



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

UNIVERSITY OF PIRAEUS

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ

ΝΑΥΤΙΛΙΑ

VOYAGE OPTIMIZATION AND POST VOYAGE

ANALYSIS IN VLCC MARKET

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ορέστης Παντελής Εμμ. Αγγουριδάκης

Αριθμός Μητρώου: MN 15002

Επιβλέπων: Άγγελος Παντουβάκης

Μέλη εξεταστικής επιτροπής: Ερνέστος Τζαννάτος, Διονύσιος Πολέμης

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

Δήλωση Αυθεντικότητας

Δηλώνω υπεύθυνα ότι, η παρούσα διπλωματική εργασία δεν έχει υποβληθεί για την απόκτηση άλλου μεταπτυχιακού τίτλου ειδίκευσης ή άλλου πτυχίου, πέραν αυτού, ολικά ή μερικά, στο Πανεπιστήμιο Πειραιά ή σε άλλο Πανεπιστήμιο του εσωτερικού ή εξωτερικού.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Ο ΔΗΛΩΝ

Ορέστης Παντελής Αγγουριδάκης

Copyright © Ορέστης Παντελής Αγγουριδάκης, 2017.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

“Μια από τις μεγαλύτερες λαχτάρες της ζωής μου στάθηκε πάντα το ταξίδι, να δω, ν’αγγίξω άγνωρα χώματα, να μπω να κολυμπήσω σε άγνωρες θάλασσες, να γυρίσω τη γης, να βλέπω, να βλέπω και να μη χορταίνω καινούριες στεριές και θάλασσες κι ανθρώπους κι ιδέες και να τα βλέπω όλα για πρώτη φορά, να τα βλέπω όλα για τελευταία φορά, με μακρόσερτη ματιά, κι έπειτα να σφαινώ τα μάτια και να νιώθω τα πλούτη να κατασταλάζουν μέσα μου ήσυχα, τρικυμιστά, όπως θέλουν, ωστόσο να τα περάσει από την ψιλή κρισάρα ο καιρός, να κατασταλάξει απ’ όλες τις χαρές και τις πίκρες το ξαθέρι-τούτη η αλημεία της καρδιάς είναι, θαρρώ, μια μεγάλη, αντάξια του ανθρώπου ηδονή...”

Νίκος Καζαντζάκης "Αναφορά στον Γκρέκο"

Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Άγγελο Παντουβάκη, αφενός για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την καθοδήγηση που μου προσέφερε και αφετέρου για την δυνατότητα που μου παρείχε στα πλαίσια της πτυχιακής μου εργασίας να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τον καθένα ξεχωριστά για την στήριξη που μου παρείχαν.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους Jonathan Elkin και Phillip Ballou, στενούς μου συνεργάτες στην εταιρεία που εργάζομαι οι οποίοι με βοήθησαν στην συλλογή των εμπιστευτικών αρχείων, χωρίς την συμβολή τους η διπλωματική αυτή δεν θα μπορούσε να είχε πραγματοποιηθεί.

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

Ορέστης Παντελής Εμμ. Αγγουριδάκης

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο.....	9
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ	9
1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ROUTING	13
1.3. ΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ SEEMP, EEDI ΚΑΙ ΕΕΟΙ	16
1.3.1. SEEMP (Σχέδιο Διαχείρισης της Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων)	18
1.3.2. EEDI (Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Σχεδιασμού).....	21
1.3.3. ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΕΟΙ Επιχειρησιακός Δείκτη Ενεργειακής Αποτελεσματικότητας	25
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ VOYAGE OPTIMIZATION.....	29
2.1. Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ VOYAGE OPTIMIZATION.....	29
2.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ VOYAGE OPTIMIZATION	32
2.2.1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	32
2.2.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	36
2.2.3. ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	38
2.3. ΕΜΜΕΣΑ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	40
ΕΝΟΤΗΤΑ 2η	42
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο.....	42
ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ (CASE STUDIES) ΠΑΝΩ ΣΤΟ VOYAGE OPTIMIZATION	42
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο.....	54
4.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΝVOS	54
4.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΕ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΑ ΤΑΞΙΔΙΑ(POST VOYAGE ANALYSIS)	61
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο	64
5.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΞΙΔΙΩΝ	64
5.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	98
5.2.1. ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΝΑ ΠΛΟΙΟ	98
5.2.2. ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΝΑ SISTER VESSELS	100
5.3.3. ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΝΑ ΔΙΑΝΥΟΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ.....	101
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	104

