ή γυάλισμα της έλικας.

Τα ίδια συμπεράσματα εξάγονται και από το διάγραμμα για το  $C_{\text{FOUL}}$ . Στα διαγράμματα του  $C_{\text{FOUL}}$  παρατηρούμε μεγαλύτερη διασπορά λόγω της μικρότερης ακρίβειας των δεδομένων εισόδου.

Method of Cleaning	Date	$C_{\text{BRAKE}}$ Reduction	Time until $C_{\text{BRAKE}}$ reaches previous value	$C_{\text{FOUL}}$ Reduction
Underwater Hull Cleaning	2011	-4.64%	~8 months	-59.06%
Propeller Polishing	2012	-5.95%	~8 months	-17.33%
Drydock	2013	-20.58%	-	-79.63%

**Πίνακας 9.1:Μείωση της σταθεράς της έλικας και της σταθεράς της ρύπανσης μετά από κάθε καθαρισμό**



**ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ Μ/Υ ΚΑΤΕΡΙΝΑ**

Στο πλοίο αυτό δεν έγινε κάποιος καθαρισμός γάστρας ή έλικας μεταξύ των δεξαμενισμών και συνεπώς έχουμε την καλύτερη επίδειξη της εξέλιξης του φαινομένου της ρύπανσης μεταξύ δύο δεξαμενισμών. Είναι προφανής η αύξηση και η απότομη πτώση τόσο της σταθεράς της έλικας όσο και της σταθεράς ρύπανσης της γάστρας. Παρατηρείται αισθητά μεγαλύτερη διασπορά των σημείων (scatter) στην περίπτωση της σταθεράς ρύπανσης  $C_{FOUL}$ .

Ενδιαφέροντα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν παρατηρώντας τις κλίσεις των διαγραμμάτων, στη συγκεκριμένη περίπτωση ειδικά του  $C_{FOUL}$ . Παρατηρείται μία σταθερή, αργή αύξηση στην αρχή και στη συνέχεια ο ρυθμός μεταβολής της αύξησης του  $C_{FOUL}$  συνεχώς ανεβαίνει. Αυτό συμβαίνει διότι μετά την ανάπτυξη του βιοφίλμ και των πρώτων μικροοργανισμών στη συνέχεια αρχίζει η ανάπτυξη μεγάλων ζωικών οργανισμών οι οποίοι αυξάνουν κατά πολύ την αντίσταση.

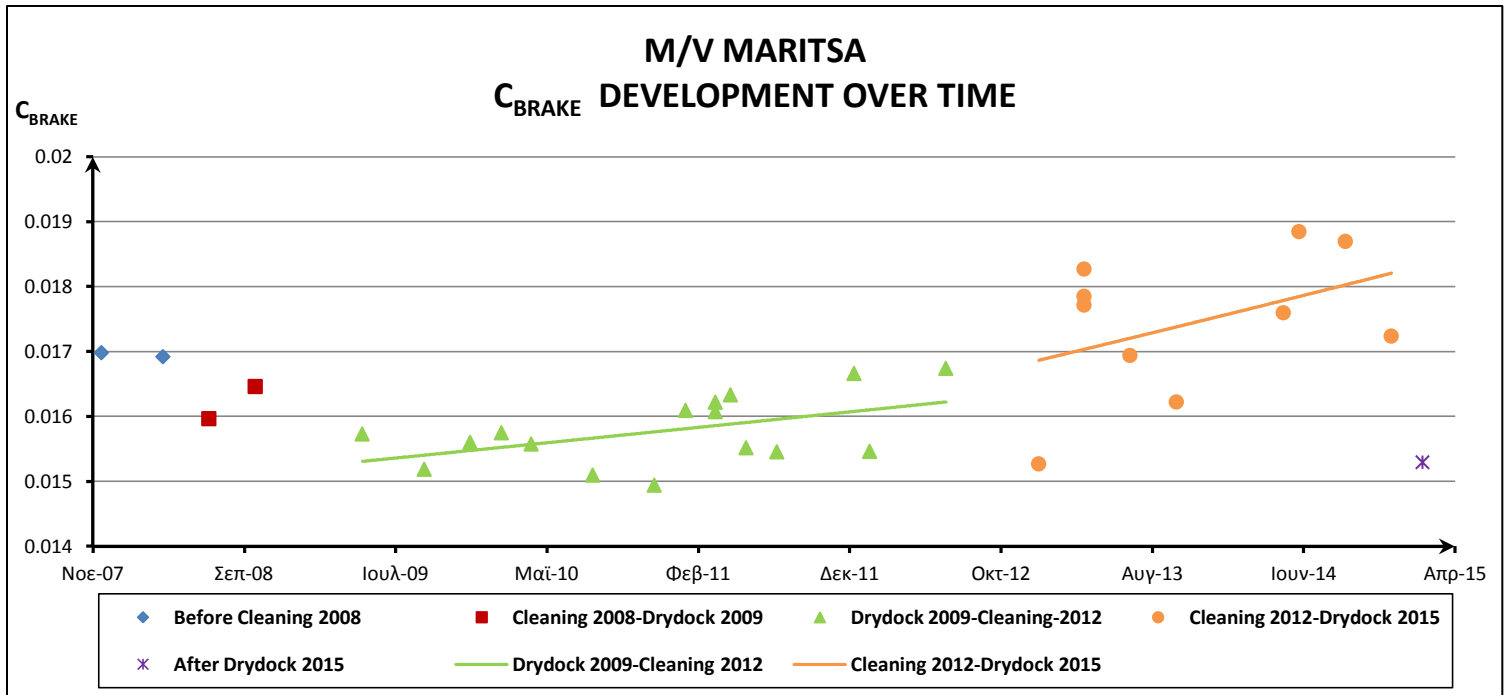
Παρατηρούμε επίσης ότι οι 3 πρώτες μετρήσεις στην κόκκινη καμπύλη του  $C_{FOUL}$  επηρεάζουν σημαντικά την κλίση του trendline. Οι μετρήσεις αυτές δεν αποκλείστηκαν διότι δεν παρουσίασαν κάποιο παράλογο αποτέλεσμα στην παράμετρο  $C_{BRAKE}$  και συνεπώς δεν θεωρούνται λανθασμένα δεδομένα εισόδου.

Method of Cleaning	Date	$C_{BRAKE}$ Reduction	$C_{FOUL}$ Reduction
Drydock	2008	-22.55%	-79.40%
Drydock	2014	-22.38%	-50.28%

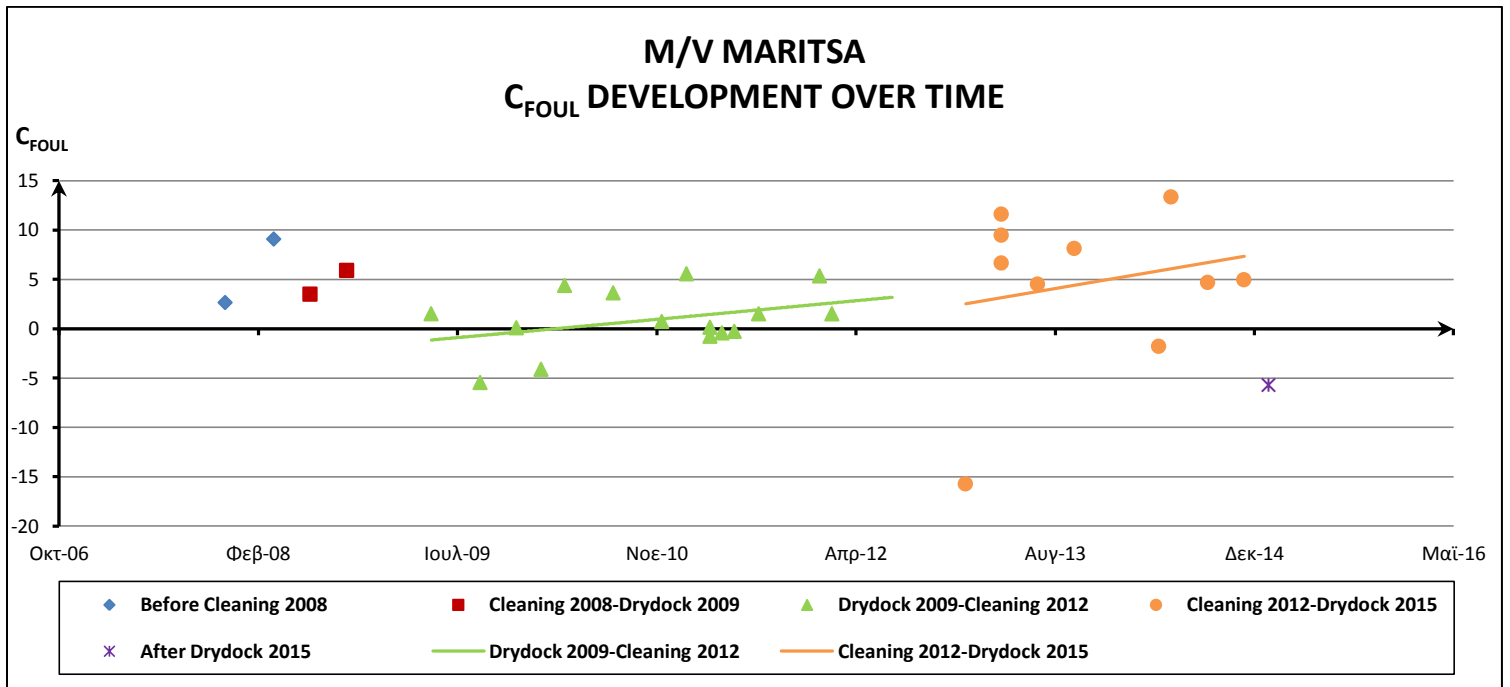
Πίνακας 9.2: Μείωση της σταθεράς της έλικας και της σταθεράς αντίστασης λόγω ρύπανσης μετά από κάθε δεξαμενισμό



9.2.3 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ  $C_{BRAKE}$  ΚΑΙ  $C_{FOUL}$  ΣΤΟ ΠΛΟΙΟ M/V MARITSA



Διάγραμμα 9.9: Μεταβολή της σταθεράς της έλικας  $C_{BRAKE}$  συν τω χρόνω (M/V MARITSA)

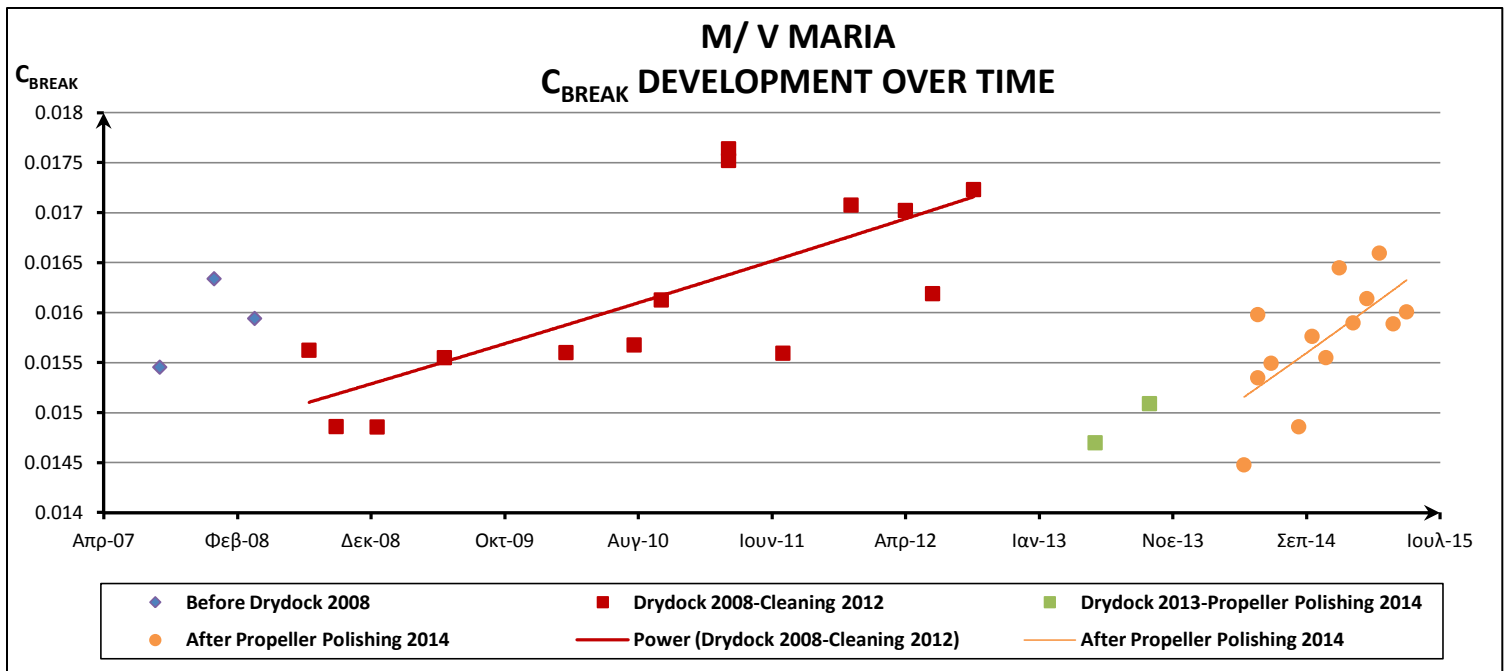


Διάγραμμα 9.10: Μεταβολή του συντελεστή αντίστασης λόγω ρύπανσης  $C_{FOUL}$  συν τω χρόνω (M/V MARITSA)

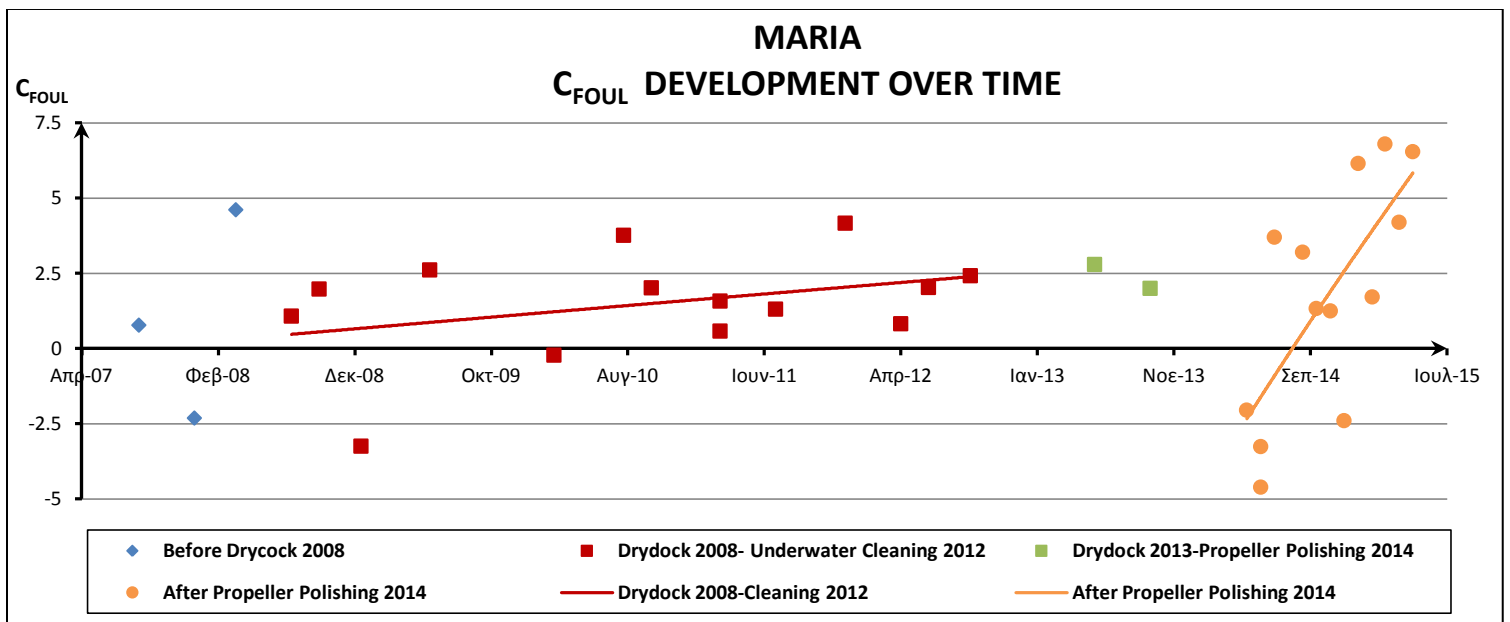
**ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V MARITSA**

Όμοια με πριν έχουμε επιβεβαίωση των αναμενόμενων trends. Αυτό το οποίο αξίζει σχολιασμού είναι η πορεία των trends μετά τον καθαρισμό του 2012. Φαίνεται, το trend μετά τον δεξαμενισμό του 2012 να αποτελεί σχεδόν προέκταση του trend πριν από τον καθαρισμό παρά την απότομη μείωση που παρατηρείται αρχικά. Αυτό συμβαίνει διότι η χρονική διαφορά μεταξύ των μετρήσεων είναι πολύ μεγάλη (1 χρόνος). Παρατηρούμε ότι μετά από περίπου 1 χρόνο από τον καθαρισμό οι σταθερές  $C_{BRAKE}$  και  $C_{FOUL}$  έχουν περίπου την ίδια τιμή που είχαν πριν τον καθαρισμό. Οι πίνακες που κατασκευάστηκαν στα προηγούμενα δύο πλοία δεν έχουν νόημα στη συγκεκριμένη περίπτωση λόγω της μεγάλης διαφοράς της επόμενης μέτρησης μετά από κάθε δεξαμενισμό ή καθαρισμό.

9.2.4 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ  $C_{BRAKE}$  ΚΑΙ  $C_{FOUL}$  ΣΤΟ ΠΛΟΙΟ M/V MARIA



Διάγραμμα 9.11: Μεταβολή της σταθεράς της έλικας  $C_{BRAKE}$  συν το χρόνο (M/V MARIA)



Διάγραμμα 9.12: Μεταβολή του συντελεστή αντίστασης λόγω ρύπανσης  $C_{FOUL}$  συν το χρόνο (M/V MARIA)

**ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V MARITSA**

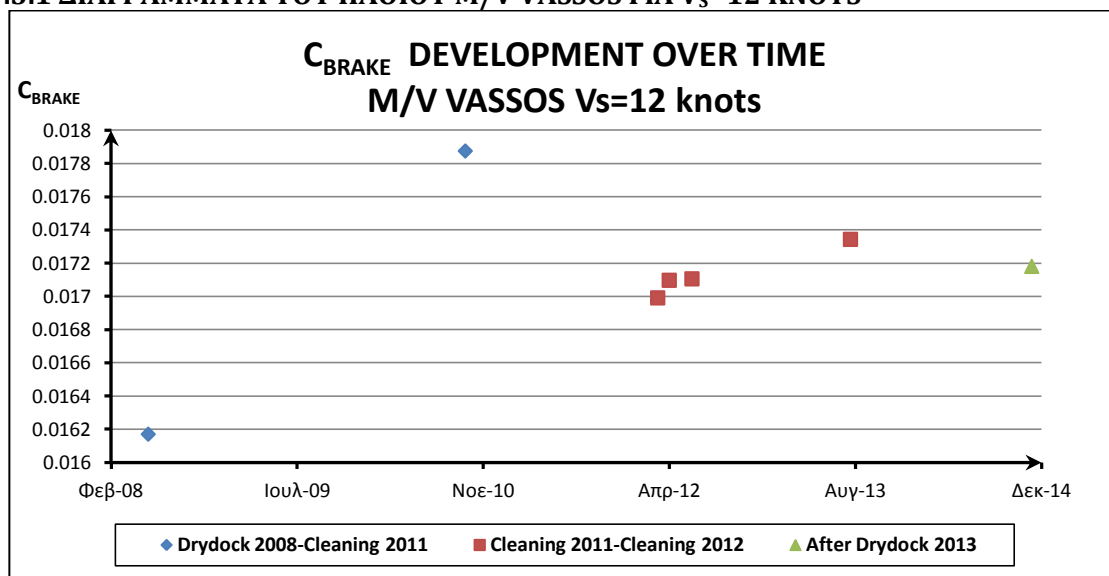
Όμοια με πριν επιβεβαιώνονται τα αναμενόμενα trends. Λόγω μεγάλης χρονικής απόκλισης των μετρήσεων πριν και μετά από κάθε καθαρισμό δε μπορούμε να φτιάξουμε τους πίνακες μείωσης των σταθερών όπως στα πλοία VASSOS και KATERINA.

### 9.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $C_{BRAKE}$ ΚΑΙ $C_{FOUL}$ ΓΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΛΟΙΟΥ

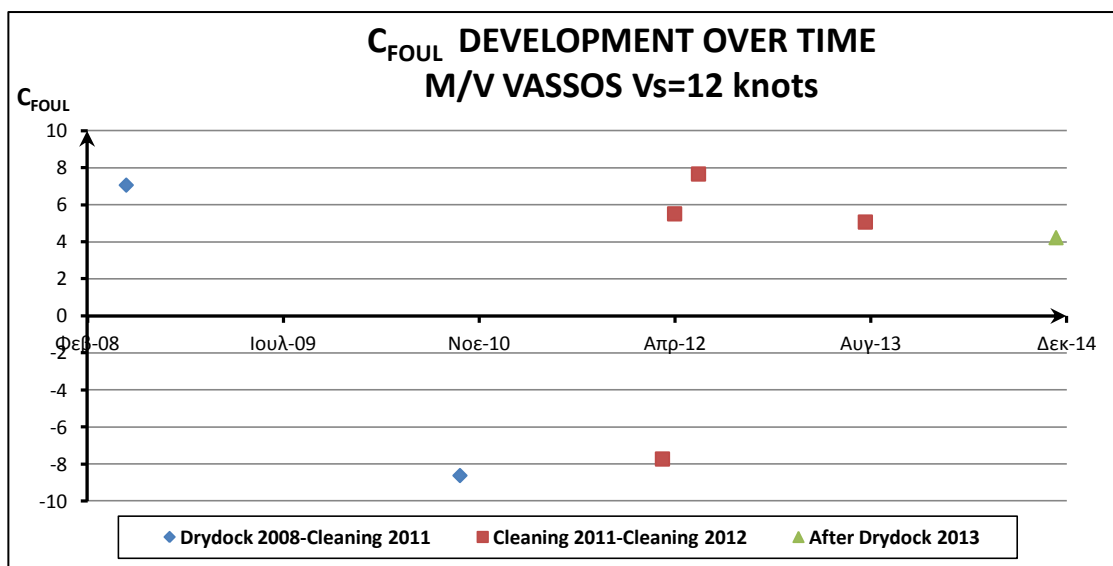
Θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα των  $C_{BRAKE}$  και  $C_{FOUL}$  για σταθερή ταχύτητα πλοίου συν τω χρόνω. Τα διαγράμματα γίνονται για ταχύτητες 11,12,13 και 14 κόμβων αν φυσικά επαρκούν τα δεδομένα.

Τα διαγράμματα αυτά, θεωρητικά, δείχνουν πιο παραστατικά την επίδραση του Fouling όμως στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε πρόβλημα **έλλειψης επαρκούς αριθμού σημείων** για κάθε ταχύτητα. Ο λόγος της έλλειψης είναι ο αποκλεισμός σημείων, που βρίσκονται ενδιάμεσα των ταχυτήτων. Επί παραδείγματι, ένα σημείο με ταχύτητα 13.5 κόμβων, δεν μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία των 13 ή 14 κόμβων. Τα διαγράμματα αυτά τελικά, αδυνατούν να καταδείξουν επαρκώς το φαινόμενο ,λόγω έλλειψης αρκετών μετρήσεων ή λόγω μεγάλης χρονικής διαφοράς από τη μία μέτρηση στην άλλη.

#### 9.3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V VASSOS ΓΙΑ $V_s=12$ KNOTS

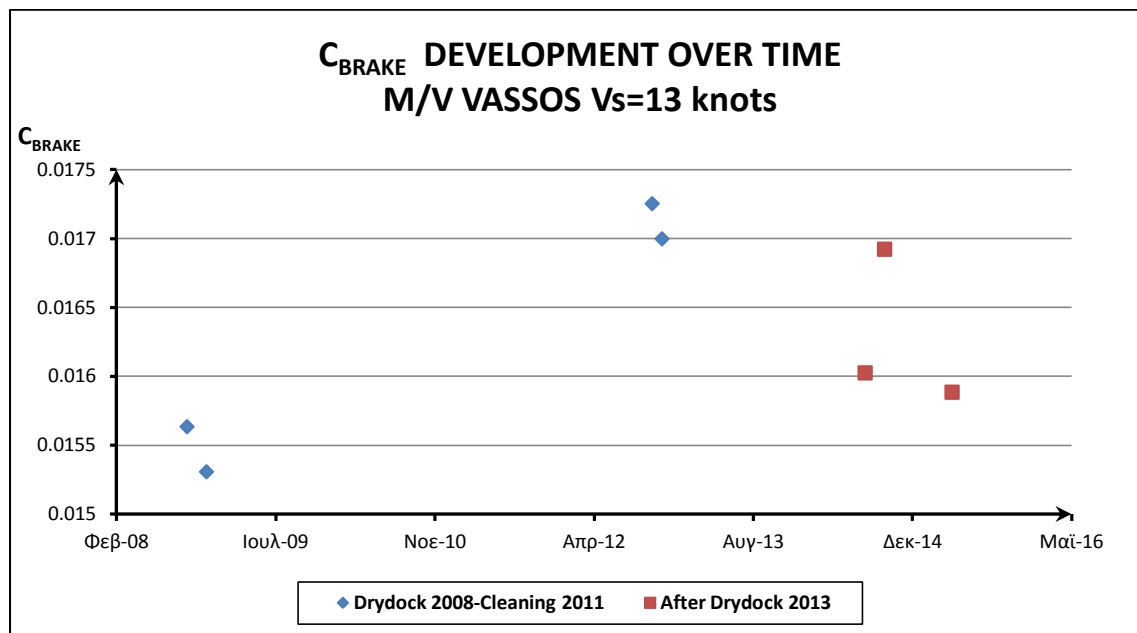


Διάγραμμα 9.13: Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_s=12$  knots στο πλοίο M/V VASSOS

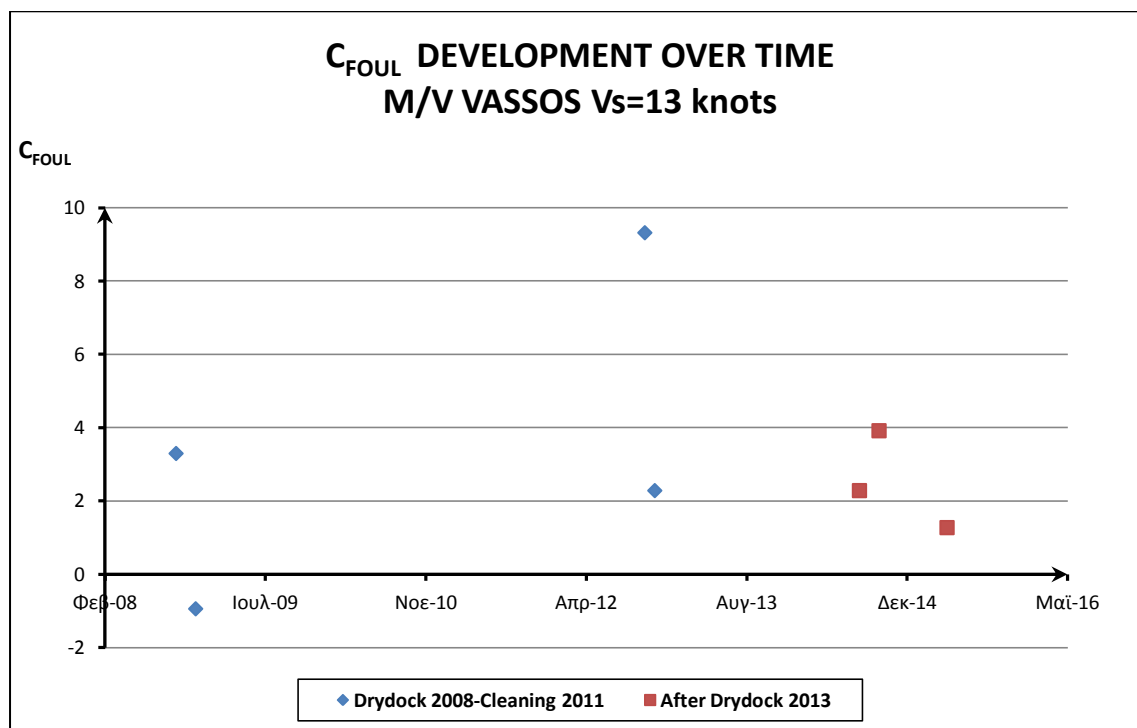


Διάγραμμα 9.14: Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_s=12$  knots στο πλοίο M/V VASSOS

9.3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V VASSOS ΓΙΑ  $V_s=13$  KNOTS

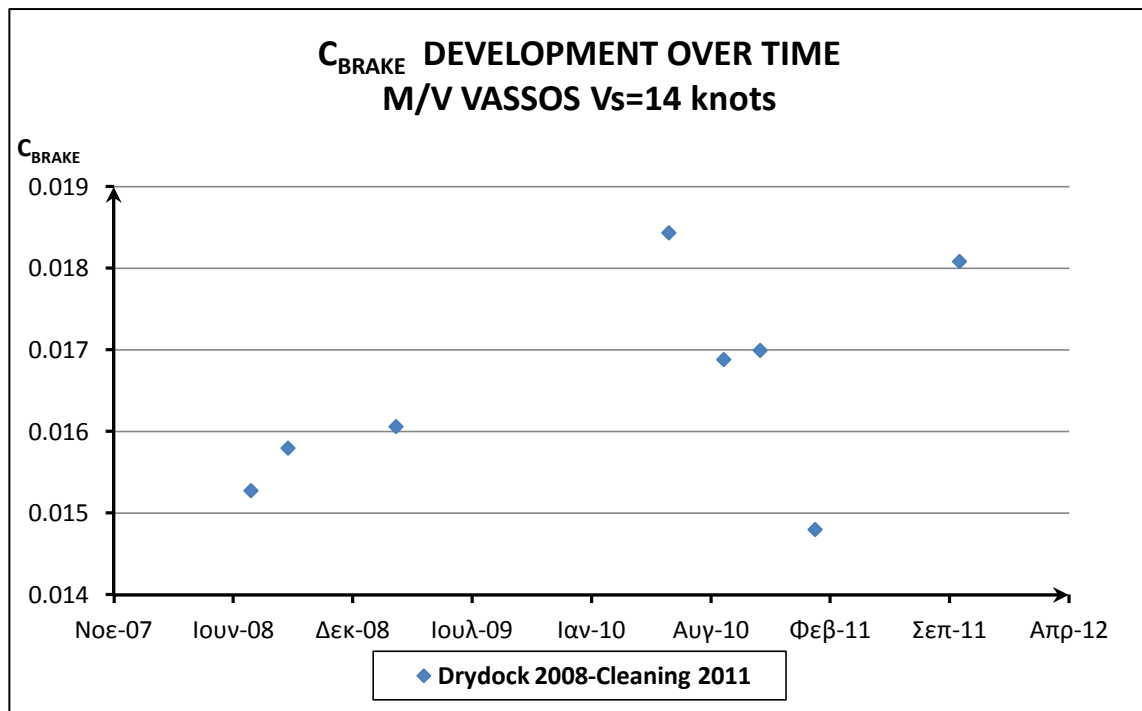


Διάγραμμα 9.15: Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_s=13$  knots στο πλοίο M/V VASSOS

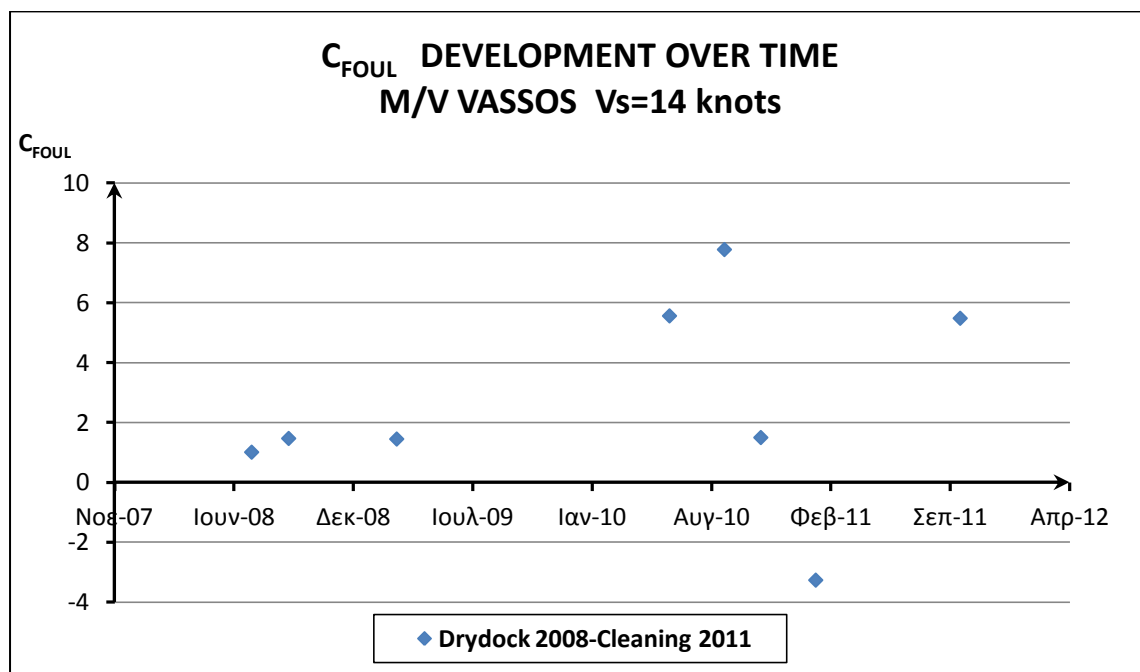


Διάγραμμα 9.16: Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_s=13$  knots στο πλοίο M/V VASSOS

9.3.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V VASSOS ΓΙΑ  $V_s=14$  KNOTS

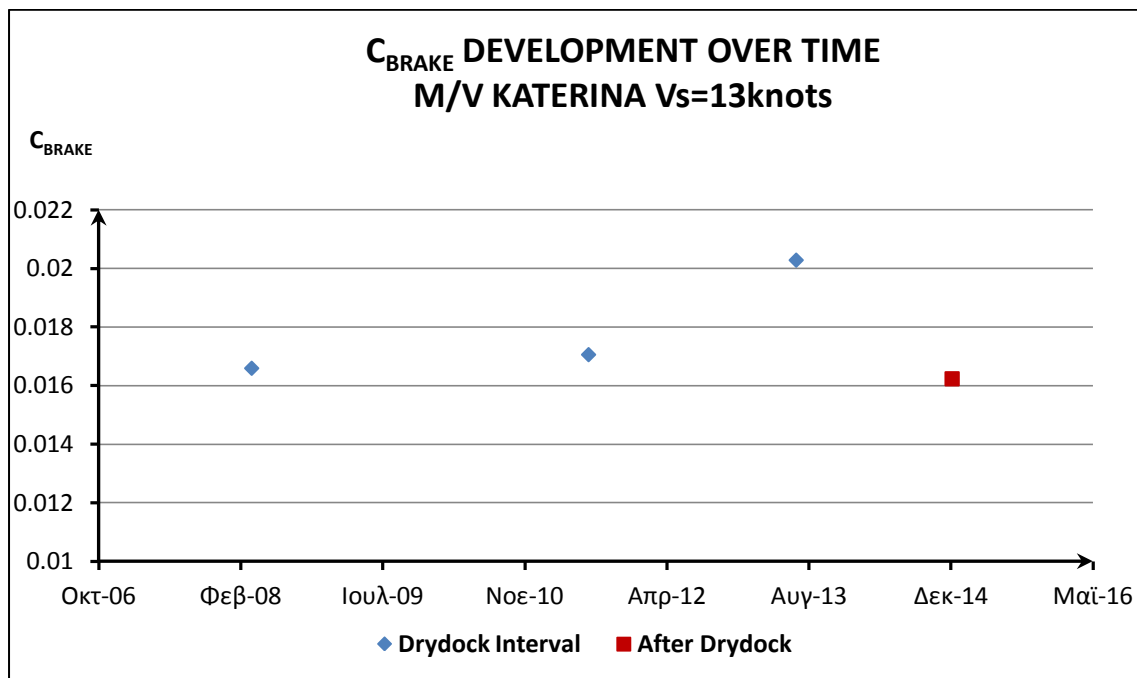


Διάγραμμα 9.17: Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_s=14$  knots στο πλοίο M/V VASSOS

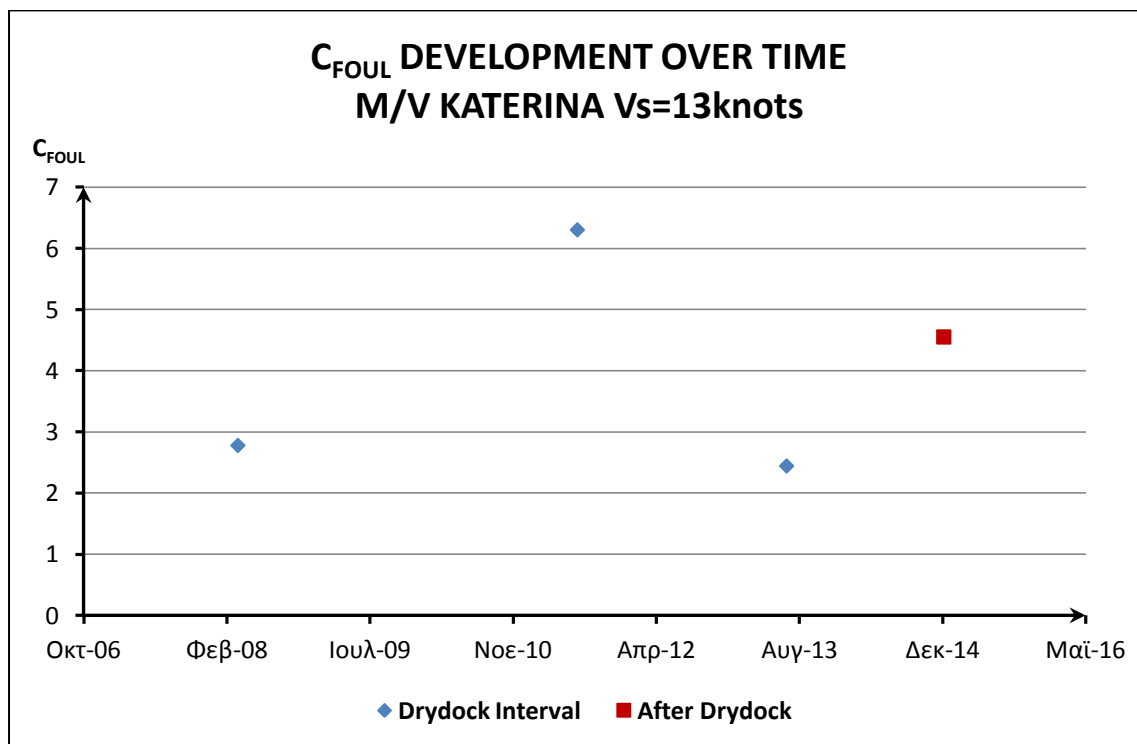


Διάγραμμα 9.18: Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_s=14$  knots στο πλοίο M/V VASSOS

9.3.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V KATERINA ΓΙΑ  $V_s=13$  KNOTS



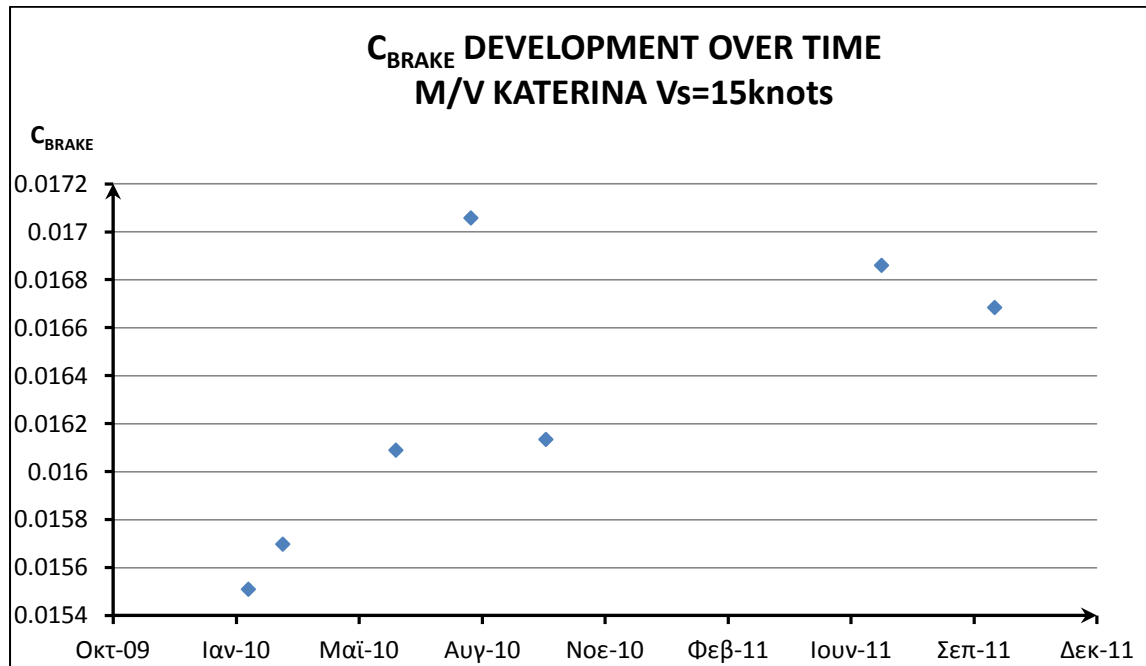
Διάγραμμα 9.19: Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_s=13$  knots στο πλοίο M/V KATERINA