Ξένη Βιβλιογραφία:	105
Ελληνική Βιβλιογραφία:	108
Ηλεκτρονική βιβλιογραφία:	108
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	109

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι διαρκώς μεταβαλλόμενοι ναύλοι, οι αυστηρότεροι περιβαλλοντικοί κανονισμοί, οι κυμαίνόμενες τιμές των καυσίμων και οι προσδοκίες για μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου καθιστούν την παρούσα κατάσταση ιδιαίτερα κρίσιμη για τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Στο πλαίσιο αυτό, το ενδιαφέρον για λύσεις για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων πλοίων αυξήθηκε τα τελευταία χρόνια, σε συνδυασμό με τις τεχνολογικές βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση των πλοίων. Η εργασία αυτή αποσκοπεί στη συμβολή στις γνώσεις που απαιτούνται για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων από τη ναυτιλία. Αυτό επιτυγχάνεται εστιάζοντας στην εφαρμογή των τεχνολογιών πάνω στην βελτιστοποίηση και στο τρόπο σχεδιασμού της πορείας ενός καραβιού. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στο πλοίο ως ενεργειακό σύστημα και στην συμβολή του προγραμματισμού του ταξιδιού στην ενεργειακή αποδοτικότητά του μέσω της ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης καυσίμου και της πιο ασφαλούς πλεύσης. Οι οικονομικές πτυχές και κάποιες τεχνικές πτυχές (όπως η συντήρηση και ο δεξαμενισμός του πλοίου) δεν είναι άγνωστες, αλλά δεν αποτελούν το επίκεντρο αυτής της διατριβής.

Στο πρώτο κεφάλαιο θα κάνουμε μια εισαγωγή ορίζοντας την έννοια της βελτιστοποίησης του ταξιδιού και κάνοντας μια ιστορική αναδρομή. Στην συνέχεια θα ορίσουμε την έννοια του ανθρακικού αποτυπώματος και των κυριότερων δεικτών παρακολούθησης της αποδοτικότητας του πλοίου (SEEMP, EEDI, EEOI). Στο δεύτερο κεφάλαιο θα τονίσουμε την ανάγκη που υπάρχει για βελτιστοποίηση και θα περιγράψουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την υπολογισμό του βέλτιστου δρομολογίου για το πλοίο.

Με την βοήθεια προγενέστερων ερευνών στο τρίτο κεφάλαιο θα αναλύσουμε όλα τα δεδομένα και θα τονίσουμε γιατί είναι σημαντική η βελτιστοποίηση του ταξιδιού πριν και κατά την διάρκεια αυτού, τόσο για το επιχειρηματικό όσο και για το λειτουργικό κομμάτι του πλοίου.

Στο δεύτερο σκέλος, θα περιγράψουμε τον τρόπο λειτουργίας και την μεθοδολογία που θα ακολουθήσουμε με βάση το υπολογιστικό πρόγραμμα VVOS (Vessel Voyage Optimization Solution). Στην συνέχεια, θα παραθέσουμε όλα τα δεδομένα που έχουμε συλλέξει από ελ-

ληνική πλοιοκτήτρια εταιρεία από παρελθοντικά ταξίδια 10 πλοίων VLCCs. Μετ' έπειτα, θα αναλύσουμε όλα τα δεδομένα που προήλθαν από την έρευνα στα συγκεκριμένα ταξίδια και θα καταλήξουμε με ένα συμπερασματικό κεφάλαιο, συγκρίνοντας τα συνολικά οφέλη από την χρήση των προγραμμάτων αυτών για την βελτιστοποίηση του ταξιδιού.

ABSTRACT

Low chartering fares, fluctuating fuel prices, tougher environmental regulations and expectations for greenhouse gas emissions make the current situation particularly critical for the shipping industry. In this context, interest in solutions to reduce fuel consumption has increased in recent years, coupled with technological improvements in ship energy efficiency. This work aims to contribute to the knowledge needed to reduce fuel consumption from shipping. This is achieved by focusing on the application of voyage optimization technologies and how to design a ship's course. This work is centered on the ship as an energy system and on the contribution of travel planning to its energy efficiency through minimizing fuel consumption and safer navigation. Economic aspects and technical aspects (such as ship maintenance and docking) are not unknown but are not the focus of this dissertation.

In the first chapter we will do an introduction defining the concept of optimizing the voyage and presenting a historical retrospective. Next, we will define the carbon footprint concept and the main performance indicators for the ship's efficiency (SEEMP, EEDI and EEOI). In the second chapter we will highlight the need for optimization and describe the factors that influence the calculation of the optimal route for the ship.

With the help of previous researches, in the third chapter we will analyze all the facts and we will emphasize why it is important to optimize the route of a vessel before the departure and during sailing, both for the business and for the operational side.

In the second part, we will describe the operation and methodology of Vessel Voyage Optimization Solution (VVOS) computation system. Then we will list all the data we have collected from a Greek shipowning company from past trips of 10 VLCCs. In last chapter, we will analyze all the data that came from the survey on these voyages and come up with a conclusive chapter, comparing the overall benefits of using these programs to optimize voyage.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

Η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά των περισσότερων από τα εμπορικά προϊόντα του κόσμου. Η Ετήσια έκθεση του 2016 που δημοσιεύθηκε από την Παγκόσμια Κοινότητα Εμπορίου και Ανάπτυξης (UNCTAD) δηλώνει ότι το 90% του παγκόσμιου εμπορίου μεταφέρεται από την διεθνή Ναυτιλία. Χωρίς ναυτιλία, η εισαγωγή και εξαγωγή αγαθών με την κλίμακα που είναι απαραίτητη για τον σύγχρονο κόσμο δεν θα ήταν δυνατή(UNCSTAD, 2016).

Το ναυτιλιακό εμπόριο συνεχίζει να επεκτείνεται, φέρνοντας οφέλη για τους καταναλωτές και παρέχοντας προϊόντα και υπηρεσίες σε ανταγωνιστικές τιμές παγκοσμίως. Χάρη στην αυξανόμενη αποτελεσματικότητα της ναυτιλίας ως τρόπου μεταφοράς και στην αυξημένη οικονομική απελευθέρωση, οι προοπτικές για περαιτέρω ανάπτυξη του κλάδου εξακολουθούν να είναι ισχυρές.

Όπως και κάθε άλλος τομέας, έτσι και η ναυτιλία έχει κάποια επιχειρηματικά χαρακτηριστικά, μερικά από τα οποία επηρεάζουν τις διαδικασίες σχεδιασμού και εκμετάλλευσης πλοίων για μειωμένη κατανάλωση καυσίμων.

Το γεγονός ότι ο ιδιοκτήτης του φορτίου, ο ιδιοκτήτης του πλοίου και ο διαχειριστής του πλοίου είναι συχνά διαφορετικά πρόσωπα με διαφορετικά συμφέροντα δημιουργεί ξεχωριστά κίνητρα. Πιο συγκεκριμένα, σε περιπτώσεις που ο ιδιοκτήτης του πλοίου είναι διαφορετικός από τον διαχειριστή του και δεν πληρώνει για το καύσιμο, αυτό δεν του δημιουργεί κίνητρο για την αγορά ή κατασκευή ενός πιο αποδοτικού πλοίου. Από την άλλη

πλευρά σε περιπτώσεις που ούτε και ο διαχειριστής του πλοίου δεν πληρώνει το καύσιμο (ο ιδιοκτήτης του φορτίου μπορεί να πληρώσει για αυτό, ανάλογα με το τύπο ναύλωσης), αυτός δεν έχει κανένα κίνητρο για εξοικονόμηση του καυσίμου σε λειτουργική βάση, για παράδειγμα για πλεύση σε χαμηλότερη ταχύτητα (slow steaming). Αυτή η κατάσταση συχνά παρεμποδίζει τα οφέλη από την αποτελεσματική λειτουργία του πλοίου και επιβραδύνει τη λειτουργία του (Jafarzadeh & Utne, 2014).

Επιπρόσθετα, σε σχέση με τα αεροπλάνα και τα αυτοκίνητα που έχουν πιο τυποποιημένη σχεδίαση, τα πλοία σχεδιάζονται και ναυπηγούνται σε μικρή κλίμακα και με διαφορετικά χαρακτηριστικά γεγονός που εμποδίζει την έρευνα και ανάπτυξη για μια μεμονωμένη βάση πλοίου. Δεν ισχύει το ίδιο όμως για τα εξαρτήματα του πλοίου, όπως οι μηχανές και οι προπέλες του, που εξηγεί εν μέρει το γιατί οι τεχνικές εξελίξεις για την ενεργειακή απόδοση παρατηρούνται στην ανάπτυξη των εξαρτημάτων περισσότερο από ό, τι στο σχεδιασμό του πλοίου. Επιπλέον, όταν τα βιβλία παραγγελιών είναι γεμάτα, τα ναυπηγεία τείνουν να δέχονται παραγγελίες μόνο για πολύ "τυποποιημένα" σχέδια που απαιτεί ελάχιστη τροποποίηση και επιτρέπει τη μεγιστοποίηση των εσόδων (Faber et. al, 2011)