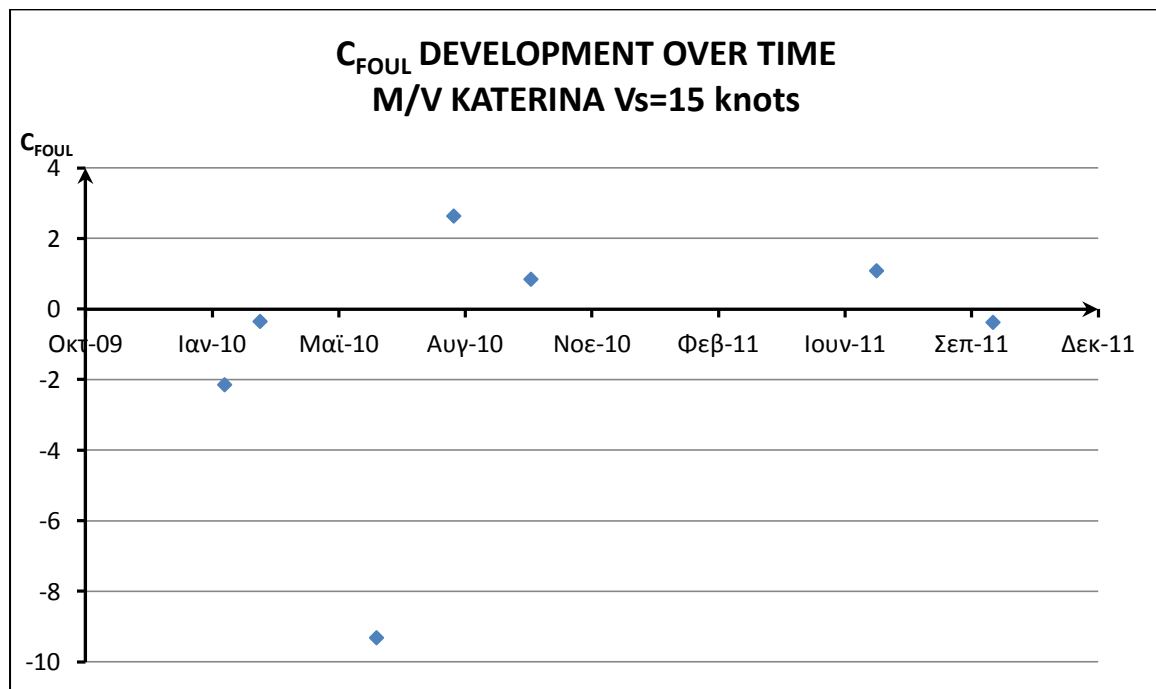
Διάγραμμα 9.20: Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_s=13$  knots στο πλοίο M/V KATERINA



9.3.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V KATERINA ΓΙΑ  $V_s=15$  KNOTS

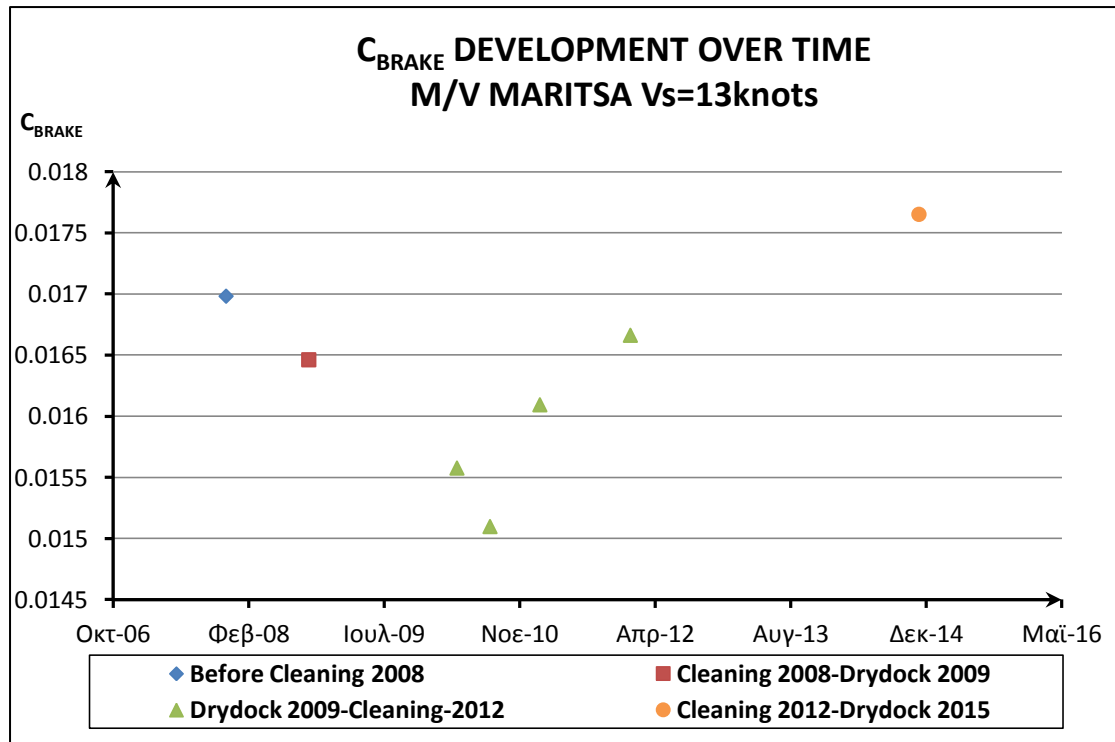


Διάγραμμα 9.21: Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_s=15$  knots στο πλοίο M/V KATERINA

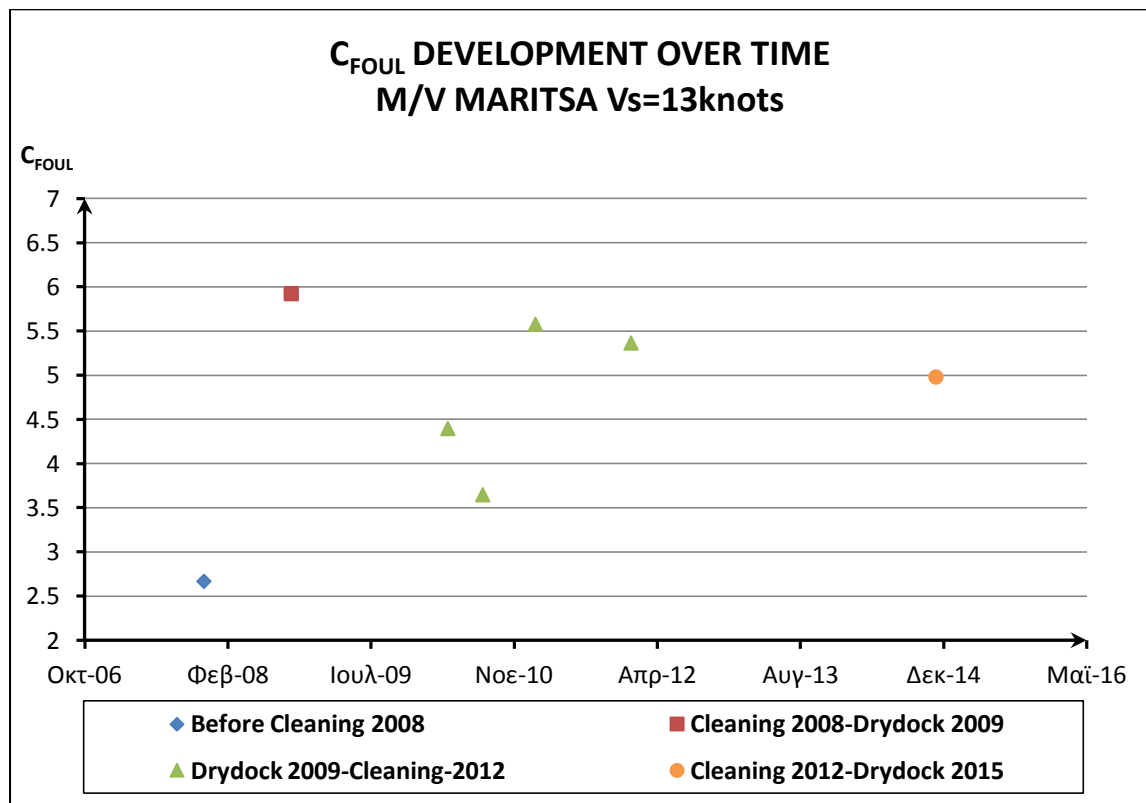


Διάγραμμα 9.22: Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_s=15$  knots στο πλοίο M/V KATERINA

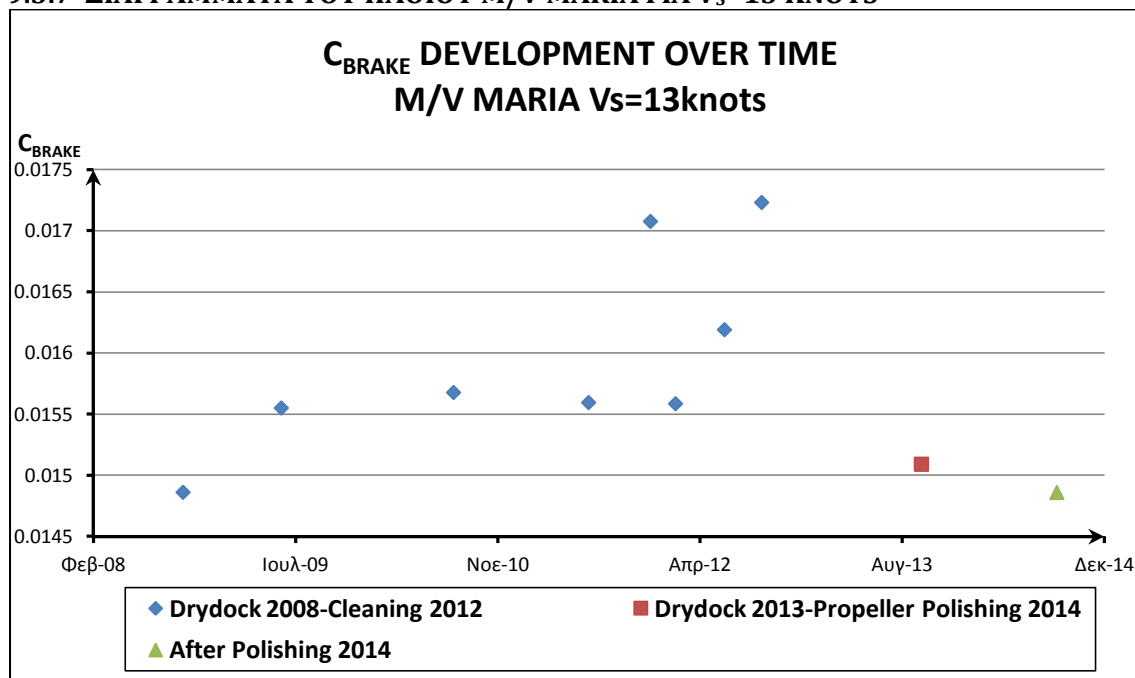
9.3.6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V MARITSA ΓΙΑ  $V_s=13$  KNOTS



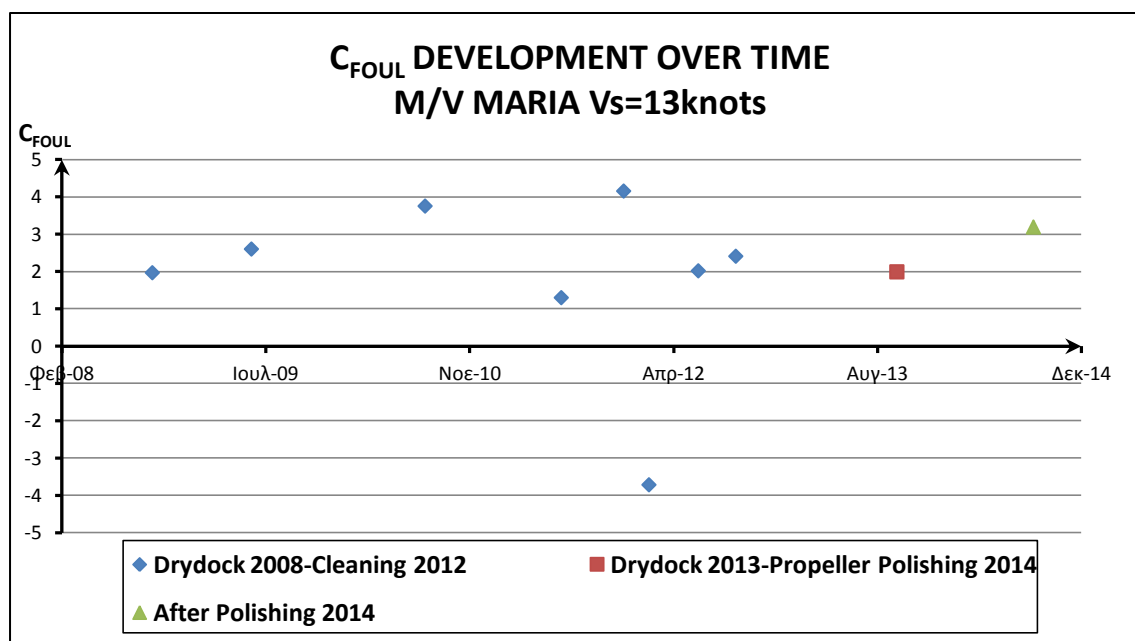
Διάγραμμα 9.23: Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_s=13$  knots στο πλοίο M/V MARITSA



Διάγραμμα 9.24: Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_s=13$  knots στο πλοίο M/V MARITSA

9.3.7 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ M/V MARIA ΓΙΑ  $V_S=13$  KNOTS

Διάγραμμα 9.25: Εξέλιξη της σταθεράς έλικας για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_S=13$  knots στο πλοίο M/V MARIA



Διάγραμμα 9.26: Εξέλιξη της σταθεράς ρύπανσης για σταθερή ταχύτητα πλοίου  $V_S=13$  knots στο πλοίο M/V MARIA

**ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

Τα διαγράμματα εξέλιξης των σταθερών έλικας και ρύπανσης συν τω χρόνω για **σταθερή ταχύτητα πλοίου** θεωρητικά δείχνουν πιο παραστατικά την επίδραση του fouling στο πλοίο. Φαίνεται εμφανώς το πόσο πιο βαριά είναι η έλικα και το πως αυξάνεται η αντίσταση λόγω ρύπανσης συν τω χρόνω για δεδομένη ταχύτητα πλοίου. Στη συγκεκριμένη εργασία η επίδραση δεν είναι πάντα εμφανής λόγω έλλειψης αρκετών σημείων. Διαγράμματα στα οποία είχαμε στη διάθεση μας πολύ λίγα σημεία δεν παρουσιάζονται.

## 9.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της εργασίας, καταδεικνύουν ότι η εξέλιξη του φαινομένου της ρύπανσης, είναι δυνατόν να φανεί μέσω της αύξησης της ζήτησης ισχύος από την κύρια μηχανή του πλοίου και αφαιρώντας όλους τους άλλους παράγοντες που προκαλούν αντίσταση. Ο υπολογισμός της ισχύος έγινε με μαθηματικό μοντέλο κινητήρα πρόωσης και οι διορθώσεις που εφαρμόζονται αφορούν την πρόσθετη αντίσταση κυματισμού, την αντίσταση αέρα και την αντίσταση σε ήρεμο νερό.

Η μοντελοποίηση της μηχανής του πλοίου, μας δίνει τη δυνατότητα να προσομοιώσουμε με μεγάλη ακρίβεια τη λειτουργία της, και να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα, για την κατάσταση και την εύρυθμη λειτουργία τόσο της μηχανής όσο και του πλοίου. Στην παρούσα εργασία τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της κατάστασης της γάστρας μέσω της αυξανόμενης, συν τω χρόνω, ζήτησης ισχύος. Όμως, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων μπορούν να δώσουν στον πλοιοκτήτη ή τον διαχειριστή του πλοίου (operator) χρήσιμες πληροφορίες για την κατάσταση της μηχανής και των βοηθητικών μηχανημάτων. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσα σε ένα γενικότερο πλαίσιο παρακολούθησης, αξιολόγησης λειτουργίας και προγραμματισμού της συντήρησης του πλοίου. Τα μειονεκτήματα της διαδικασίας είναι η περιπλοκότητα χρήσης των διαθέσιμων λογισμικών και η πληθώρα δεδομένων που απαιτούνται σαν είσοδο για τη δημιουργία του μοντέλου.

Η κύρια δυσκολία της μοντελοποίησης της μηχανής στην παρούσα εργασία ήταν ο έλεγχος της εγκυρότητας των δεδομένων. Για παράδειγμα, η τιμή του λόγου συμπίεσης που δόθηκε από τον κατασκευαστή κρίθηκε υπερβολικά μεγάλη και για το λόγο αυτό έγιναν προσομοιώσεις με δόκιμες έως ότου τελικά να βρεθεί μία τιμή του λόγου συμπίεσης με την οποία το μοντέλο παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Πέραν των δεδομένων που απαιτούνταν για τη δημιουργία του μοντέλου εκτενής έλεγχος απαιτείται και στα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο.

Η ίδια δυσκολία, ελέγχου της ποιότητας των δεδομένων εισόδου, παρουσιάστηκε και στις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των άλλων μορφών αντίστασης (κυματισμού και αέρα). Πιο συγκεκριμένα, σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό της αντίστασης κυματισμού παίζει το ύψος κύματος. Η συγκεκριμένη πληροφορία λαμβανόταν από τα Noon Reports και αποτελούσε οπτική παρατήρηση ή βρισκόταν μέσω της κλίμακας Beaufort με γνώση της ταχύτητας του ανέμου. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται και άλλα χαρακτηριστικά του κυματισμού που απαιτούνταν σαν δεδομένα εισόδου στη μέθοδο STA2 όπως το μήκος και η περίοδος του κυματισμού.

Ως προς τα αποτελέσματα, τα trends τα οποία αναμέναμε, και τελικά παρατηρήσαμε, είναι σταδιακή αύξηση του  $C_{FOUL}$  και  $C_{BRAKE}$  μέχρι κάποιο καθαρισμό ή δεξαμενισμό, απότομη μείωση, και στη συνέχεια και πάλι αύξηση. **Η τάση αυτή παρουσιάστηκε σε όλα τα πλοία και σε όλα τα χρονικά διαστήματα μεταξύ καθαρισμών ή δεξαμενισμών.**

Η σταθερά  $C_{FOUL}$  αναμέναμε να δείξει πιο παραστατικά την επίδραση της ρύπανσης στην απόδοση του πλοίου λόγω του ότι λαμβάνει υπόψη της την ταχύτητα. Στην πράξη όμως, παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία, και λόγω αυτού μεγαλύτερη διασπορά από την σταθερά έλικας  $C_{BRAKE}$ . Η αυξημένη διασπορά στα διαγράμματα της σταθεράς αντίστασης, οφείλεται στην μειωμένη ακρίβεια των δεδομένων που απαιτούνται για τον υπολογισμό της. Ο κύριος παράγοντας μειωμένης ακρίβειας, που υπεισέρχεται στον υπολογισμό του  $C_{FOUL}$  είναι η ταχύτητα του πλοίου η οποία υπεισέρχεται στον υπολογισμό της τόσο ως ο παρονομαστής του κλάσματος αλλά και μέσω του υπολογισμού της πρόσθετης αντίστασης λόγω κυματισμού.

Η αυξημένη διασπορά των σημείων της σταθεράς αντίστασης  $C_{FOUL}$ , οφείλεται πέρα από την αμφισβητούμενη ακρίβεια των μετρήσεων της ταχύτητας και στην ακρίβεια των μεθόδων υπολογισμού της πρόσθετης αντίστασης σε κυματισμό και της αντίστασης σε ήρεμο νερό. Η μειωμένη ακρίβεια των μεθόδων οφείλεται στο ότι δε λαμβάνουν υπόψη την ακριβή γεωμετρία

## ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

και τις γραμμές της γάστρας του πλοίου. Επιπλέον, όσον αφορά την αντίσταση σε ήρεμο νερό, η FORMDATA είναι μία διαγραμματική μέθοδος και συνεπώς είναι πιθανό να προκύψουν λάθη κατά την ανάγνωση στοιχείων από διαγράμματα.

Παρουσιάστηκαν επίσης, ορισμένες αρνητικές τιμές της  $R_{FOUL}$  και συνεπώς και του  $C_{FOUL}$  οι οποίες ευθύνονται σε υπερεκτίμηση της αντίστασης σε ήρεμο νερό και της αντίστασης κυματισμού. Είναι χαρακτηριστικό ότι κατά κύριο λόγο, οι αρνητικές τιμές αυτές παρουσιάζονται σε σχετικά υψηλές ταχύτητες πλοίου (άνω των 14 κόμβων). Οι αρνητικές τιμές καταδεικνύουν ότι οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι για τον υπολογισμό της αντίστασης σε ήρεμο νερό και της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού είναι χαμηλής ακρίβειας και μάλιστα ότι **υπερεκτιμούν** τα μεγέθη τα οποία υπολογίζουν, ειδικά σε υψηλές ταχύτητες.

Η σταθερά  $C_{BRAKE}$ , έχει το πλεονέκτημα ότι χρειάζεται λιγότερα και πιο φερέγγυα δεδομένα για τον υπολογισμό της, αλλά δε λαμβάνει υπόψη την ταχύτητα του πλοίου. Για να αντιμετωπιστεί αυτό έγιναν τα διαγράμματα σταθερής ταχύτητας για το  $C_{BRAKE}$  όπου φαίνεται η χρονική μεταβολή της σταθεράς της έλικας **για την ίδια ταχύτητα πλοίου**. Το πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε ήταν η έλλειψη επαρκούς αριθμού σημείων με την ίδια ταχύτητα και μικρή χρονική διαφορά το ένα από το άλλο.

Κατά τη γνώμη του συγγραφέα, το μέγεθος με το οποίο θα φανεί παραστατικότερα η επίδραση και η ανάπτυξη της ρύπανσης είναι τα **διαγράμματα  $C_{FOUL}$  για σταθερή ταχύτητα πλοίου**. Στην εργασία αυτή, δεν είχαμε αρκετά σημεία ώστε να φανεί η επίδραση της ρύπανσης μέσω των διαγραμμάτων αυτών. Ορισμένα σημεία είχαν χρονική διαφορά ακόμα και πάνω από έξι μήνες και συνεπώς δεν ήταν δυνατό να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με την εξέλιξη της ρύπανσης μέσω των διαγραμμάτων αυτών. Θεωρούμε, ότι ένας ικανός αριθμός σημείων, είναι δύο με τρία σημεία το μήνα, και ένα σημείο πριν και μετά από κάθε παραμονή πλοίου σε λιμάνι ή αγκυροβόλιο. Το πρόβλημα της κοινής ταχύτητας σημείων μπορεί να ξεπεραστεί μερικώς αν όλες οι Αναφορές Απόδοσης (Performance Reports) λαμβάνονται με μία σταθερή ταχύτητα πλοίου ώστε να είναι ευκολότερη η σύγκριση.

Πέρα από την εξέταση της ανάπτυξης της ρύπανσης, μέσω της μεθοδολογίας αυτής, είναι δυνατόν να εξεταστεί και η **ταχύτητα εξέλιξης** του φαινομένου μελετώντας τις κλίσεις των trendlines. Αυτό φαίνεται πιο παραστατικά, στο M/V KATERINA, όπου παρατηρείται αρχικά μία αργή αύξηση της ρύπανσης, η οποία στη συνέχεια γίνεται δραστικότερη. Πιθανώς, το σημείο αυτό όπου η ανάπτυξη γίνεται ταχύτερη να αποτελεί ένα καλό σημείο καθαρισμού της γάστρας ή της έλικας.

Σχετικά με τους καθαρισμούς μεταξύ των δεξαμενισμών, στο πλοίο M/V VASSOS φάνηκε ότι η λύση του καθαρισμού της έλικας είναι μία ελαφρώς καλύτερη λύση από τον καθαρισμό μόνο της γάστρας ως προς τη μείωση των σταθερών  $C_{FOUL}$  και  $C_{BRAKE}$ . Από την παρατήρηση των διαγραμμάτων, φάνηκε ότι τα πλοία στα οποία γίνεται καθαρισμός φτάνουν στην κατάσταση που ήταν πριν τον καθαρισμό σε **περίπου** 8 μήνες μετά τον καθαρισμό. Αυτό φυσικά εξαρτάται από διάστημα που το πλοίο παραμένει ακίνητο, τα νερά τα οποία πλέει την ταχύτητα πλεύσης και άλλους παράγοντες.

Τέλος επιβεβαιώνεται αυτό που αναφέρεται στο [20] ότι το πλοίο μετά από κάθε δεξαμενισμό βρίσκεται σε ελαφρώς χειρότερη κατάσταση από αυτή που ήταν στον προηγούμενο.



## 9.5 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κατά τη γνώμη του συγγραφέα οι μελλοντικές εργασίες θα πρέπει να έχουν δύο κύριες κατευθύνσεις. Η πρώτη είναι η βελτίωση της ακρίβειας της ήδη υπάρχουσας μεθοδολογίας, και η δεύτερη η δημιουργία μίας μεθοδολογίας **πρόβλεψης της εξέλιξης της ρύπανσης** σε βάθος χρόνου και των οικονομικών συνεπειών της.

Η βελτίωση της ακρίβειας της υπάρχουσας μεθοδολογίας συνίσταται κατά κύριο λόγο στη βελτίωση των μεθόδων γύρω από τον υπολογισμό των υδροδυναμικών χαρακτηριστικών του πλοίου. Ο συντελεστής μείωσης ώσης  $t$ , το ποσοστό ομόρου  $w$  και η αντίσταση σε ήρεμο νερό του πλοίου μπορούν να υπολογιστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια μέσω μεθόδων CFD. Επιπλέον, η μέθοδος μπορεί να βελτιωθεί με την ενσωμάτωση επιπλέον διορθώσεων για την επίδραση και άλλων παραγόντων στην αντίσταση του πλοίου όπως της διαγωγής.

Για την πρόβλεψη της ρύπανσης και των επιπτώσεων της στο πλοίο προϋπόθεση είναι η σύνδεση της εξέλιξης των σταθερών  $C_{FOUL}$  και  $C_{BRAKE}$  και με την εξέλιξη της SFOC. Δηλαδή πως μία επί τοις εκατό μεταβολή των σταθερών θα επηρεάσει την SFOC. Συνεπώς σε πρώτο χρόνο πρέπει να έχουμε μία αξιόπιστη πρόβλεψη της εξέλιξης της σταθεράς της έλικας και της σταθεράς της αντίστασης και πως αυτές επηρεάζουν τη SFOC.

Η ανάπτυξη της ρύπανσης μπορεί να διαχωριστεί σε δύο καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου. Η μία είναι όταν το πλοίο ταξιδεύει με μία δεδομένη ταχύτητα, και η δεύτερη όταν το πλοίο βρίσκεται ακινητοποιημένο σε κάποιο λιμάνι ή αγκυροβόλιο. Όπως γνωρίζουμε η ανάπτυξη της ρύπανσης στη δεύτερη περίπτωση είναι ταχύτερη. Στα συμπεράσματα της εργασίας αναφέρθηκε ότι ένας ικανός αριθμός σημείων είναι 2 με 3 σημεία το μήνα εάν το πλοίο είναι μονίμως εν πλω και ένα σημείο πριν και μετά από κάθε ακινητοποίηση του πλοίου σε κάποιο αγκυροβόλιο ή λιμένα. Με τον τρόπο αυτό, μετά από κάποιο ικανό χρονικό διάστημα, θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε τη μέση αύξηση των σταθερών αντίστασης και συνεπώς και της SFOC για κάθε ημέρα παραμονής του πλοίου στο λιμάνι και για κάθε ημέρα όπου ταξιδεύει το πλοίο. Φυσικά η ανάπτυξη της ρύπανσης εξαρτάται και από πλείστους άλλους παράγοντες αλλά σε πρώτη προσέγγιση η ανάπτυξη της θεωρείται ότι πρέπει να προσεγγιστεί μόνο με βάση το χρόνο.

Στη συνέχεια δοθέντος ενός υπηρεσιακού προφίλ του πλοίου, δηλαδή  $X$  μέρες εν πλω σε δεδομένη ταχύτητα και  $Y$  μέρες ακινητοποιημένο θα μπορούσε να γίνει μία εκτίμηση της εξέλιξης της ρύπανσης και της συνακόλουθης εξέλιξης της SFOC για δεδομένη ταχύτητα πλεύσης. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δε μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας σε ένα πλοίο (εκτός αν υπάρχει ικανός αριθμός δεδομένων από αδελφά πλοία) αλλά θα πρέπει να μελετηθεί η ανάπτυξη της ρύπανσης στο συγκεκριμένο πλοίο πριν γίνει κάποια πρόβλεψη.

Αφού η μεθοδολογία αυτή ελεγχθεί με πραγματικά δεδομένα πλοίου, ώστε να ελεγχθεί η ακρίβεια της, μπορεί να αποτελέσει ένα εργαλείο στα χέρια του πλοιοκτήτη ή του διαχειριστή του πλοίου ως προς το πότε να δεξαμενίσει ή να καθαρίσει τη γάστρα του πλοίου. Για παράδειγμα, έχοντας μία εκτίμηση του επιπλέον κόστος καυσίμου λόγω ρύπανσης και δεδομένης της τιμής του καυσίμου ένας πλοιοκτήτης μπορεί να αποφασίσει να δεξαμενίσει νωρίτερα το πλοίο από ότι οφείλει. Με τον τρόπο αυτό, να μην πληρώνει νωρίτερα το κόστος του δεξαμενισμού αλλά πιθανώς να ωφεληθεί οικονομικά λόγω της μειωμένης κατανάλωσης και της αυξημένης αποδοτικότητας μετά το δεξαμενισμό. Ομοίως, η εκτίμηση αυτή μπορεί να βοηθήσει στη λήψη απόφασης για καθαρισμό της γάστρας ή γυάλισμα της έλικας του πλοίου.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

### ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ MATLAB

#### ΚΥΡΙΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ

%Air Resistance, Wave Resistance, Calm Water Resistance and Fouling Resistance Calculation for M/V KATERINA BULK CARRIER

```

clc
clear all
%MAIN PARTICULARS
D=19.3; % Depth
LOA=225 ;% Length over all
LBP=217; % Length between perpendiculars
B=32.26; % Beam
Dprop=7.2; % Diameter of Propeller
exp_ratio=0.5050; %Propeller Expanded Area Ratio
g=9.81; % Acceleration of Gravity

%DATA LOADING FROM EXCEL FILES
file_CB=xlsread('CB.xlsx');
file_LCB=xlsread('LCB.xlsx');
file_CP=xlsread('CP.xlsx');
file_CW=xlsread('CW.xlsx');
file_visc=xlsread('KINEMATIC_VISCOCITY.xlsx')'
file_LWL=xlsread('LWL.xlsx');
file_WSA=xlsread('WSA.xlsx');
file_disp=xlsread('DISPLACEMENT.xlsx');
swtemps=file_visc(1,:);
viscmatrix=file_visc(2,:);
draughts=file_CB(:,1);
draughts_lcb=file_LCB(:,1);
draughts_cp=file_CP(:,1);
draughts_cw=file_CW(:,1);
draughts_lwl=file_LWL(:,1);
draughts_wsa=file_WSA(:,1);
draughts_disp=file_disp(:,1);
LCBmatrix=file_LCB(:,2);
LWLmatrix=file_LWL(:,2);
CBmatrix=file_CB(:,2);
CPmatrix=file_CP(:,2);
CWmatrix=file_CW(:,2);
WSAmatrix=file_WSA(:,2);
dispmatrix=file_disp(:,2);

%WEATHER PARTICULARS AND INPUT PARAMETERS
file=xlsread('KATERINA_INPUT.xlsx');
windspeed=file(1,:);% Relative wind speed [m/sec]
RWAm=file(2,:);% Relative wind angle
shipspeed_knots=file(3,:);
shipspeed=shipspeed_knots*0.5144;%Ship speed in m/sec
weatherdirection=file(4,:); %Weather Direction in Degrees
shipheading=file(5,:); %Ship Heading in Degrees
Tm=file(6,:); % Ship's Draughts
currentspeed=file(7,:); %Current Speed
currentdirection=file(8,:);%Current Directions

```



## ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥY MATLAB

```
Neng=file(9,:); %Main Engine Revolution
Pbrake=file(10,:); % M/E Brake Horse Power in kW
swtemp=file(11,:); % Sea Water Temperature
CR_FORMDATA=file(12,:); %Residual Resistance Coefficient
(FORMDATA)
for jj=1:1:length(windspeed)
    Tmean=round(Tm(jj)*10)/10;
    %CB CALCULATION FOR CURRENT DRAFT
    for ii=1:1:size(CBmatrix)
        if (abs(draughts(ii))-Tmean)<10^-6
            CB=CBmatrix(ii);
        end
    end
    %LCB CALCULATION FOR CURRENT DRAFT
for ii=1:1:size(LCBmatrix)
    if (abs(draughts_lcb(ii))-Tmean)<10^-6
        LCB=LCBmatrix(ii);
    end
end

%LWL CALCULATION FOR CURRENT DRAFT
for ii=1:1:size(WSAmatrix)
    if (abs(draughts_wsa(ii))-Tmean)<10^-6
        WSA=WSAmatrix(ii);
    end
end

%DISPLACEMENT CALCULATION FOR CURRENT DRAFT
for ii=1:1:size(dispmatrix)
    if (abs(draughts_disp(ii))-Tmean)<10^-6
        DISP=dispmatrix(ii);
    end
end

%WSA CALCULATION FOR CURRENT DRAFT
for ii=1:1:size(LWLmatrix)
    if (abs(draughts_lwl(ii))-Tmean)<10^-6
        LWL=LWLmatrix(ii);
    end
end

%CP CALCULATION FOR CURRENT DRAFT
for ii=1:1:size(CPmatrix)
    if (abs(draughts_cp(ii))-Tmean)<10^-6
        CP=CPmatrix(ii);
    end
end

%CW CALCULATION FOR CURRENT DRAFT
for ii=1:1:size(CWmatrix)
    if (abs(draughts_cw(ii))-Tmean)<10^-6
        CW=CWmatrix(ii);
    end
end

%VISCOCITY CALCULATION FOR CURRENT S.W. TEMP
SWT=swtemp(jj);
```



## ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ MATLAB

```
for ii=1:1:size(viscmatrix)
if (abs(swtemps(ii))-SWT)<10^-6
    visc=viscmatrix(ii);
end
end

    wind_speed=windspeed(jj);% Relative wind speed [m/sec]
RWA=RWA_m(jj);
ship_speed_uncor=shipspeed(jj);
weather_direction=weatherdirection(jj);
ship_heading=shipheading(jj);
current_speed=currentspeed(jj);
current_direction=currentdirection(jj);
Nengrpm=Neng(jj);
PB=Pbrake(jj);

%Correction of Vessel's Speed due to Currents
ship_speed=Current_Correction(ship_speed_uncor,ship_heading,current_speed,current_direction);
Vs_cor(jj)=ship_speed;

% Wave Height, Wave Period and Wave Length Calculation according to Beaufor
% Scale using thw Wind speed in m/sec.
if wind_speed<=0.42
    h=0.238095238*wind_speed+0.1;
    T=1.202380952*wind_speed+1.221;
    lambda=11.9047619*wind_speed;
end
if (wind_speed>0.42&&wind_speed<=1.815)
    h=0.17921147*wind_speed+0.124731183;
    T=0.618637993*wind_speed+1.466172043;
    lambda=7.168458781*wind_speed+1.989247312
end
if (wind_speed>1.815&&wind_speed<=3.5)
    h=0.326409496*wind_speed-0.142433234;
    T=0.754302671*wind_speed+1.219940653;
    lambda=5.934718101*wind_speed+4.228486647;
end
if (wind_speed>3.5&&wind_speed<=5.18)
    h=0.446428571*wind_speed-0.5625;
    T=0.41666667*wind_speed+1.264166667;
    lambda=14.88095238*wind_speed-27.08333333;
end
if (wind_speed>5.18&&wind_speed<=7.42)
    h=0.446428571*wind_speed-0.5625;
    T=0.578125*wind_speed+2.1113125;
    lambda=11.16071429*wind_speed-7.8125;
end
if (wind_speed)>7.42&&wind_speed<=9.8
    h=0.525210084*wind_speed-1.147058824;
    T=0.554201681*wind_speed+2.288823529;
    lambda=10.50420168*wind_speed-2.941176471;
end

%WIND RESISTANCE CALCULATION
```



## ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥY MATLAB

```

[TWA,TWS]=Wind_Correction(ship_speed,ship_heading,wind_speed,RWA)
;%True Wind Angle and True Wind Speed
gwnia(jj)=TWA;
TWA=round(abs(TWA));
if (abs(ship_heading-TWA<=180))
CAA=FUJIWARA(Tmean,TWA); %Calculation of CAA using the function
"FUJIWARA" where CAA is calculated with the FUJIWARA semi-
empirical method
CAAm(jj)=CAA;
da=1.1839; %Density of Air
AXV=238.5085+47.2262+(30.8515*6+44.7192)+75.8593+(D-Tmean)*LOA; %
Area of Maximum Transverse section exposed to the
winds[Accomodation+Funnel+Hatch covers+Forecastle+ HULL]
RAA(jj)=0.5*da*(TWS^2)*CAAm(jj)*AXV ;%Air Resistance Calculation
else
RAA(jj)=0;
end
RAIR_KN(jj)=RAA(jj)/1000; %Air Resistance Calculated by Fujiwara
et al empirical method in KN

%WAVE RESISTANCE CALCULATION
if (abs(weather_direction-ship_heading<=45))
Rwave=STA(Tmean,T,h,lambda,CB,ship_speed); %Added wave resistance
Calculation using the STA2 Methodology
RJAPAN=FUJII(Tmean,h,lambda,CW,ship_speed);
RFUJ(jj)=RJAPAN;
RWAVE(jj)=Rwave;
RWAVE_KN(jj)=RWAVE(jj)/10^3;
else
RWAVE(jj)=0;
RWAVE_KN(jj)=0;
RFUJ(jj)=0;
end
Renvironment(jj)=RWAVE(jj)+RAA(jj); % Resistance due to
environment in N
Renv_kn(jj)=RWAVE_KN(jj)+RAIR_KN(jj); % Resistance due to
environment in kN

%WAKE FRACTION w CALCULATION
DP=0.75*Tmean;
w1=0.75*CB-0.24 ;%Kruger
w2=0.7*CP-0.18; %Heckscher
w3=0.25+2.5*(CB-0.6)^2; %Troost
w4=0.5*CP*(1.6/(1+DP/Tmean))*(16/(10+LBP/B)); % Schneekluth
w(jj)=(w1+w2+w3+w4)/4;

%THRUST DEDUCTION FACTOR t CALCULATION
t1=0.5*CP-0.12; %Heckscher
t2=0.5*CB-0.15; % Danckwardt
t3=w(jj)*(1.57-2.3*(CB/CW)+1.5*CB); % SSPA for Cargo Ships
t(jj)=(t1+t2+t3)/3;

%PROPULSIVE EFFICIENCY ηd
Nengrps=Nengrpm/60;
Disp_V=CB*LBP*B*Tmean;

```



## ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ MATLAB

```
hd1=0.836-0.000165*Nengrpm*(Disp_V^(1/6)); %Henschke
hd2=0.885-0.00012*Nengrpm*sqrt(LBP); %Keller
hd=(hd1+hd2)/2;

%RELATIVE EFFICIENCY PROPELLER CALCULATION
hr=0.9922-0.05908*exp_ratio+0.07425*(CP-0.0225*LCB);

%TORQUE CALCULATION
Va=ship_speed*(1-w(jj));
J(jj)=Va/(Nengrps*Dprop);
Q(jj)=PB/(2*pi*Nengrps); % Torque in kN*m
dens=1025; %Sea water density in kg/m^3

%Kq CALCULATION
Kq=hr*10^3*Q/(dens*Nengrps^2*Dprop^5);

%THRUST CALCULATION
kqJratio=Kq/J(jj)^2;
Thrust=(kqJratio*J(jj)^2)*(dens*Nengrps^2*Dprop^5);

%Kt Calculation
Kt=Thrust/(dens*(Nengrps^2)*Dprop^4);

%PROPELLER OPEN WATER EFFICIENCY
h0(jj)=Thrust*Va/(2*pi*Nengrps*Q*10^3);

%HULL EFFICIENCY ηh
hhull=(1-t(jj))/(1-w(jj));

%SHAFT EFFICIENCY ηs
%Polynom Derived from SHOP TRIALS DATA
hs=0.98;

%OPEN WATER PROPELLER EFFICIENCY ηo USING THE WAGENIGEN KOUMARTZI
POLYONYMS
%X=ln(sqrt(Kt/J2)) Calculation. We calculate X via the known P/D
Value
%S=solve('0.792600-0.216000*x+0.456300*x^2-0.748500*x^3-
0.137600*x^4+0.786400*x^5-0.313000*x^6-0.8871=0');
%x=0.25297213917046213140486238805876; %x=-S(2)
x=log(sqrt(Kt(jj)/J(jj)^2));
a0=0.5252;
a1=-0.2767;
a2=-0.0231;
a3=0.0376;
a4=-0.0037;
ho(jj)=a0+a1*x+a2*x^2+a3*x^3+a4*x^4;

%PROPULSIVE COEFFICIENT CALCULATION PC
PC=hs*hr*h0(jj)*hhull;
PCmatrix(jj)=PC;

%Brake Power to Resistance Conversion
DHP(jj)=Pbrake(jj)*hs; %Shaft Power in kW
DHP0(jj)=DHP(jj)*hr; % Delivered Power in kW
THP0(jj)=DHP0(jj)*h0(jj); % Thrust Power in kW
```



## ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ MATLAB

```
EHP(jj)=THP0(jj)*hhull; % Effective Power in kW
Resistance(jj)=EHP(jj)/(ship_speed); % Resistance in kN
RCalm_Fouled(jj)=Resistance(jj)-Renv_kn(jj); %

%PERCENTAGE OF ADDED WAVE RESISTANCE
percwave(jj)=100*(RWAVE_KN(jj)/Resistance(jj));
percair(jj)=100*(RAIR_KN(jj)/Resistance(jj));

%CALM WATER RESISTANCE CALCULATION USING FORMDATA METHOD

Fn(jj)=Vs_cor(jj)/sqrt(g*LWL); %Froude Number
v=1.18831E-06;
Rn(jj)=Vs_cor(jj)*LWL/v; %Reynolds Number
ratio(jj)=LWL/DISP^(1/3); % Length-Displacement Ratio for the
calculation of CR
CPmat(jj)=CP;
WSAmat(jj)=WSA;

%DETERMINATION OF THE RESIDUAL RESISTANCE COEFFICIENT

% Correction of CR for ships with B/T different from standard
(B/Tstand=2.5)
CR1(jj)=CR_FORMDATA(jj)+0.16*(B/Tmean-2.5);

%Correction of CR for ships with LCB different from Standard
perc_LCB(jj)=100*LCB/LWL; % Calculation of LCB in percent of LWL
LCB_STANDARD(jj)=(-43.5672486*Fn(jj)+9.32163696); % Calculation
of LCB Standard in percent of LWL
DLCB(jj)=perc_LCB(jj)-LCB_STANDARD(jj); %Calculatoin of DLCB=LCB-
LCBstandard

if DLCB(jj)<=0 %if LCB is aft of LCB standard no correction is to
be applied
    CR2(jj)=CR1(jj);
else
    if CP>=0.85
        thetalcb85=6.274302929*Fn(jj)-0.706468457;
        if thetalcb85<0
            thetalcb85=0; %The Correction os always positive
        end
        CR2(jj)=CR1(jj)+DLCB(jj)*thetalcb85;
    else
        thetalcb85=6.274302929*Fn(jj)-0.706468457;
        thetalcb80=6.176332772*Fn(jj)-0.97358672;
        if thetalcb85<0
            thetalcb85=0; %The Correction os always positive
        end
        if thetalcb80<0
            thetalcb80=0; %The Correction os always positive
        end
        thetalcbCP=thetalcb80+(thetalcb85-thetalcb80)*(CPmat(jj)-
0.80)/(0.85-0.8);
        CR2(jj)=CR1(jj)+abs(DLCB(jj))*thetalcbCP;
    end
end
```



## ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ MATLAB

```
%Correction of CR for Ships with Bulbous Bow
if CP<0.81
Froude(jj)=round(Fn(jj)*100)/100;
if Fn(jj)<0.15
    CR3(jj)=0;
end
if (Fn(jj)>=0.15&&Fn(jj)<=0.18)
    CR3(jj)=-3.333333333*Fn(jj)+0.6;
end
if (Fn(jj)>=0.18&&Fn(jj)<=0.21)
    CR3(jj)=6.666666667*Fn(jj)-1.2;
end
end
if CP>=0.81
    CR3(jj)=0;
end
CR(jj)=(CR2(jj)+CR3(jj))/10^3;

%DETERMINATION OF INCREMENTAL RESISTANCE COEFFICIENT CA
CA(jj)=(-0.004*LWL+0.8)/10^3;

%DETERMINATION OF THE FRICTIONAL RESISTANCE COEFFICIENT CF
CF(jj)=0.075/((log10(Rn(jj))-2)^2);
Sbilge=4*0.75*4.479+0.75*3.587;
Srudder=60.36;
Sapp=Srudder+Sbilge;
CFapp(jj)=CF(jj)*(Sapp+WSAmat(jj))/WSAmat(jj);
CFcor(jj)=CFapp(jj)+CA(jj);

%DETERMINATION OF TOTAL RESISTANCE COEFFICIENT CT
CT(jj)=CFcor(jj)+CR(jj);

%DETERMINATION OF TOTAL CALM WATER RESISTANCE
RES_FORMDATA(jj)=0.5*dens*CT(jj)*(ship_speed^2)*WSAmat(jj);
RES_FORMDATA_KN(jj)=RES_FORMDATA(jj)/1000;
EHPFORM(jj)=RES_FORMDATA_KN(jj)*ship_speed;

%RESISTANCE DUE TO FOULING
RFOULED_KATERINA(jj)=RCalm_Fouled(jj)-RES_FORMDATA_KN(jj);
diff(jj)=EHP(jj)-EHPFORM(jj);
SM_KATERINA(jj)=(EHP(jj)-EHPFORM(jj))/EHP(jj);
end
```



## ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΡΟΜΟΜΕΤΡΟΥ ΛΟΓΩ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

```

%FUNCTION THAT CALCULATES THE CORRECTED VESSEL SPEED DUE TO
CURRENTS
function
[ship_speed_cor]=Current_Correction(ship_speed_uncor,ship_heading
,current_speed,current_angle)
%wind_angle_cor=atan((wind_speed*sin(ship_heading_rad+rwa_rad)-
V*sin(ship_heading_rad))/(wind_speed*cos(ship_heading_rad+rwa_rad
)-V*cos(ship_heading_rad)));
%wind_speed_cor=sqrt((V^2)+(wind_speed^2)-
2*wind_speed*V*cos(wind_angle_cor));

rca=ship_heading-current_angle; % Relative Current Angle
ship_heading_rad=deg2rad(ship_heading); %Vessel's Heading in
radians
current_angle_rad=deg2rad(current_angle); %Wind Angle in Radians
rca_rad=ship_heading_rad-current_angle_rad;
%ship_speed_cor=sqrt((ship_speed_uncor)^2+(current_speed)^2-
2*current_speed*ship_speed_uncor*cos(rca_rad));
if rca<0
    rca=rca+360;
end
if (rca>=0&&rca<=90)
    ship_speed_cor=ship_speed_uncor-current_speed*cos(rca_rad);
end
if (rca>90&&rca<=180)
    ship_speed_cor=ship_speed_uncor+current_speed*cos(pi-
rca_rad);
end
if (rca>180&&rca<=270)
    ship_speed_cor=ship_speed_uncor+current_speed*cos(rca_rad-
pi);
end
if (rca>270&&rca<360)
    ship_speed_cor=ship_speed_uncor-current_speed*cos(2*pi-
rca_rad);
end

```



## ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΛΟΓΩ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

```
%FUNCTION THAT CALCULATES THE CORRECTED TRUE WIND ANGLE AND SPEED
function
[wind_angle_cor,wind_speed_cor]=Wind_Correction(V,ship_heading,wi
nd_speed,wind_angle)

ship_heading_rad=degtorad(ship_heading); %Vessel's Heading in
radians
wind_anglerad=degtorad(wind_angle); %Wind Angle in Radians
%[xship,yship]=pol2cart(ship_heading_rad,ship_speed); %
Conversion of Ship polar Coordinates to Cartesian
%[xwind,ywind]=pol2cart(wind_anglerad,wind_speed); % Conversion
of Wind polar Coordinates to Cartesian
%xcor=-xship+xwind ;%Calculation of corrected X Cartesian
Coordinate
%ycor=-yship+ywind ;%Calculation of corrected Y Cartesian
Coordinate
%[theta,metro]=cart2pol(xcor,ycor); %Conversion of Corrected Wind
Vector Cartesian Coordinates to Polar
%wind_angle_cor=radtodeg(theta);
%wind_speed_cor=metro;
relative_angle=wind_angle-ship_heading;
rwa_rad=radtodeg(relative_angle);
wind_angle_cor=atan((wind_speed*sin(ship_heading_rad+rwa_rad)-
V*sin(ship_heading_rad))/(wind_speed*cos(ship_heading_rad+rwa_rad)
)-V*cos(ship_heading_rad));
wind_speed_cor=sqrt((V^2)+(wind_speed^2)-
2*wind_speed*V*cos(wind_angle_cor));
```

**ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ  $C_{AA}$  ΜΕΣΩ ΑΝΑΔΡΟΜΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ  
(FUJIWARA et al)**

```
%AIR RESISTANCE CALCULATION (REGRESSION FORMULA BY FUJIWARA ET
AL.)
function CAAF=FUJIWARA (Tmean,TWA)
clc
LOA=225; % Ship's Length Overall
B=32.26; % Ship's Breadth
D=19.3; % Ship's Depth
HBR=34.5; %Height of Top of superstructure
file=xlsread('FUJIWARA_IN.xlsx');
draughts=file(:,1);
AYVS=file(:,2); % Projected Lateral Area above the Waterline
CMCS=file(:,3); % Horizontal distance from midship section to
centre of lateral projected Area AYV
HCS=file(:,4); %Height from Waterline to centre of lateral
projected area AYV
for ii=1:length(file)
    if (abs(draughts(ii)-Tmean)<10^-8)
        ll=ii;
        AYV=AYVS(ll);
        CMC=CMCS(ll);
        HC=HCS(ll);
    end
end
AOD=(280.26+8.2+5.2);%Lateral Projected Area of Superstructures
etc on deck
AXV=361.85+(D-Tmean)*B; %Super+ HULL]
%NON-DIMENSIONAL PARAMETERS
b10=0.922;
b11=-0.507;
b12=-1.162;
b20=-0.018;
b21=5.091;
b22=-10.367;
b23=3.011;
b24=0.341;
d10=-0.458;
d11=-3.245;
d12=2.313;
d20=1.901;
d21=-12.727;
d22=-24.407;
d23=40.310;
d24=5.481;
e10=0.585;
e11=0.906;
e12=-3.239;
e20=0.314;
e21=1.117;
%wind_angle_deg=0; %WIND ANGLE GIVEN IN DEGREES
wind_angle_deg=TWA;
wind_angle=wind_angle_deg*pi/180; % WIND ANGLE IN RADIANS
if ((0<=wind_angle)&&(wind_angle<pi/2))
```



## ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ MATLAB

```

    flag1=1;
    CLF=b10+b11*(AYV/(LOA*B))+b12*CMC/LOA;
    CXLI=d10+d11*(AYV/(LOA*HBR))+d12*AXV/(B*HBR);
    CALF=e10+e11*(AOD/AYV)+e12*(B/LOA);
end

if((pi/2<wind_angle)&&(wind_angle<=pi))
    flag2=2;
    CLF=b20+b21*(B/LOA)+b22*(HC/LOA)+b23*(AOD/LOA^2)+b24*AXV/B^2;

    CXLI=d20+d21*(AYV/(LOA*HBR))+d22*(AXV/AYV)+d23*(B/LOA)+d24*(AXV/(
    B*HBR));
    CALF=e20+e21*(AOD/AYV);
end
    if (wind_angle==pi/2)
        flag3=3;
        CLF1=b10+b11*(AYV/(LOA*B))+b12*CMC/LOA;
        CXLI1=d10+d11*(AYV/(LOA*HBR))+d12*AXV/(B*HBR);
        CALF1=e10+e11*(AOD/AYV)+e12*(B/LOA);

        CLF2=b20+b21*(B/LOA)+b22*(HC/LOA)+b23*(AOD/LOA^2)+b24*AXV/B^2;

        CXLI2=d20+d21*(AYV/(LOA*HBR))+d22*(AXV/AYV)+d23*(B/LOA)+d24*(AXV/
        (B*HBR));
        CALF2=e20+e21*(AOD/AYV);
        CAA1=CLF1*cos(wind_angle-0.1745)+CXLI1*(sin(wind_angle-
        0.1745)-0.5*sin(wind_angle-0.1745)*(cos(wind_angle-
        0.1745))^2)*sin(wind_angle-0.1745)*cos(wind_angle-
        0.1745)+CALF1*sin(wind_angle-0.1745)*(cos(wind_angle-0.1745))^3;

        CAA2=CLF2*cos(wind_angle+0.1745)+CXLI2*(sin(wind_angle+0.1745)-
        0.5*sin(wind_angle+0.1745)*(cos(wind_angle+0.1745))^2)*sin(wind_a
        ngle+0.1745)*cos(wind_angle+0.1745)+CALF2*sin(wind_angle+0.1745)*
        (cos(wind_angle+0.1745))^3;
    end
    if (wind_angle==pi/2)
        CAA=(CAA1+CAA2)/2;
    else
        CAA=CLF*cos(wind_angle)+CXLI*(sin(wind_angle)-
        0.5*sin(wind_angle)*(cos(wind_angle))^2)*sin(wind_angle)*cos(wind
        _angle)+CALF*sin(wind_angle)*(cos(wind_angle))^3;
    end
    CAAF=CAA;

```

**ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ  
ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ RWAVE ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ STA 2**

%EMPIRICAL CORRECTION METHOD WITH FREQUENCY RESPONSE FUNCTION FOR SHIPS

%WHICH HEAVE AND PITCH (STA 2)

function RSTA=STA(Tmean,T,h,lambda,CB,V)

% Calculation of Mean Resistance Increase in Regular Waves based on Mauro's Theory RAWM

w=2\*pi/T; % Circular Frequency of Incident Waves

g=9.81; %gravitational acceleration

Lpp=217; % Length Between Perpendiculars

Fr=V/(g\*Lpp)^0.5;

d=1025;% density of sea water for given temperature[kg/m^3]

B=32.26; %Breadth

kyy=0.25; % non dimensional longitudinal radius of gyration [%L]

za=h/2; %

Fn=round(Fr\*100)/100;

if (Fn-0.1<10^-6)

    rawbar=-0.0095169\*(h^4)+0.1096510\*(h^3)-  
0.3043819\*(h^2)+0.3443141\*h-0.1389988;

end

if (Fn-0.11<10^-6)

    rawbar=-0.01129893\*(h^4)+0.13379147\*(h^3)-  
0.39167607\*(h^2)+0.47693853\*h-0.213894;

end

if (Fn-0.12<10^-6)

    rawbar=-0.013107333\*(h^4)+0.158964667\*(h^3)-  
0.484427167\*(h^2)+0.620174833\*h-0.295966;

end

if (Fn-0.13<10^-6)

    rawbar=-0.015012000\*(h^4)+0.186029333\*(h^3)-  
0.585019000\*(h^2)+0.776628667\*h-0.386176;

end

if (Fn-0.14<10^-6)

    rawbar=-0.016921267\*(h^4)+0.213859133\*(h^3)-  
0.689985483\*(h^2)+0.941868117\*h-0.482445;

end

if (Fn-0.15<10^-6)

    rawbar=-0.018834867\*(h^4)+0.242559933\*(h^3)-  
0.799805883\*(h^2)+1.116644317\*h-0.585173000;

end

if(Fn-0.16<10^-6)

    rawbar=-0.020831933\*(h^4)+0.273053800\*(h^3)-  
0.917129817\*(h^2)+1.304136450\*h- 0.695777000;

end

if (Fn-0.17<10^-6)

    rawbar=-0.022712667\*(h^4)+0.302831333\*(h^3)-  
1.033963833\*(h^2)+1.493611167\*h-0.808866000;

end



## ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ MATLAB

```
if (Fn-0.18<10^-6)
    rawbar=-0.0246526667*(h^4)+0.3342193333*(h^3)-
    1.1575888334*(h^2)+1.6944531667*h- 0.928876;
end
if (Fn-0.19<10^-6)
    rawbar=-0.0266853333*(h^4)+0.3677120000*(h^3)-
    1.2901346667*(h^2)+1.9104730000*h-1.05829;
end

RAWM=4*d*g*(B^2)*rawbar/Lpp; % Mean Resistance Increase in
Regural Waves based on Mauro's Theory

%Calculation of Mean Resistance Increase due to wave reflection
RAWR for correcting RAWM

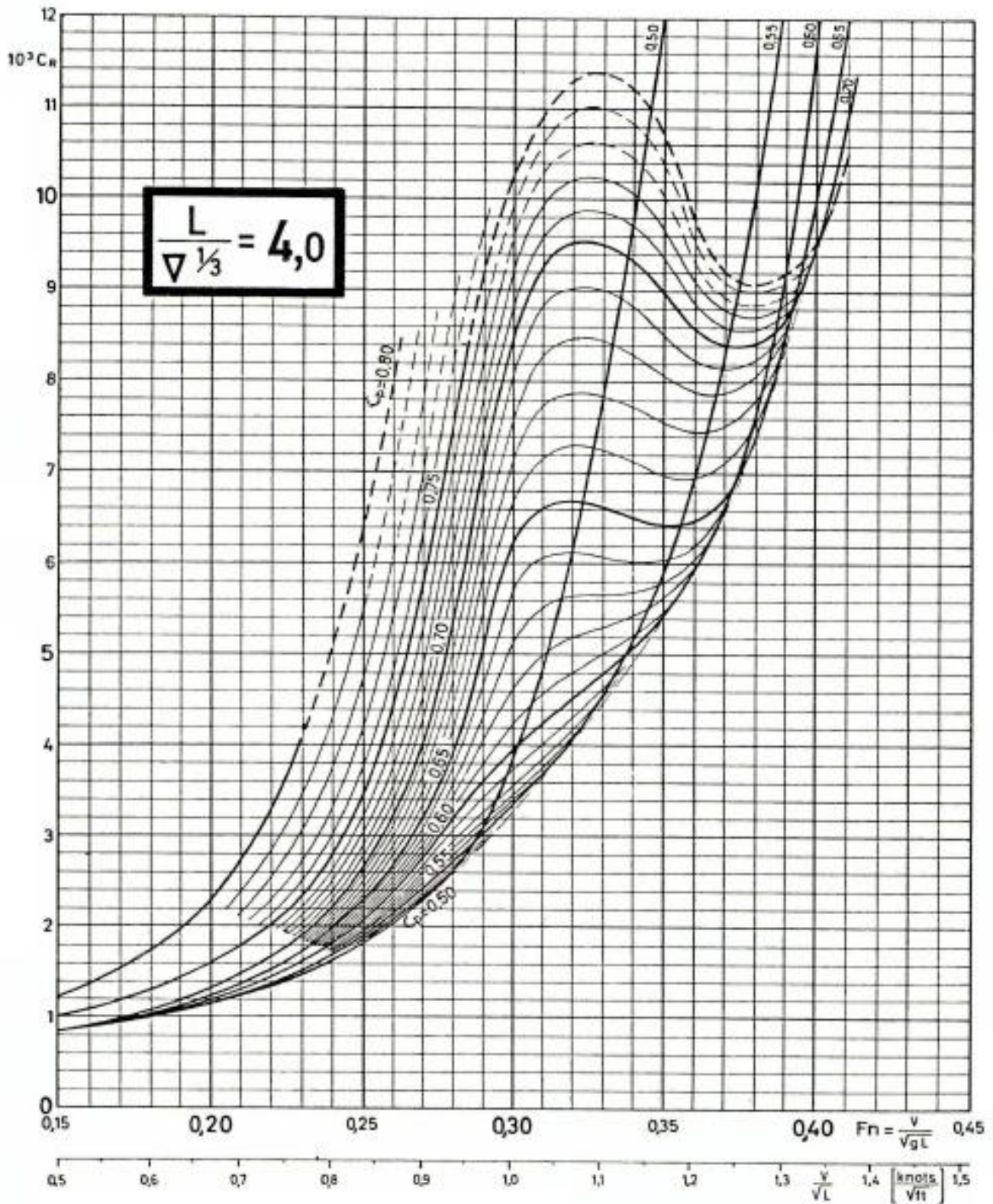
k=2*pi/lambda; %wave number
orisma=1.5*k*Tmean;
I1=besseli(1,orisma); %Calculation of modified Bessel Function of
the first kind of order 1
K1=besselk(1,orisma); %Calculation of modified Bessel Function of
the Second kind of order 1
f1=0.692*((V/sqrt(Tmean*g))^0.769)+1.81*CB^6.95;
alwm=f1*((pi^2)*(I1^2)/((pi^2)*(I1^2)+K1^2));
ints=0.062465221429*(h^2)+0.000000072619*h-0.0000000125;

RAWR=0.5*d*g*B*alwm*ints;

RWAVE=RAWM+RAWR;
RSTA=RWAVE;
end
```



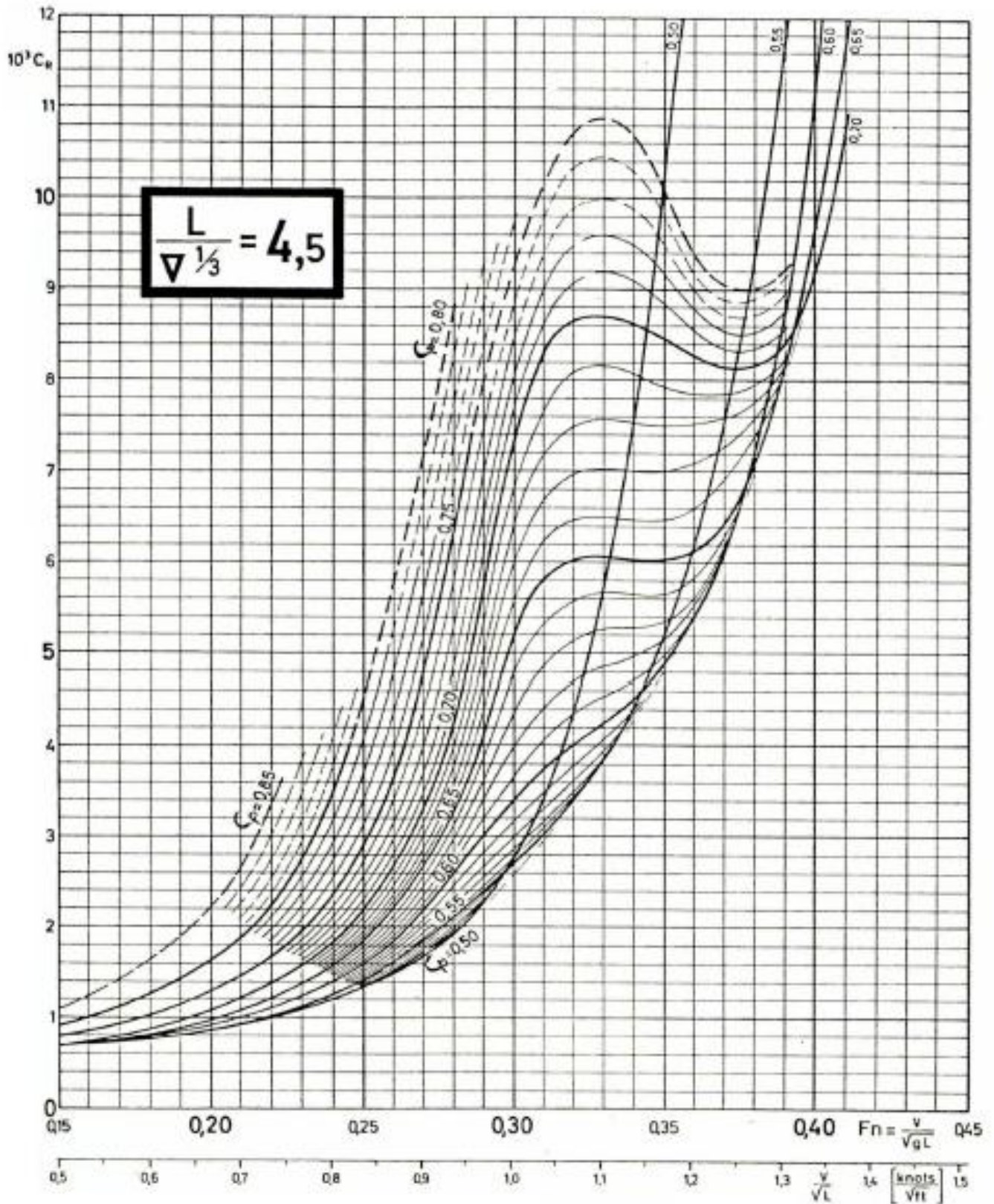
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II  
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ C<sub>R</sub> ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FORMDATA