Τα πλοία χρησιμοποιούνται μερικές φορές ως απλά περιουσιακά στοιχεία από επενδυτές οι οποίοι εξετάζουν περισσότερο την αξία τους στην αγορά και όχι στην ενεργειακή αποτελεσματικότητά τους. Ως συνέπεια, τα ενεργειακά πιο αποδοτικά σκάφη δεν αποτιμώνται αναλόγως στην αγορά των μεταχειρισμένων πλοίων. Επίσης, η διάρκεια ζωής ενός σκάφους μπορεί να κυμαίνεται από 15 έως 30 χρόνια. Συνεπώς, πλοία κατασκευασμένα σύμφωνα με μη βέλτιστα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης θα βρίσκονται στην αγορά για μεγάλο διάστημα (Jafarzadeh & Utne, 2014).

Το κέρδος της οποιασδήποτε εμπορικής ναυτιλιακής επιχείρησης εξαρτάται από την ασφαλή, αποδοτική και οικονομική χρήση όλων των πόρων στο συνολικό σύστημα μεταφοράς. Πρέπει, κατά συνέπεια, να εξετάζουν διαρκώς όλους τους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την ευημερία τους και την μακροημέρευσή τους. Παράγοντες όπως η ανάκτηση του επενδυτικού κεφαλαίου μέσω της σωστής προσαρμογής του πλοίου στην παγκόσμια αγορά, η απαιτούμενη συντήρηση του πλοίου, η διαθεσιμότητα του φορτίου, ο συ-

ντονισμός με το λιμάνι για την σωστή φόρτωση του φορτίου, καθώς και για τα αναμενόμενα λειτουργικά κόστη του πλοίου (καύσιμα, πλήρωμα, αναλώσιμα κ.λπ.) είναι πολύ κρίσιμοι και επηρεάζουν σε μέγιστο βαθμό την ομαλή λειτουργία αυτής.

Οι αποφάσεις περιπλέκονται ακόμη περισσότερο από τις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως ο άνεμος, τα κύματα, τα θαλάσσια ρεύματα, η ατμοσφαιρική πίεση και ο πάγος. Καθένας από αυτούς τους παράγοντες επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμου και την ταχύτητα του πλοίου, και μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια και την ευημερία του πλοίου, του φορτίου και του πληρώματός του.

Συνεπώς, η γνώση των αναμενόμενων καιρικών συνθηκών ως χαρακτηριστικά απόκρισης του σκάφους έχουν σημαντικό ρόλο στο συνολικό επιχειρησιακό σχεδιασμό και στη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Chen H., 1978).

Η πραγματική λειτουργική διαχείριση ενός πλοίου μπορεί να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα τριών επίπεδων διαχείρισης –

1. ανάλυση αγοράς
2. σωστή τοποθέτηση του πλοίου στην αγορά και κατάλληλος προγραμματισμός
3. βελτιστοποίηση της πορείας του ταξιδιού (voyage optimization).

Η σωστή τοποθέτηση στην αγορά και ο προγραμματισμός του πλοίου διέπονται συνήθως από τη διαθεσιμότητα του φορτίου, ή τα χαρακτηριστικά προσφοράς και ζήτησης, όπως καθορίζεται από την ανάλυση της αγοράς. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται από την διοικούσα αρχή της ναυτιλιακής εταιρείας μετά την αξιολόγηση πολλών οικονομικών, προωθητικών και τεχνικών παραγόντων. Η τοποθέτηση του πλοίου στην αγορά έχει μακροπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες πτυχές σε αυτόν τον αρχικό προγραμματισμό και αντιπροσωπεύει ένα μακροπρόθεσμο σχέδιο για τις κινήσεις του πλοίου με σκοπό την παραγωγή επαρκών εσόδων για την κάλυψη όχι μόνο του σταθερού και μεταβλητού κόστους λειτουργίας αλλά και της επαρκούς απόδοσης των χρησιμοποιηθέντων περιουσιακών στοιχείων. Ο βραχυπρόθεσμος προγραμματισμός αντιπροσωπεύει γενικά τροποποιήσεις σε ένα πιο βασικό χρονοδιάγραμμα όπου οι διακυμάνσεις της αγοράς, το λειτουργικό περιβάλλον ή η διαθε-

σιμότητα του πλοίου προσαρμόζονται ανάλογα με τον χρόνο και τους πόρους (Dupin W.F., 1976).