Διάγραμμα II.1: Τιμές του συντελεστή  $10^3 \cdot C_R = f(v/\sqrt{L})$  για διάφορες τιμές του  $C_p$ , για  $L/v^{1/3} = 4$  [11]

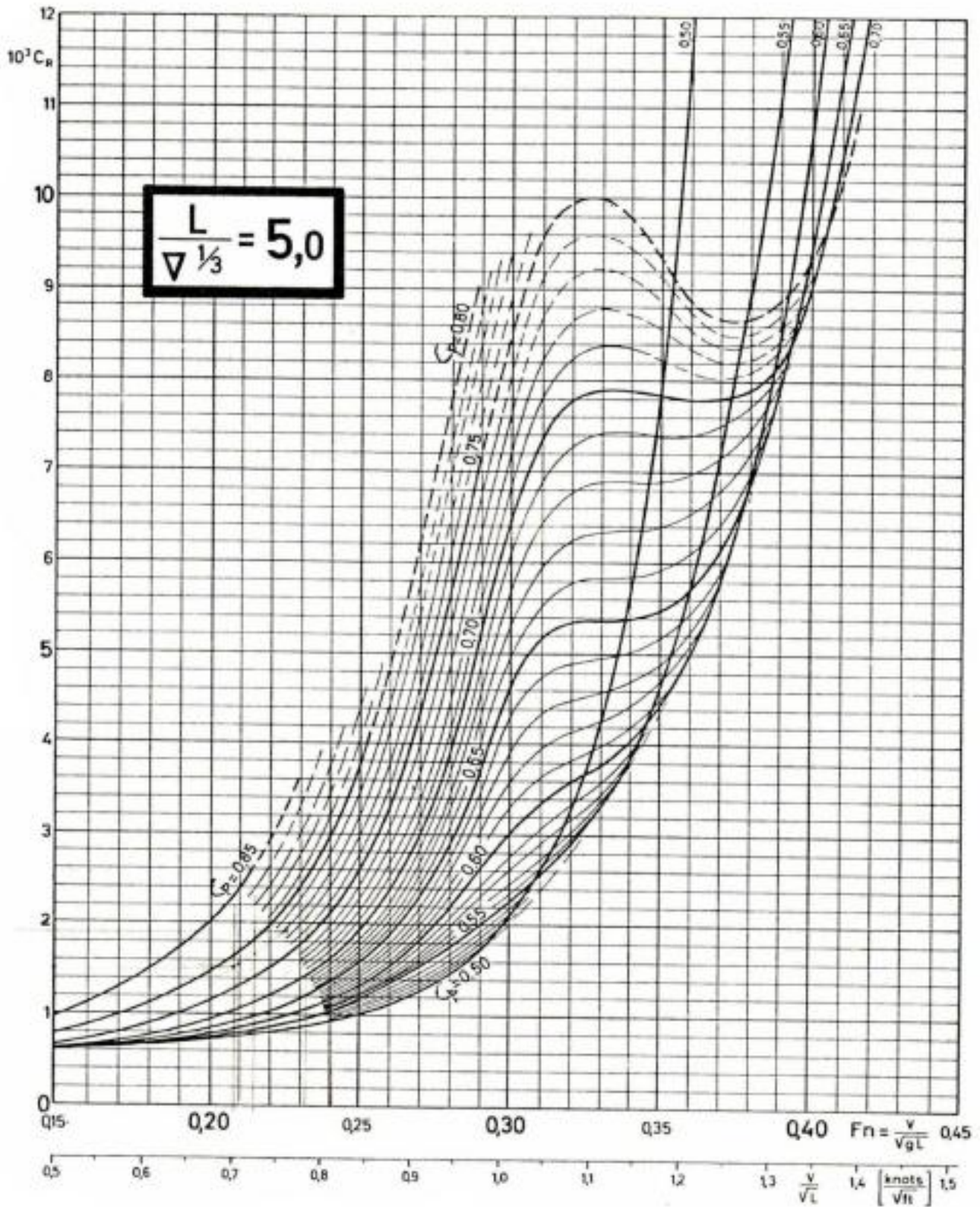


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ  $C_R$  ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FORMDATA



Διάγραμμα Η.2: Τιμές του συντελεστή  $10^3 \cdot C_R = f(V/\sqrt{L})$  για διάφορες τιμές του  $C_p$ , για  $L/\nabla^{1/3} = 4.5$  [11]

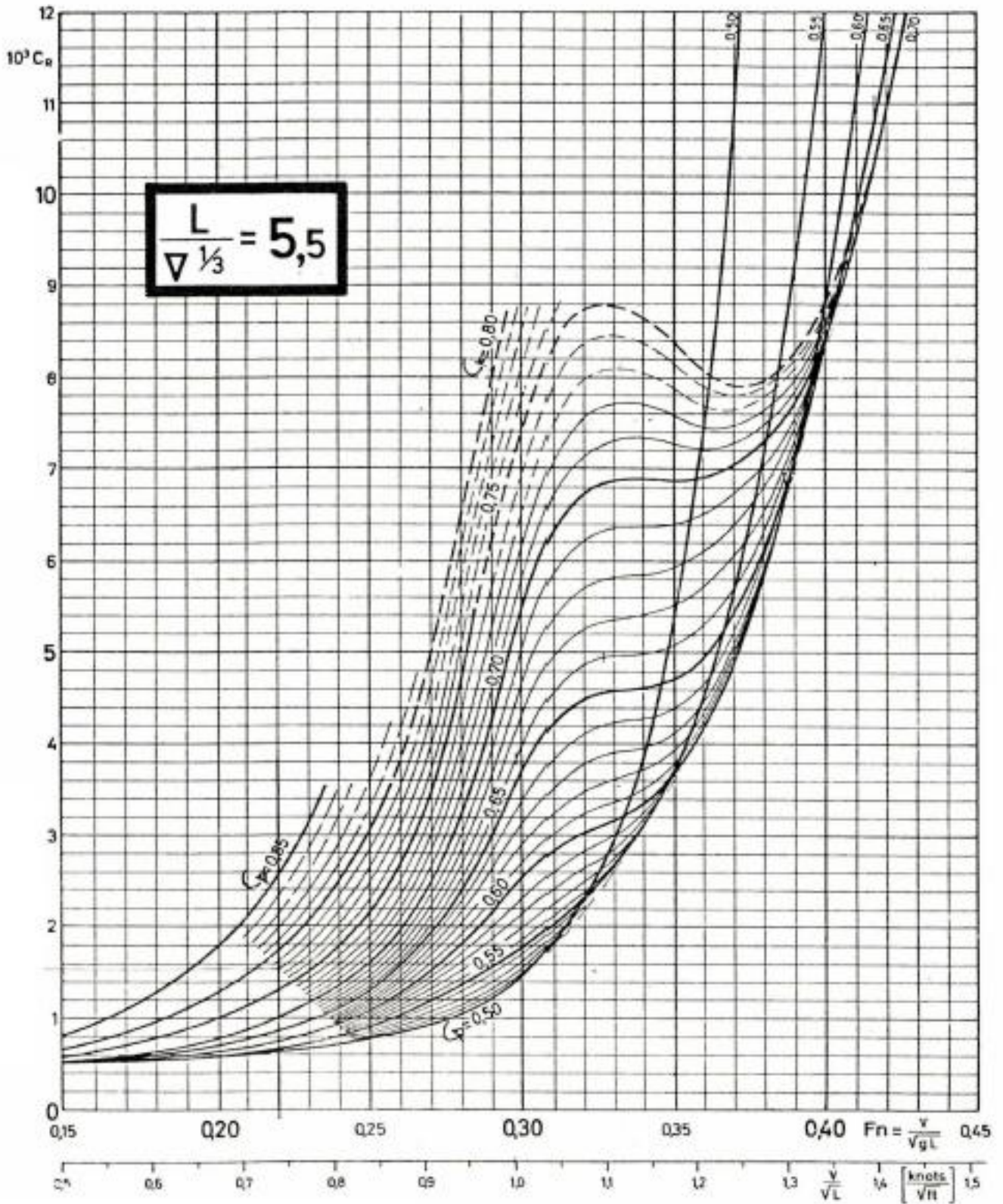
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ  $C_R$  ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FORMDATA



Διάγραμμα Π.3: Τιμές του συντελεστή  $10^3 \cdot C_R = f(V/\sqrt{L})$  για διάφορες τιμές του  $C_p$ , για  $L/\nabla^{1/3} = 5$  [11]

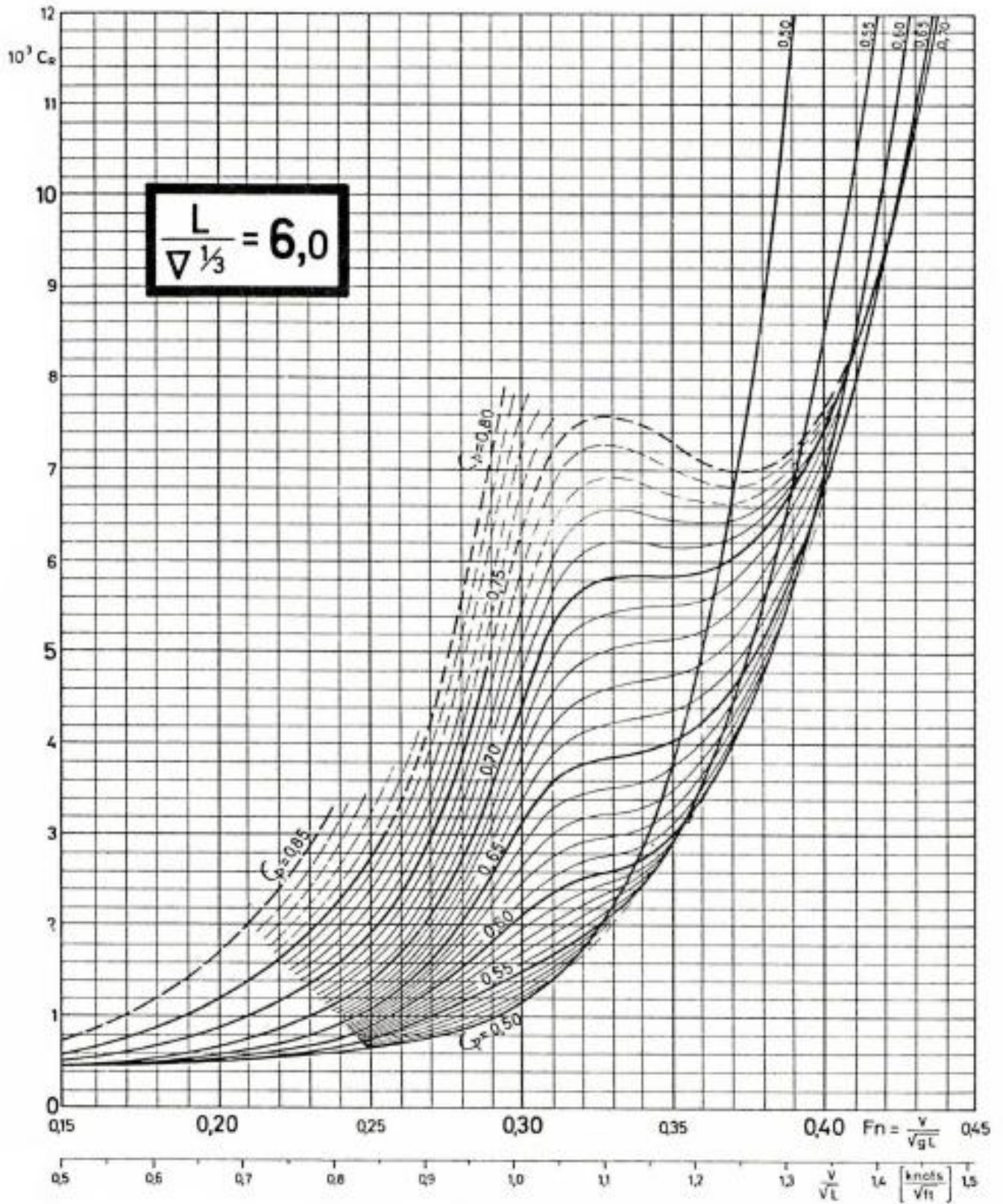


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ  $C_R$  ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FORMDATA



Διάγραμμα Π.4: Τιμές του συντελεστή  $10^3 \cdot C_R = f(v/\sqrt{L})$  για διάφορες τιμές του  $C_p$ , για  $L/\Delta^{1/3} = 5.5$  [11]

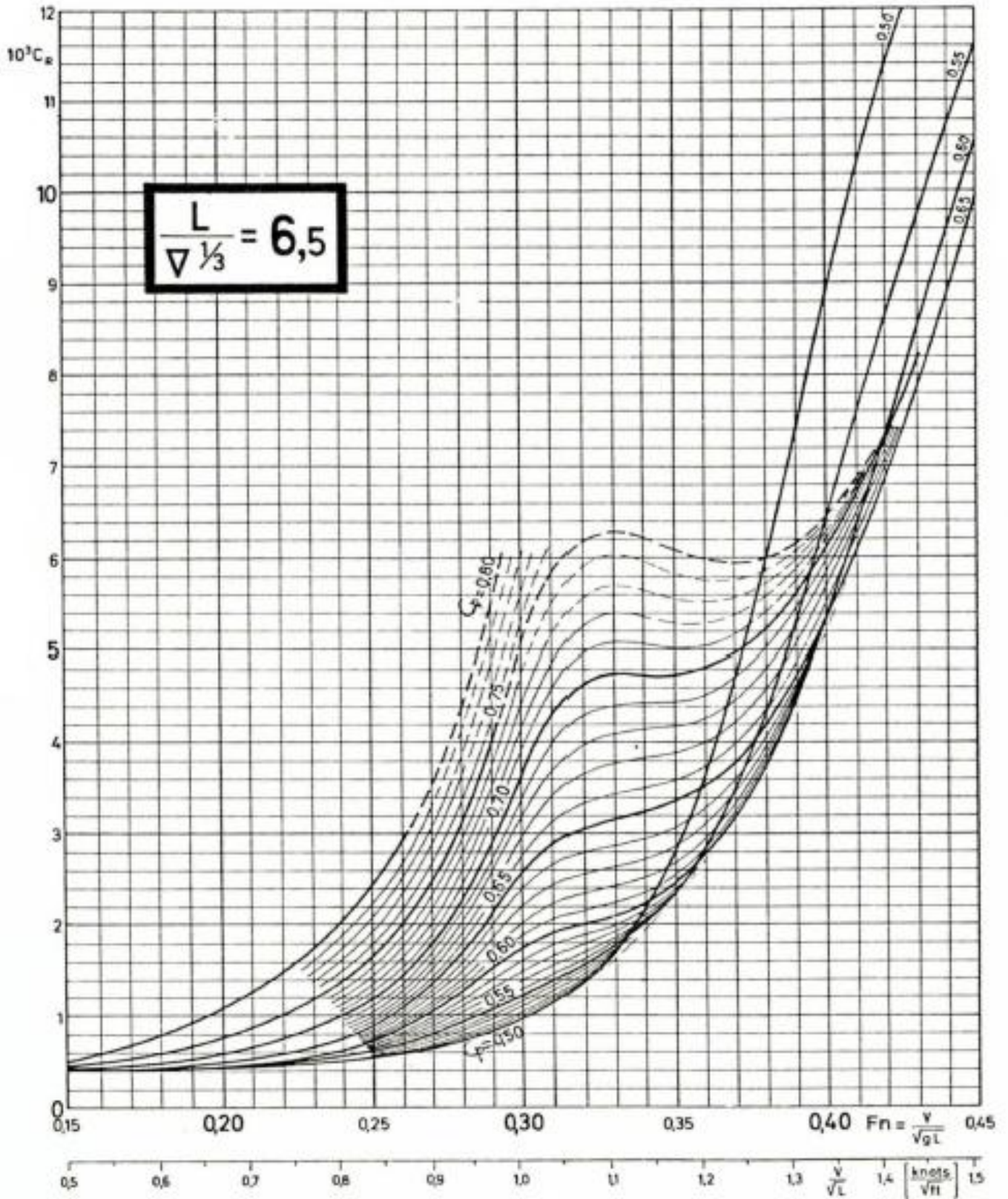
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ CR ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FORMDATA



Διάγραμμα Π.5: Τιμές του συντελεστή  $10^3 \cdot C_R = f(v/\sqrt{L})$  για διάφορες τιμές του  $C_p$ , για  $L/v^{1/3} = 6$  [11]

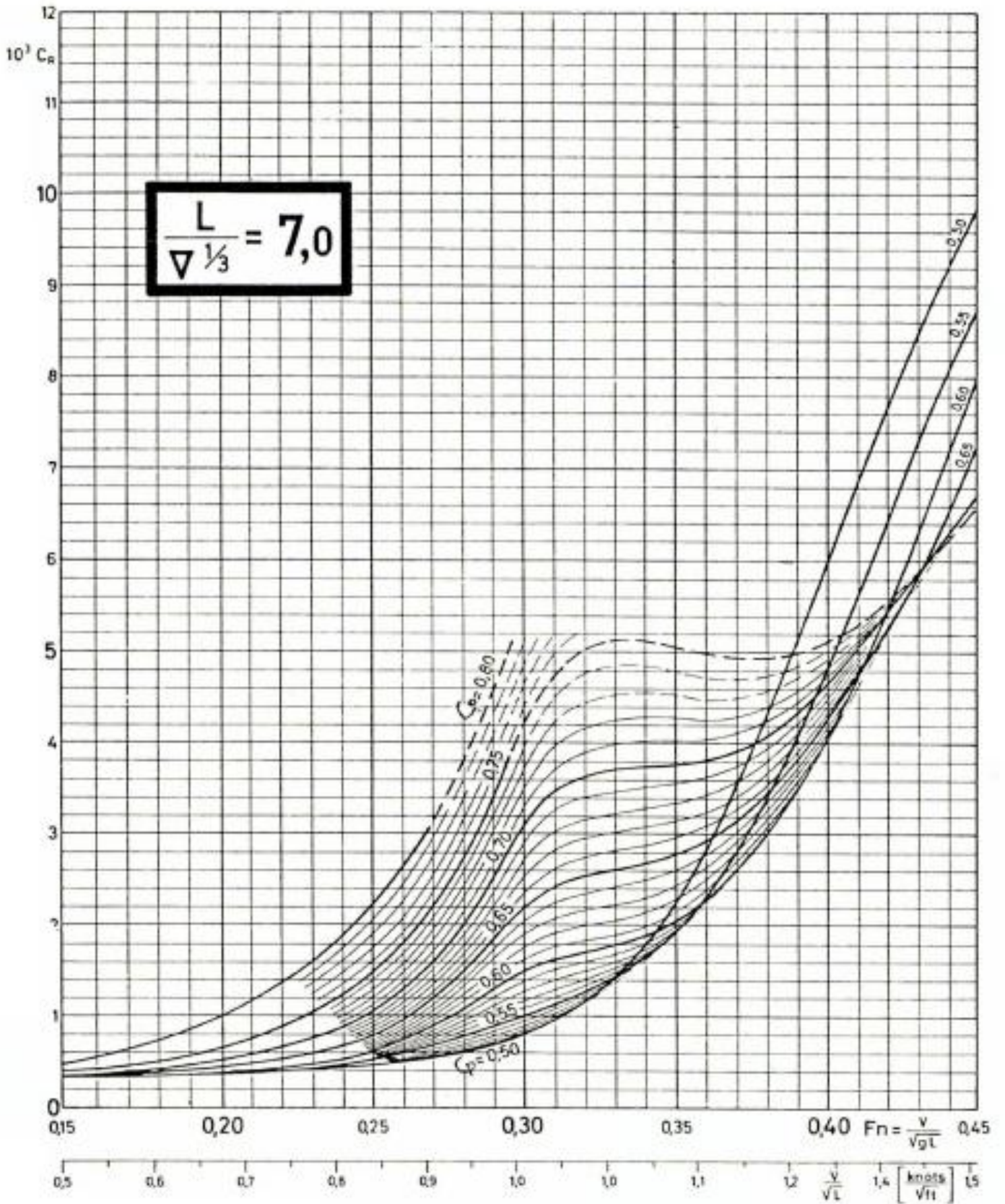


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ  $C_R$  ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FORMDATA



Διάγραμμα Η.6: Τιμές του συντελεστή  $10^3 \cdot C_R = f(V/\sqrt{L})$  για διάφορες τιμές του  $C_p$ , για  $L/V^{1/3} = 6.5$  [11]

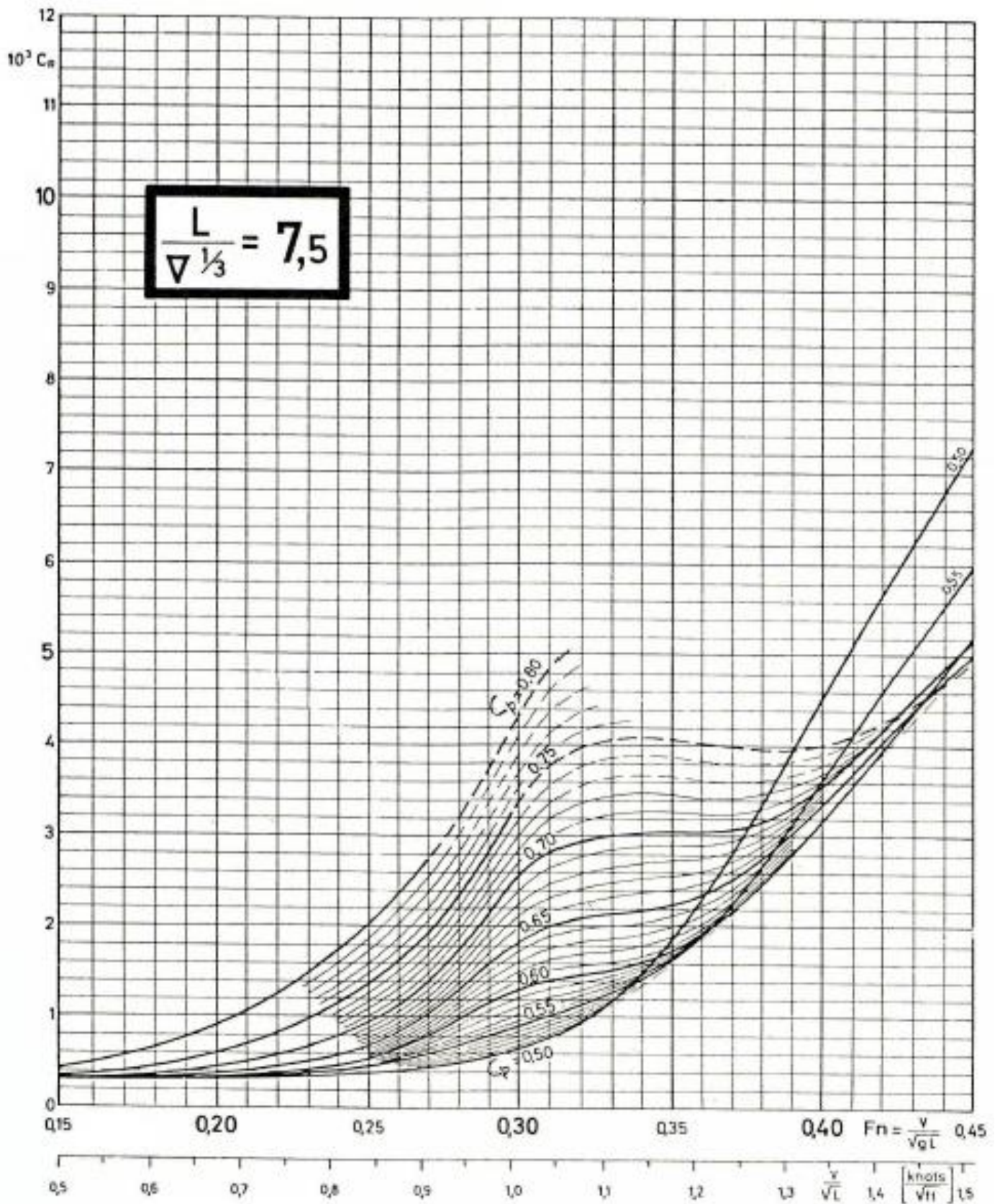
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ  $C_R$  ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FORMDATA



Διάγραμμα Π.7: Τιμές του συντελεστή  $10^3 \cdot C_R = f(v/\sqrt{L})$  για διάφορες τιμές του  $C_p$ , για  $L/v^{1/3} = 7$  [11]

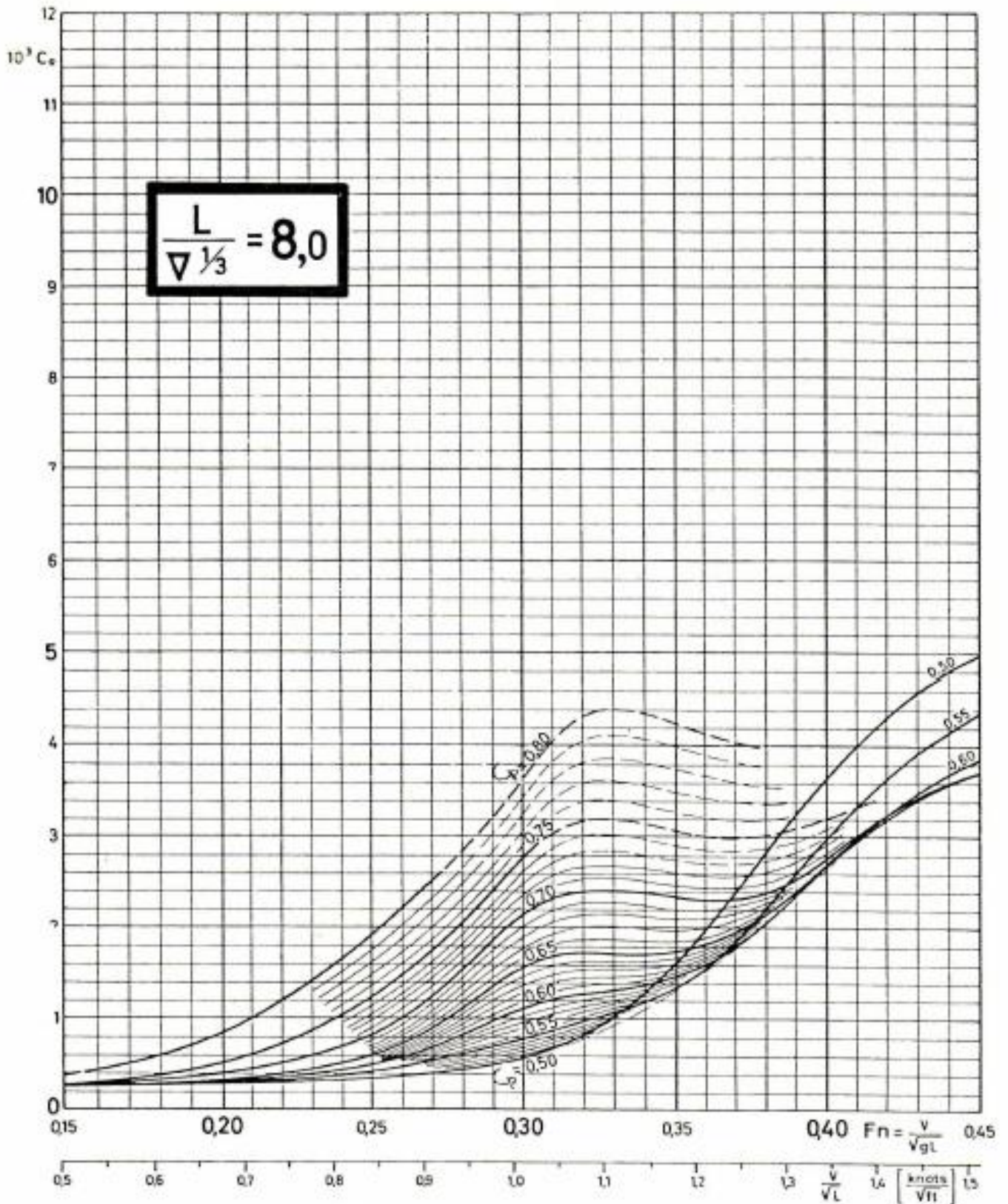


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ CR ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FORMDATA



Διάγραμμα Π.8: Τιμές του συντελεστή  $10^3 \cdot C_R = f(V/\sqrt{L})$  για διάφορες τιμές του  $C_p$ , για  $L/V^{1/3} = 7.5$  [11]

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ CR ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FORMDATA



Διάγραμμα Π.9: Τιμές του συντελεστή  $10^3 \cdot C_R = f(v/\sqrt{L})$  για διάφορες τιμές του  $C_p$ , για  $L/V^{1/3} = 8$  [11]



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ**  
**ΤΥΠΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ PERFORMANCE REPORT**

SAFETY MANAGEMENT OVERSEAS S.A.											
Vessel:		15.MV VASSOS 1248		Month:	MAY		Year:	2015			
Engine Type:		6S60 MC				Date:	25/5/2015		Running Hours:		63200
Sea Conditions:		MOD.	Weather:		P.C	WInd Direct:		ESE	WInd Force:		F4
State of Sea:		MOD.	Vessel's Speed				Knots:	12,8			
Loading / Unloading:		LOADING		TurboCharger		No.:					1
Draft Fore		(m)	10,5		Turbine Speed		r.p.m.		10100		
Draft Aft		(m)	11,0		Filter Press. Drop at Blower Side		mmWC		70		
Slip		%:	14,09		Scav.Manifold		kg/cm <sup>2</sup>		1,5		
Engine Speed		r.p.m.	72,1		Exhaust Receiver Differential Press.		mmHG		72		
Speed Control Dial			8,1		Press.Drop across Air Cooler		mmWC		100		
F.O.Consumption		ton/day	29,27		Exhaust Gas Press.after T/C		mmWC				
Gauge Board Pressure	F.O.	Before Filter	kg/cm <sup>2</sup>	8,4		Temperature	Scav.Air	Cooler Inlet	°C		156
		After Filter	kg/cm <sup>2</sup>	8,2				Cooler Outlet	°C		
		Piston Cooling	kg/cm <sup>2</sup>	2,9				Scav.Manifold	°C		44
	L.O.	Bearing	kg/cm <sup>2</sup>	2,9			Exh. Gas	Turbine Inlet	°C		434
		Camshaft	kg/cm <sup>2</sup>	3,6				Turbine Outlet	°C		286
		Turbocharger	kg/cm <sup>2</sup>				S.W.	Air Cooler Inlet	°C		31
		F.W.	kg/cm <sup>2</sup>	3,5				Air Cooler Outlet (<50 °C)	°C		42
S.W.	kg/cm <sup>2</sup>	2,1		F.W.	T/C Inlet		°C		72		
S.W.	°C	29			T/C Outlet		°C		85		
Temp.	Engine Room (Upper)	°C	40		T/C L.O.		T/C	°C			
F.O.	Engine Inlet Temp.	°C	132			Turbine	°C		82		
	Specific Gravity	15 °C	0,9876			Blower	°C		75		
	Viscosity at 50°C	cSt.	380		Remarks:						
	Sulphur Content	wt%	3,20		VIT READING FROM NO. 1 TO 6 : 6 - 5 - 7 - 7 - 4						
	Calorific Value	Kcal/kg	9910								
L.O.	Main L.O.Inlet	°C	44		OverSpeed Shut Down: 98 °C						
	Main L.O.Outlet	°C	52								
Local Values											
Nos of Cylinder			1	2	3	4	5	6	7	8	Mean
Max.Press in Cylinder		kg/cm <sup>2</sup>	90	90	89	93	91	95			91,33
Pressure Compression		kg/cm <sup>2</sup>	77	75	75	75	75	75			75,33
Fuel Pump Mark			67	69	67	69	67	69			68
VIT Index											
Safety Air at Inlet		Mpa	0,75								
Control Air at Inlet		Mpa	0,65								
Exhaust Valve Spring Air		Mpa	0,75								
Temperature	Exhaust Gas		°C	335	350	340	345	340	360		
	F.W.	Inlet	°C	76,4							
		Outlet	°C	85	85	85	85	85	85		
	Piston Cooling	Inlet	°C	44							
Outlet		°C	52	52	51	52	51	51			
Stuffing Box Drain		lt/day/cyl.	0,72	0,73	0,67	0,73	0,67	0,67			0,70
Scavenge Box Drain		lt/day/cyl.									
Feed Rate of Cylinder Oil		lt/day/cyl.	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	Total:	240,00	

Εικόνα ΙΙΙ.1: Τυπικό παράδειγμα ενός Performance Report

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV**  
**ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟ**

M/V VASSOS																
OBSERVED DATA					ENGINE SETPOINT					CALCULATED DATA						
DATE	DRAFT [m]	SPEED (LOG) [kn]	WEATHER		N <sub>ENG</sub>	Pump Mark <sub>COR</sub>	VIT Index	T/C RPM	T/C INLET TEMP. [K]	Power [kW]	SFOC [g/kWh]	Fuel Cons. [tons]	T/C RPM <sub>CALC</sub>	T/C INLET TEMP <sub>CALC</sub> [K]	C <sub>BRAKE</sub>	C <sub>FOUL</sub>
			WIND SPEED	WIND DIRECT.												
Σεπ-07	13.885	5.606	4	45	72.1	71.23	6.00	10100	707	6626.6	175.73	27.95	10457.5	653.466	0.0177	10.6728
Νοε-07	13.6	6.352	4	128	74	72.11	3.78	10600	699	6655.5	175.12	27.97	10509.8	649.865	0.0164	5.9489
Ιουν-08	13.6	6.043	5	64	75	73.02	3.57	10430	702	6822.1	176.18	28.85	10504.8	659.634	0.0162	7.0683
Ιουν-08	12.65	7.716	5	220	76	70.06	3.16	10600	703	6576.7	174.85	27.60	10492.5	640.613	0.0150	-0.9841
Ιουν-08	8	6.944	9	20	74	70.63	3.38	10050	696	6432.5	176.06	27.18	10265.2	652.527	0.0159	-6.8553
Ιουλ-08	13.5	7.356	7	220	75.5	70.65	3.16	10600	703	6575.1	175.77	27.74	10464.3	650.556	0.0153	1.0030
Σεπ-08	13.7	7.253	5	130	75.5	72.43	3.42	10500	701	6799.4	175.98	28.72	10619.2	658.032	0.0158	1.4617
Οκτ-08	13.2	6.790	3	225	76	72.58	3.18	10600	702	6862.8	176.02	28.99	10671.7	658.53	0.0156	3.2983
Δεκ-08	13.65	6.790	7	25	75.8	70.83	3.45	10700	693	6666.3	174.69	27.95	10618.5	641.831	0.0153	-0.9400
Μαρ-09	14.32	7.316	5	315	76	73.93	3.32	10800	705	7051.2	175.71	29.73	10827.9	657.535	0.0161	1.4420
Ιουλ-09	14.02	7.58	7	310	76	75.43	3.60	10800	694	7233.6	175.97	30.55	10847.1	666	0.0165	-0.7566
Ιουν-10	7.7	7.047	6	155	74	77.63	3.70	11000	702	7471.3	175.81	31.53	11019.2	669.12	0.0184	5.5541
Σεπ-10	7.115	7.047	3	265	74.9	74.63	3.55	10600	686	7094.6	174.33	29.68	10784.5	644.22	0.0169	7.7705
Οκτ-10	11.35		-		77	75.36	4.70	10400	707	7573.9	175.44	31.89	11242.5	663.692	0.0166	-
Οκτ-10	11.975	6.394	3	45	77.1	81.82	3.72	11200	707	8177	176.76	34.69	11450.2	668.27	0.0179	-8.6177
Νοε-10	7.725	7.177	7	110	76.8	78.59	3.06	10900	685	7711.6	176.46	32.66	11206.1	674.452	0.0170	1.4920
Ιαν-11	12.525	8.356	7	290	76.1	77.56	3.78	11200	714	7659.2	174.74	32.12	11177.6	637.448	0.0174	2.2179
Ιουν-11	12.575	7.639	3	0	76.1	77.69	3.866667	11300	713	7569	175.26	31.84	11113.5	663.451	0.0172	1.7789
Φεβ-11	5.7	7.304	3	150	76	77.18	3.708333	11000	704	6497.6	175.21	27.32	11122	661.909	0.0148	-3.2706
Αυγ-11	7.5	7.870	3	110	75	76.64	3.6	10800	688	7329	175.21	30.82	10817.5	658.822	0.0174	4.4454
Οκτ-11	13.77	7.304	6	290	75	78.66	3.616667	10900	865	7630.1	174.29	31.92	11076.1	651.721	0.0181	5.4745
Ιαν-12	10.1	8.150	7	45	75.1	77.82	3.783333	10900	696	7481.2	175.44	31.50	11010.8	663.338	0.0177	3.6305
Μαρ-12	13.09	6.276	5	110	74.8	74.52	3.416667	10800	696	7097	173.57	29.56	10825.8	635.25	0.0170	-7.7250
Απρ-12	13.09	6.276	5	115	74.5	74.68	3.42	10800	696	7069.8	174.18	29.55	10799.6	640.689	0.0171	5.5177
Ιουν-12	13.4	6.404	5	157	74.5	75.53	3.60	10700	730	7073.4	176.08	29.89	10803.3	663.973	0.0171	7.6695
Αυγ-12	13.05	6.965	9	22	72	77.18	3.20	10800	707	7123.2	175.23	29.96	10824.3	644.096	0.0191	2.5667
Οκτ-12	8.13	7.190	5	338	70	73.13	3.18	10200	-	6245.3	174.54	26.16	10246	630.1	0.0182	5.7755
Οκτ-12	8.13	6.571	5	315	72	71.90	3.12	10200	694	6439.3	175.43	27.11	10349.9	642.629	0.0173	9.3213



ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟ

<b>Νοε-12</b>	12.49	6.875	5	67	72	71.25	3.12	10200	695	6344.1	175.82	26.77	10264.4	645.258	0.017	2.2851
<b>Απρ-13</b>	11.85	5.531	7	130	72.1	78.16	3.73	10400	702	7241	176.05	30.59	10720	654	0.0193	2.7174
<b>Αυγ-13</b>	13.1	6.276	5	220	74	75.07	3.15	10600	721	7028.3	176.55	29.78	10676.1	654.4	0.0173	5.0731
<b>Δεκ-13</b>	11.745	5.906	5	45	72.5	82.33	3.20	10150	727	7689	176.75	32.62	11092	671.602	0.0202	8.3871
<b>Αυγ-14</b>	12.04	6.874	7	90	72.2	68.34	-	10200	695	6031	174.92	25.32	10139.5	627.58	0.016	3.9188
<b>Οκτ-14</b>	11.69	6.685	7	135	72.8	71.48	3.10	10300	696	6528.8	175.16	27.45	10383.3	623.693	0.0169	1.2748
<b>Δεκ-14</b>	12.29	6.397	7	255	72.2	72.07	3.60	10150	683	6466.5	175.73	27.27	10422.2	650.772	0.0172	4.2292
<b>Απρ-15</b>	11.975	5.967	5	290	72.3	72.34	3.60	10100	692	6561.7	175.03	27.56	10342	635	0.0174	7.457
<b>Μαϊ-15</b>	10.75	6.584	5	115	72.1	68.53	6.00	10100	707	6082	173.65	25.35	9956	614	0.0162	3.6962

Πίνακας IV.1: Συγκεντρωτικός Πίνακας δεδομένων και υπολογιζόμενων μεγεθών για το πλοίο M/V VASSOS



ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟ

M/V KATERINA																
OBSERVED DATA					ENGINE SETPOINT					CALCULATED DATA						
DATE	DRAFT [m]	SPEED (LOG) [kn]	WEATHER		N <sub>ENG</sub>	Pump Mark <sub>COR</sub>	VIT Index	T/C RPM	T/C INLET TEMP. [K]	Power [kW]	SFOC [g/kWh]	Fuel Cons. [tons]	T/C RPM <sub>CALC</sub>	T/C INLET TEMP. <sub>CALC</sub> [K]	C <sub>BRAKE</sub>	C <sub>FOUL</sub>
			WIND SPEED	WIND DIRECT.												
Αυγ-07	10.25	13.52	7	90	75.7	74.07	4.7	10200	683	7003.7	176.66	29.69	10611.9	677.935	0.0161	4.1211
Σεπ-07	11.85	13.79	7	290	76	73.98	5.1	10400	673	7128.5	173.97	29.76	10720	630.41	0.0162	3.7774
Ιαν-08	11.4	13.3	7	130	75.4	72.34	4.57	10100	663	6828.6	174.68	28.63	10498.1	630.163	0.0159	4.7783
Απρ-08	12.15	12.75	7	45	75.9	75.47	4.68	10400	673	7243.6	175.87	30.57	10709	667.938	0.0166	2.7777
Ιουλ-08	5.935	13.4	5	0	72.8	76.05	4.73	10100	659	7043.1	175.11	29.60	10629.8	658.768	0.0183	6.8110
Οκτ-08	8.17	14.32	5	120	72.9	63.19	4.15	9200	668	5477.5	173.75	22.84	9594.19	608.219	0.0141	1.4029
Ιαν-09	7.85	14.17	5	0	71.9	65.69	3.38	9300	653	5640.1	176.06	23.83	9572.69	633.844	0.0152	1.8678
Αυγ-09	12.65	13.5	5	200	74.9	69.55	3.41	9900	653	6374.8	175.97	26.92	10167	650.386	0.0152	2.5737
Νοε-09	13.65	13.6	7	112	76	72.31	4	10100	668	6808.9	176.49	28.84	10471.1	667.9	0.0155	-8.3506
Φεβ-10	7.85	14.2	10	45	75	71.27	4.17	10000	674	6542.9	177.64	27.89	10307.5	678.64	0.0155	-2.1405
Μαρ-10	13.7	13.7	5	0	75.1	71.80	4.37	10000	679	6648.7	176.85	28.22	10454.7	671.775	0.0157	-0.3450
Ιουν-10	11.55	13.31	9	135	74.5	72.16	4.05	10200	638	6652.6	176.57	28.19	10489.8	667.204	0.0161	-9.3104
Αυγ-10	8.085	14.78	3	265	75.1	76.54	4.8	10200	690	7219	177.76	30.80	10813.2	694.106	0.0171	2.6412
Οκτ-10	11.35	14	9	158	77	75.27	4.70	10400	680	7365.6	176.15	31.14	10775.6	660.315	0.0161	0.8499
Οκτ-11	11.35	14	5	200	77	75.36	4.70	10400	707	7306	176.35	30.92	10997	677.7	0.0160	3.3615
Απρ-11	12.2	13.9	5	45	76.7	76.09	4.80	10700	693	7369.9	176.45	31.21	10945	679.491	0.0163	2.7635
Ιουλ-11	12.2	12.9	5	225	76.9	77.91	4.90	10500	685	7754.3	175.98	32.75	11130.5	653.6	0.0171	6.3019
Ιουλ-11	12.455	14.9	5	185	77	77.78	5.00	10600	701	7696.9	176.59	32.62	11059	667.89	0.0169	1.0893
Ιουλ-11	5.745	14.2	6	135	76.6	76.31	4.80	10600	684	7401.8	176.14	31.29	11013.1	678.079	0.0165	6.3652
Οκτ-11	12.8	13	6	65	76.2	78.95	3.65	10800	723	7381.7	175.69	31.13	10988.5	673.709	0.0167	-0.3726
Μαϊ-12	12.9	12.7	5	270	72.8	73.39	4.50	10100	687	6736.6	176.22	28.49	10488.5	645.56	0.0175	10.0302
Αυγ-12	14.1	14.9	5	180	77	76.76	4.78	10850	704	7536.8	177.61	32.13	10960.6	670.807	0.0165	-2.2562
Νοε-12	12.86	13.7	5	45	77	74.26	4.58	10500	703	7320.1	175.09	30.76	10785.12	634.393	0.0160	0.7736
Δεκ-12	12.8	13.7	5	45	77	74.26	4.58	10500	703	7224.8	174.82	30.31	10796.1	659.786	0.0158	4.3105
Φεβ-13	14.27	12.6	5	180	74.2	77.22	4.35	10600	695	7299.5	176.74	30.96	10787.6	668.7	0.0179	3.8187
Μαϊ-13	10.98	11	8	315	73.4	74.90	4.62	10500	707	6955	175.30	29.26	10623	658.109	0.0176	11.9025
Ιουν-13	10.98	11	8	315	73.4	75.07	4.616667	10500	693	6902.4	177.02	29.32	10732	678.79	0.0175	9.5653
Ιουλ-13	5.85	11.9	8	12	65.9	70.47	3.55	9700	695	5803.2	176.03	24.52	9983.33	606.846	0.0203	2.4422
Οκτ-13	13.4	10.67	5	270	65	66.39	2.46	9400	713	5242	176.44	22.20	9529.29	594.128	0.0191	15.2493
Νοε-13	12.55	12.3	5	202	67	65.47	3.1	9200	708	5293	176.65	22.44	9493.55	601.164	0.0176	13.2446
Φεβ-14	8.5	10.6	7	215	63	64.37	2.3	9200	708	4816.8	175.41	20.28	9055.76	598.335	0.0193	12.2116
Απρ-14	12.65	10.4	5.66	123	63	65.27	2.3	9100	708	4899.8	175.95	20.69	9147.02	608.084	0.0196	3.0408
Μαϊ-14	6	11.6	3.09	150	61	54.00	2	7100	675	3452.4	181.61	15.05	7347	612.818	0.0152	2.3498
Ιαν-15	14.04	12.8	5.66	320	76	73.80	4.9	10550	708	7123	177.53	30.35	10789	644.733	0.0162	4.5517

Πίνακας IV.2: Συγκεντρωτικός Πίνακας δεδομένων και υπολογιζόμενων μεγεθών για το πλοίο M/V KATERINA



ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟ

M/V MARIA																
OBSERVED DATA					ENGINE SETPOINT					CALCULATED DATA						
DATE	DRAFT [m]	SPEED (LOG) [kn]	WEATHER		N <sub>ENG</sub>	Pump Mark <sub>COR</sub>	VIT Index	T/C RPM	T/C INLET TEMP. [K]	Power [kW]	SFOC [g/kWh]	Fuel Cons. [tons]	T/C RPM <sub>CALC</sub>	T/C INLET TEMP. <sub>CALC</sub> [K]	C <sub>BRAKE</sub>	C <sub>FOUL</sub>
			WIND SPEED	WIND DIRECT.												
Σεπ-07	12.575	14.5	6	70	75.94	72.23	2.08	10700	693	6769.02	179.63	29.18	10652	662.724	0.0155	0.7709
Ιαν-08	13.9	13.5	7	315	75	73.84	2.4	11000	705	6894	177.06	29.30	10750	666	0.0163	-2.3174
Απρ-08	13.05	12.54	6	135	76	73.84	4.267	10800	687	6999	176.71	29.68	10565.2	674	0.0159	4.6059
Αυγ-08	12.945	13.5	6	225	75.46	71.49	3.616	10800	702	6714.37	174.92	28.19	10616.6	647.057	0.0156	5.0594
Οκτ-08	14.03	13.79	6	135	75.9	69.65	3.33	10500	703	6498.58	175.28	27.34	10490.5	645.405	0.0149	1.9726
Ιαν-09	12.79	13.41	8	360	75.2	68.74	3.32	10300	689	6318.7	175.33	26.59	10370.8	640.995	0.0149	-3.2516
Ιουν-09	14.035	13.44	5	292	75.4	71.28	3.82	10600	702	6666.52	175.33	28.05	10576.3	650.64	0.0156	2.6074
Μαρ-10	12.79	14.5	7	180	74	70.90	3.32	10300	696	6322.7	175.22	26.59	10392	640.152	0.0156	-0.2256
Αυγ-10	12.1325	13	6	250	75	71.25	3.5	10600	721	6614.58	175.66	27.89	10556.6	652.43	0.0157	3.7587
Οκτ-10	8.235	14.4	8	290	74.9	72.32	3.7	10500	697	6777.32	174.80	28.43	10517.7	647.493	0.0161	2.0119
Μαρ-11	14.07	12.75	6	50	75.4	78.88	4.4	10800	-	7562.09	177.47	32.21	10979.2	692.416	0.0176	1.5725
Μαρ-11	14.02	12.4	7	110	74.3	76.19	4.35	11050	713	7188	175.56	30.29	10812.5	663.623	0.0175	0.5747
Ιουλ-11	11.67	13.9	7	50	75.8	72.12	2.1	10800	713	6792.61	175.79	28.66	10621.2	648.4	0.0156	1.3042
Οκτ-11	11.985	13.35	7	270	75	73.93	2.2	10900	723	6926	176.51	29.34	10648.2	659.579	0.0164	-3.8938
Δεκ-11	7.9	12.9	6	25	73.9	74.93	2.4	10700	703	6892.39	178.02	29.45	10540	676.061	0.0171	4.1616
Φεβ-12	12.76	13.2	8	5	72	67.01	1.8	10200	703	5817.76	175.85	24.55	9977.77	627.383	0.0156	-3.7120
Απρ-12	12.155	12.9	5	190	71.1	70.04	2	10100	703	6118.89	175.77	25.81	9969.87	635.753	0.0170	0.8183
Ιουν-12	11.68	13.9	6	90	72	69.11	1.9	10100	705	6043.65	176.87	25.65	10142.1	646.763	0.0162	2.0236
Σεπ-12	12.8	13.5	6	180	74.3	76.19	2.8	10400	703	7068.67	178.53	30.29	10693.3	686.897	0.0172	2.4147
Ιουν-13	12.845	13.3	6	348	72	64.29	1.7	9600	675	5487	175.66	23.13	9615	616	0.0147	2.7885
Οκτ-13	11.78	14	4	130	71.98	65.89	1.7	9725	686	5628.38	177.38	23.96	9708.64	639.5	0.0151	1.9958
Ιουν-14	11.825	13.8	6	250	71.3	66.28	1.7	9780	690	5564.18	179.26	23.94	9515.77	661.475	0.0154	-3.2647
Μαϊ-14	5.7	13.8	9.8	315	74.7	67.29	1.8	10194	699	6035.59	176.94	25.63	10074	774.277	0.0145	-2.0523
Ιουν-14	12.925	12.6	8	225	73	70.82	2.5	10370	711	6217.57	180.34	26.91	9902	692.769	0.0160	-4.6131
Ιουλ-14	6.615	13.5	4	130	72	66.77	1.8	9786	701	5783.92	175.99	24.43	9944.74	628.071	0.0155	3.6964
Σεπ-14	7.82	13.2	5	110	73	66.23	1.75	10000	711	5781.08	176.48	24.49	9893.61	663.669	0.0149	3.1974
Οκτ-14	11.65	13	7	180	73	68.97	1.85	10200	692	6132.92	176.20	25.93	10168.8	637.723	0.0158	1.3257
Νοε-14	8.63	13	7	68	69.5	63.57	2.25	9450	677	5221	175.30	21.97	9367	608.975	0.0156	1.2453
Δεκ-14	6	13.5	6	0	67	63.18	2.25	8800	673	4947.73	176.77	20.99	8978.39	618.235	0.0165	-2.4032
Ιαν-15	11.76	11.28	5	45	67.5	62.21	2	9100	673	4890	176.13	20.67	9102	613.397	0.0159	6.1481
Φεβ-15	5.89	11.5	6	203	66.5	61.30	-	8800	644	4747.25	174.86	19.92	8778.54	588.831	0.0161	1.7098
Μαρ-15	12.55	11.1	5	265	67	62.97	2	9700	661	4992.06	174.33	20.89	9156.9	590.176	0.0166	6.7947
Απρ-15	12.3	12	5	155	68	62.61	2	9250	668	4996.42	175.31	21.02	9159.7	602.38	0.0159	4.1927
Μαϊ-15	9.8	11.28	5	200	68	63.08	-	9200	653	5034.11	175.90	21.25	9126.73	609.973	0.0160	6.5387

Πίνακας IV.3: Συγκεντρωτικός Πίνακας δεδομένων και υπολογιζόμενων μεγεθών για το πλοίο M/V MARIA



ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟ

M/V MARITSA																
OBSERVED DATA				ENGINE SETPOINT					CALCULATED DATA							
DATE	DRAFT [m]	SPEED (LOG) [kn]	WEATHER		N <sub>ENG</sub>	Pump Mark <sub>COR</sub>	VIT Index	T/C RPM	T/C INLET TEMP. [K]	Power [kW]	SFOC [g/kWh]	Fuel Cons. [tons]	T/C RPM <sub>CALC</sub>	T/C INLET TEMP. <sub>CALC</sub> [K]	C <sub>BRAKE</sub>	C <sub>FOUL</sub>
Δεκ-07	13.995	13.4	7	60	75.94	77.18	4.41	10800	687	7438.1	176.59	31.52	10952.7	682	0.0170	2.6663
Απρ-08	10.4	11.59	7	240	73	71.95	3.33	10400	659	6583.52	174.14	27.51	10477.8	633.3	0.0169	9.0969
Ιουλ-08	9.855	14	5	130	75.8	73.33	3.68	10300	663	6954.61	175.69	29.33	10585	658.331	0.0160	3.5178
Οκτ-08	13.755	13.42	3	310	76	75.31	3.83	10600	666	7227.2	175.82	30.50	10714.2	665.49	0.0165	5.9234
Μαϊ-09	11.845	14.13	3.5	70	75.87	72.76	3.68	10400	675	6870.68	176.10	29.04	10629	661.04	0.0157	1.5314
Σεπ-09	11.845	14.13	5	135	76.42	71.57	3.50	10700	682	6778.86	175.72	28.59	10590.7	655.81	0.0152	-5.4331
Δεκ-09	12.755	13.8	7	337	76.4	73.12	3.70	10600	691	6958.35	176.31	29.44	10667.6	666.7	0.0156	0.1098
Φεβ-10	13.83	13.5	7	247	76	72.93	3.70	10600	682	6914.18	175.86	29.18	10650	660.837	0.0158	-4.0933
Απρ-10	13.94	13.96	3.5	135	76.3	72.93	3.85	10600	692	6919.49	176.44	29.30	10654.4	665.374	0.0156	4.3965
Αυγ-10	11.365	13.23	5	220	76	70.70	3.10	10400	667	6627.89	175.75	27.96	10563.8	651.191	0.0151	3.6465
Δεκ-10	8.1	14.8	5	50	75.9	70.18	3.20	10500	676	6533.88	176.20	27.63	10524	654.26	0.0149	0.7470
Φεβ-11	12.775	13.2	2	60	76.05	74.82	4.08	10800	684	7079.41	178.00	30.24	10837.4	690.324	0.0161	5.5773
Απρ-11	7.975	14.6	5	135	75.8	74.72	3.93	10700	686	7065.25	177.46	30.09	10853.5	683.471	0.0162	0.1656
Απρ-11	10.3	13.6	7	135	76	74.38	3.45	10700	688	7057.06	177.02	29.98	10796	676.2	0.0161	-0.7492
Μαϊ-11	7.975	14.6	6	180	75.8	74.72	4.10	10700	687	7114.16	176.24	30.09	10808	671.463	0.0163	-0.4089
Ιουν-11	8.575	15.4	5	220	76	72.32	3.17	10400	672	6812.92	176.43	28.85	10568.2	663.266	0.0155	-0.2504
Αυγ-11	12.775	14	6	135	75.9	71.94	3.52	10000	666	6758.58	176.32	28.60	10449.6	662.813	0.0155	1.5249
Ιαν-12	12.8	12.54	7	202	74.95	74.47	3.73	10400	667	7016.31	175.89	29.62	10606.3	662.258	0.0167	5.3639
Φεβ-12	7.2	13.52	7	315	67.94	61.53	1.90	8900	651	4849.4	175.86	20.47	9157.25	603.609	0.0155	1.5237
Ιουλ-12	12.05	11.75	9.5	22	75	74.96	3.80	9800	682	7063.47	176.39	29.90	10698	671	0.0167	-6.5194
Ιαν-13	12.96	12.66	7	20	68	60.95	1.90	9200	656	4802	175.27	20.20	9148	595.612	0.0153	-15.6934
Απρ-13	12.97	11.3	7	270	71	71.96	3.85	10500	679	6341.94	175.83	26.76	10234	649.798	0.0177	6.6740
Απρ-13	12.97	11.33	5	270	70	71.87	3.52	10200	667	6268	175.10	26.34	10244.6	637.77	0.0183	11.6239
Απρ-13	12.835	11.63	5	338	71	72.16	3.55	10200	667	6390	175.14	26.86	10344	640.28	0.0179	9.4941
Ιουλ-13	11.455	11.63	6	135	64	60.73	1.90	8600	665	4441.53	174.91	18.64	8705.57	608.05	0.0169	4.5347
Οκτ-13	12.755	10.56	9	245	73	70.70	3.28	10100	670	6312	177.40	26.87	10134.7	662.43	0.0162	8.1513
Μαϊ-14	13.1	11.8	7	180	73	75.05	3.80	10200	676	6846.82	177.25	29.13	10567.8	677.677	0.0176	-9.7623
Ιουν-14	13.8	10.9	5	270	73	78.68	4.33	10600	674	7333	177.43	31.23	10890	678.115	0.0189	13.3673
Σεπ-14	13.835	10.8	6	270	64	64.87	2.53	8800	668	4902	176.56	20.77	9162.5	622.5	0.0187	4.7109
Νοε-14	13.975	12.2	5	22	76	81.34	4.38	10950	705	7943.46	177.05	33.75	11364.7	690.774	0.0181	-12.6210
Δεκ-14	13.5	13.885	5	0	76.2	80.56	3.85	11200	718	7811.3	178.54	33.47	11321.5	704.478	0.0177	-9.0860
Δεκ-14	5.95	14	5	200	76	74.81	4.12	10600	700	7129.23	176.60	30.22	10939.3	676.1	0.0162	4.9796
Φεβ-15	5.7	15.4	5	0	75	70.40	3.43	10100	703	6453.27	177.04	27.42	10383.6	665.2	0.0153	-5.6892

Πίνακας IV.4: Συγκεντρωτικός Πίνακας δεδομένων και υπολογιζόμενων μεγεθών για το πλοίο M/V MARITSA



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] N. Kyrtatos, E. Tzanos, J. Coustas, D. Vastarouhas and E. Rizos, "Shipboard Engine Performance assessment by comparing actual measured data to nominal values produced by detailed engine simulations," in *CIMAC*, Bregenz, 2010.
- [2] M. Aas-Hansen, "Monitoring of hull condition of ships," NTNU-Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2010.
- [3] MITSUBISHI MAN B&W, "Volume I, Operation and Data," in *Manual for 6S60MC-C*, 2004.
- [4] "Product Information for ABB VTR Turbochargers," ABB Turbo Systems Ltd, Baden, 2011.
- [5] S. R. T. D. A. H. Anthony F. Molland, *Ship Resistance and Propulsion, Practical Estimation of Propulsive Power*, Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- [6] Krapp, Vranakis, "A Practical Way to Evaluate the In-Service Performance of Antifouling Coatings," JOTUN, 2013.
- [7] "2nd IMO GHG Study, A2.63," IMO, 2009.
- [8] Hellio, Yebara, "Advances in marine antifouling coatings and technologies," *Propulsion Dynamics*, 2009.
- [9] "MEPC 60/4/21," MEPC, 2010.
- [10] Lauri Kovanen, "Study of Hull Fouling on Cruise Vessels across various Seas," ENIRAM, 2012.
- [11] Γ. Πολίτης, Σημειώσης Μαθήματος "Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου", Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [12] L. L. a. H. C. Raven, "SNAME PNA (Ship Resistance and Flow)," in *Ship Resistance and Flow*, SNAME, 2012.
- [13] ITTC, "Recommended Procedures and Guidelines Part II :Analysis of Speed/Power Trial Data," in *International Towing Tank Conference*, 2012.
- [14] M. Alexanderson, "A study of methods to predict added Resistance in Waves," KTH Centre for Naval Architecture, Stockholm, 2009.
- [15] MAN, "MAN-Basic Principles of Ship Propulsion," MAN Diesel and Turbo.
- [16] Harvald, "Resistance and Propulsion of Ships," 1983.
- [17] J. S. Carlton, *Marine Propellers and Propulsion*, Oxford,UK: Butterworth-Heinemann, 2012.
- [18] S. E. G. E. I. T. N. P. Kyrtatos, "Ship Service Data Combined with Engine Performance



- Simulations,for Reducing Engine Operation Costs," 2012.
- [19] MOtor THERmodynamics User Manual Version 2.1, 2013.
- [20] Carlton, "Service performance and analysis," in *Marine Propellers and Propulsion*, pp. 446-469.
- [21] N. L. Larsen, C. D. Simonsen, C. Klimt-Møllenbach and C. R. Holm, "Understanding the physics of trim," in *9th annual Green Ship Technology (GST) conference*, Copenhagen, 2012.
- [22] Tsujimoto, Kuroda, Shibata and Takagi, "A Practical Correction Method for Added Resistance in Waves," *JASNAOE*, 2008.
- [23] Ν. Π. Κυρτάτος, *Ναυτικοί Κινητήρες Diesel*, Αθήνα: Συμμετρία, 1993.
- [24] K. Haakenstad, "Analysis and correction of sea trials," Norwegian University of Science and Technology, Department of Marine Technology, Trondheim, 2012.
- [25] Κ. Μ. Γ.Α. Αθανασούλης, *Δυναμική Πλοίου*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 2012.
- [26] Terje Nordtun, *Fundamentals of Ship Propulsion*, Rubbestadneset: Wartsila, 2002.
- [27] V. B. H. Schneekluth, *Ship Design for Efficiency and Economy*, Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.
- [28] Y. F. S. T. Susumu Tanaka, "Performance Analysis of a Bulk Carrier in Service at Sea using Abstract Logbook," in *21st International Offshore and Polar Engineering Conference*, Maui,Hawaii,USA, 2011.
- [29] ITTC, "Recommended Procedures and Guidelines Part I:Preparation and Conduct," in *International Towing Tank Conference*, 2012.
- [30] H. V. d. Boom, I. v. d. Hout and M. Fikkema, "Speed-Power Performance of Ships during Trials and in Service," 2008.