Ο προγραμματισμός του ταξιδιού και η δρομολόγησή του αναλόγως των καιρικών συνθηκών, από την άλλη πλευρά, παρέχουν πιο λεπτομερείς αποφάσεις σχετικά με τη χρονική ακολουθία των αποστάσεων, της κατεύθυνσης και των ταχυτήτων που θεωρούνται ότι ανταποκρίνονται καλύτερα στον προγραμματισμό και στις οικονομικές απαιτήσεις των συγκεκριμένων ταξιδιών. Για αυτό τον λόγο η σωστή ενημέρωση του πλοίου πρέπει να πραγματοποιείται στο πλαίσιο των καιρικών συνθηκών που επικρατούν ή αναμένονται κατά την περίοδο πλεύσης του πλοίου από την συγκεκριμένη περιοχή. Πρέπει επομένως να συνδυάζει τις περιβαλλοντικές συνθήκες με μια σειρά οικονομικών παραγόντων για να προσδιορίσει την αποτελεσματικότητα μιας συγκεκριμένης απόφαση επιλογής πορείας.

Αυτό γίνεται καθ'ότι οι στόχοι επηρεάζουν ο ένας τον άλλον. Πολλοί από αυτούς τους στόχους τείνουν να συγκρούονται. Για παράδειγμα, ο ελάχιστος χρόνος πλεύσης πρέπει να σταθμιστεί ενάντια στο αυξημένο κόστος καυσίμων και τον κίνδυνο βλαβών από άσχημες καιρικές συνθήκες. Μια ελάττωση της ταχύτητας (slow steaming) μπορεί να είναι αποδεκτή εάν επιτρέπει μια πιο άμεση διαδρομή ή λόγω ύπαρξης ευνοϊκότερων ωκεάνιων ρευμάτων. Έτσι, η ουσία του προβλήματος της δρομολόγησης του πλοίου είναι να εκτιμηθούν οι σχετικές επιπτώσεις μιας ευρείας ποικιλίας συνθηκών για τον καθορισμό των κατάλληλων συμβιβασμών μεταξύ των κατάλληλων κριτηρίων κόστους (Watson, 1981).

1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ROUTING

Η προσπάθεια εύρεσης βέλτιστου τρόπου διέλευσης (voyage optimization) για την ναυσιπλοΐα έχει μακρά ιστορία. Στα μέσα του 18^{ου} αιώνα, ο Benjamin Franklin, ως αναπληρωτής γενικός διευθυντής των βρετανικών αποικιών στη Βόρεια Αμερική, χαρτογράφησε τα ισχυρά ρεύματα του Κόλπου του Μεξικού από πληροφορίες που παρείχαν οι πλοίαρχοι των φαλαινοθηρικών πλοίων της Νέας Αγγλίας και με την βοήθεια του ξαδέρφου του, Timothy Folger. Αυτή η πρώτη χαρτογράφηση των ωκεάνιων ρευμάτων συνέβαλε στη βελτίωση της αλληλογραφίας μεταξύ των βρετανικών αποικιών και της Αγγλίας. Έτσι, σε ορισμένες περιπτώσεις, ο χρόνος πλεύσης μειώθηκε κατά 14 ημέρες σε σχέση με τις παλαιότερες διαδρομές (Osborn C., 2016).

Στα μέσα του 19ου αιώνα, ο Matthew Fontaine Maury συνέταξε πολύ σημαντικές πληροφορίες ατμοσφαιρικών και ωκεανογραφικών δεδομένων από τα ημερολόγια των πλοίων (log books). Για πρώτη φορά, η κλιματολογία των ωκεάνιων καιρικών συνθηκών και των ρευμάτων του κόσμου ήταν διαθέσιμη στον ναυτικό. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιήθηκαν από τον Maury για την ανάπτυξη εποχιακών συνιστάμενων διαδρομών για τα εμπορικά πλοία το δεύτερο μισό του 19ου αιώνα. Σε πολλές περιπτώσεις, τα γραφήματα του Maury αποδείχθηκαν σωστά από την εξοικονόμηση χρόνου στη πλεύση των πλοίων. Ο μέσος χρόνος πλεύσης για ένα ταξίδι από τη Νέα Υόρκη στην Καλιφόρνια μέσω του ακρωτηρίου του Cape Horn μειώθηκε από 183 ημέρες σε 139 ημέρες με τη χρήση των συνιστάμενων εποχιακών διαδρομών του Maury (Crady, 2015).

Στη δεκαετία του 1950 τέθηκε σε εφαρμογή η έννοια της δρομολόγησης των πλοίων από διάφορες ιδιωτικές μετεωρολογικές ομάδες και από το Ναυτικό των ΗΠΑ. Με την εφαρμογή των διαθέσιμων προβλέψεων για τα υπερωκεάνια ταξίδια, ήταν δυνατό να αποφευχθεί αποτελεσματικά πολύ βαρύς καιρός, ενώ γενικά άρχισαν να επιλέγονται μικρότερες διαδρομές από ό, τι στο παρελθόν.

Τις δεκαετίες του '60 και του '70 άνοιξε ο δρόμος για την διαθεσιμότητα λεπτομερών πληροφοριών των υπαρχουσών καιρικών συνθηκών και στην πρόβλεψη των αντιδράσεων του πλοίου σε σχέση με τις θαλάσσιες συνθήκες. Έτσι ήταν πλέον δυνατή η πρόβλεψη των

αναμενόμενων καιρικών συνθηκών και των θαλάσσιων συνθηκών αρκετές μέρες στο μέλλον. Οι συνοπτικές μετρήσεις της διασταύρωσης των ρευμάτων των ωκεανών, όπως τα θαλάσσια ρεύματα του Κόλπου, υπήρχαν σε διαθεσιμότητα σε καθημερινή βάση (Lazanoff, S. M. και Stevenson N. M, 2015).

Ο Haltiner (1962), οι Bleick & Faulkner (1965) και ο Haltiner (1968) έκαναν τα πρώτα βήματα ως προς τη μοντελοποίηση και την υδροδυναμική απεικόνιση των βέλτιστων διαδρομών, επεκτείνοντας την αρχική θεωρία ώστε να συμπεριλαμβάνεται το ύψος, η κατεύθυνση και η περίοδος των κυμάτων.

Ο Dr. Henry Chen (1978) αρχιτέκτονας του VVOS (Vessel Voyage Optimization Solutions), για το οποίο θα αναφερθούμε στη συνέχεια, στην διδακτορική του διατριβή, διατύπωσε την *“σημασία αντιμετώπισης του προβλήματος ως διαδικασία στοχαστικού δυναμικού ελέγχου πολλαπλών σταδίων υπό τον περιορισμό των επιχειρησιακών απαιτήσεων του πλοίου, των πιθανών περιβαλλοντικών συνθηκών των ωκεανών και των δυναμικών χαρακτηριστικών απόκρισης των πλοίων στις θαλάσσιες διαδρομές”*.

Έννοιες όπως *“seakeeping performance”* (η δυνατότητα του πλοίου να ανθίσταται στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες) και *“voyage optimization”* (βελτιστοποίηση της επιλογής θαλάσσιας διαδρομής για το πλοίο) αρχίζουν πλέον και χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο από τους ναυτικούς μηχανικούς (naval engineers) μαζί με την κατασκευή στοχαστικών δυναμικών προγραμματιστικών αλγορίθμων για τον υπολογισμό της βέλτιστης πορείας.

Η ταχεία ανάπτυξη των γνώσεων σχετικά με τις ατμοσφαιρικές και υδροσφαιρικές συνθήκες από το δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα, υποστηρίχθηκε σε μεγάλο βαθμό από τις δραματικές βελτιώσεις της τεχνολογίας των υπολογιστών, η οποία παρείχε στους μετεωρολόγους εξελιγμένα επιχειρησιακά εργαλεία που διευκόλυναν τις ακριβέστερες κλιματικές αναλύσεις και τις προβλέψεις καιρού. Ένα ζωντανό παράδειγμα τέτοιων προόδων είναι η ενσωμάτωση τεχνικών πρόβλεψης του καιρού στις θαλάσσιες επιχειρήσεις. Η θαλάσσια ναυσιπλοΐα πριν από τη δεκαετία του 1990 βασιζόταν σε μεγάλο βαθμό στις καλές καιρικές και θαλάσσιες προβλέψεις, η ακρίβεια των οποίων αυξανόταν κάθε χρόνο. Ωστόσο, το έργο της εκτίμησης των οφελών των προβλέψεων στους τελικούς χρήστες αφέθηκε

στην ανθρώπινη ικανότητα. Ένας πλοίαρχος, για παράδειγμα, γνώριζε τις προβλέψεις των κυμάτων και του ανέμου για μια συγκεκριμένη περιοχή, αλλά θα έπρεπε ο ίδιος να εκτιμήσει την κατάλληλη διαδρομή. Κατά συνέπεια, η επιλογή της καλύτερης διαδρομής, είτε η ταχύτερη είτε η ασφαλέστερη, θα βασιζόταν απλώς στην δική του εμπειρία και σε μια καλή πρόγνωση του καιρού. Ως εκ τούτου, η επιλογή της καλύτερης διαδρομής, θα βασιζόταν απλώς στην δική του εμπειρία και σε μια καλή πρόγνωση του καιρού.

Στην δεκαετία του 2000, η ανάλυση και η ακρίβεια των γεωφυσικών μοντέλων (βλέπε π.χ. Accadia et al., 2003, Janssen et al., 2000), συνοδευόμενη από την δραματική αύξηση της υπολογιστικής ισχύος, επέτρεψε στους επιστήμονες να εγκαταστήσουν αριθμητικά μοντέλα ειδικά για ειδικές εφαρμογές με υψηλή ανάλυση στο χώρο και το χρόνο. Στην περίπτωση της ναυσιπλοΐας, για παράδειγμα, έγινε εφικτή η εγκατάσταση ποσοτικών μοντέλων υδροδυναμικής πλοίων (hydrodynamic modelling) παράλληλα με μοντέλα πρόβλεψης καιρού και θαλασσιών συνθηκών. Αυτή η σημαντική βελτίωση επέτρεψε στους ειδικούς μετεωρολόγους σε θέματα ναυσιπλοΐας, να προβλέπουν άμεσα τις αποδόσεις των πλοίων κατά μήκος των διαδρομών και να προτείνουν βέλτιστες διαδρομές μεταξύ ενός συνόλου εναλλακτικών επιλογών.

Τα τελευταία χρόνια, οι αυξανόμενες τιμές των καυσίμων, οι διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς και τα περιβαλλοντικά ζητήματα όσον αφορά τις εκπομπές αερίων από τα πλοία έφεραν μια νέα προοπτική στην βελτιστοποίηση του ταξιδιού. Εκτός από την αποτελεσματικότητα από οικονομικής άποψης, ένα πλοίο πρέπει επίσης να είναι φιλικό προς το περιβάλλον όσον αφορά τις εκπομπές αερίων. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιούνται σημαντικές ρυθμιστικές δραστηριότητες στο πλαίσιο του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) και άλλων φορέων. Οι δραστηριότητες αυτές αποσκοπούν στην κάλυψη ολόκληρου του φάσματος από τα τεχνικά έως τα επιχειρησιακά μέτρα που βασίζονται στην αγορά και στην μείωση εκπομπών από αέρια θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), σε αέρια που δεν προέρχονται από αέρια θερμοκηπίου, όπως τα οξείδια του θείου (SO_x), οξείδια του αζώτου (NO_x), PM-10 και άλλα.

1.3. ΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ SEEMP, EEDI ΚΑΙ ΕΕΟΙ

Όταν προσπαθούμε να προσεγγίσουμε το πρόβλημα της βέλτιστης λειτουργικής αποδοτικότητας ενός πλοίου, η προσοχή μας συνήθως επικεντρώνεται στην βέλτιστη κατασκευή του κύτους και της προπέλας του, τις διαστάσεις του και τον τύπο και το είδος της μηχανής που θα τοποθετηθεί στο εσωτερικό του. Το μέτρο της μειωμένης ταχύτητας (slow steaming) άρχισε να χρησιμοποιείται κυρίως από το 2008 και μετά λόγω της εκτόξευσης της τιμής των καυσίμων, συχνά συνίσταται ως ένας απλός τρόπος για τη μείωση κατανάλωσης των καυσίμων, αλλά αυτό οδήγησε στη αθροιστική μείωση των μεταφερόμενων φορτίων ανά έτος.

Εκτός από τις προαναφερθείσες επιλογές, με την πάροδο των χρόνων προέκυψε η ανάγκη για συστηματική παρακολούθηση της πορείας ,πρωτίστως, και της κατανάλωσης του πλοίου. Με αυτόν τον τρόπο οι εταιρείες μπόρεσαν να κάνουν καλύτερο και πιο συστηματικό έλεγχο στην καθημερινή λειτουργία του πλοίου και επίσης να βελτιώσουν την απόδοση του. Έτσι, δημιουργήθηκαν τα πρώτα ενοποιημένα συστήματα που περιλαμβάνουν τον προγραμματισμό των ταξιδιών και της βελτιστοποίηση αυτού, την ασφαλή πλοήγηση σε περίπτωση πειρατείας, την κατάλληλη λειτουργία των εφοδιαστικών αλυσίδων, και της βέλτιστης αποδοτικότητας των δραστηριοτήτων διαχείρισης (efficiency management activities). Για να γίνει αυτό, απαραίτητο συστατικό αποτελεί η ολοκληρωμένη και συνεχή εκπαίδευση του πληρώματος για την εξασφάλιση επάρκειας στην αποτελεσματική χρήση της νέας τεχνολογίας.



Figure 1: Potential fuel use and CO₂ reductions from various efficiency approaches for ships (International Council on Clean Transportation (ICCT), July 2013). Long-term potential for increased shipping efficiency through the adoption of industry-leading practices.

Ο συνδυασμός όλων των κατηγοριών όπως φαίνονται στην παραπάνω εικόνα, εκτός από την βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας του πλοίου συμβάλλει και στην μείωση του ανθρακικού αποτύπωμάτος του. Ο όρος «ανθρακικό αποτύπωμα» αντιπροσωπεύει το σύνολο των εκπομπών αερίων που προέρχονται από την ανθρώπινη παραγωγή και τις ανθρώπινες δραστηριότητες και σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το «ανθρακικό αποτύπωμα» σαν όρος είναι ευρέως διαδεδομένος και αποτελεί αναπόσπαστο μέλος της συζήτησης σχετικά με την ευθύνη που έχει ο άνθρωπος απέναντι στο περιβάλλον και τις δράσεις που πρέπει να αναλάβει προκειμένου να αποτρέψει την κλιματική αλλαγή (Carbon Trust, 2007). Προς αυτή την κατεύθυνση κινούνται και οι διατάξεις του IMO με την οριοθέτηση των περιοχών ECA (Emission Control Areas) με το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο στις περιοχές αυτές να είναι στο 0,1% από την 1/1/2015 και παγκοσμίως στο 0,5% από το 1/1/2020 (MARPOL 73/78 Annex 6, 2008).

Ωστόσο, οι πρόσφατες συζητήσεις και οι προσπάθειες ποσοτικοποίησης των πιο λεπτομερών χαρακτηριστικών ενεργειακής απόδοσης του υπάρχοντος στόλου πλοίων αντιμετωπίστηκαν με κριτική. Για παράδειγμα, μεταξύ των αντιρρήσεων σε προηγούμενες αναλύσεις, οι μελέτες είχαν ζητήματα που σχετίζονται με μη αντιπροσωπευτικά δεδομένα εισροών, περιορισμένα επιχειρησιακά δεδομένα πραγματικών συνθηκών ώστε να αντικατοπτρίζουν πραγματικές συνθήκες λειτουργίας και ελλιπή ποσοτικοποίηση τεχνικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών απόδοσης. Πολλές από αυτές τις αντιρρήσεις είναι βάσιμες,

λόγω της γενικά χαμηλής ποιότητας δεδομένων που περιγράφουν τον υπάρχοντα στόλο πλοίων και τις ευρείες παραμέτρους που επηρεάζουν την απόδοση και επομένως την αποδοτικότητα των πλοίων στην καθημερινή τους λειτουργία (Aldous et. al., 2013).

Η αύξηση του κινήτρου για μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης είναι η τρέχουσα συζήτηση σχετικά με τον τρόπο ρύθμισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία. Τον Ιανουάριο του 2013 τέθηκε σε ισχύ ο δείκτης EEDI (Energy Efficiency Design Index=Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Σχεδιασμού) , απαιτώντας από όλα τα νέα πλοία να πληρούν ένα ελάχιστο πρότυπο ενεργειακής απόδοσης. Στο παράρτημα VI του κανονισμού MARPOL(ψήφισμα MEPC.203 62), το SEEMP (Σχέδιο Διαχείρισης της Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων) συνιστά τη χρήση του EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator=Επιχειρησιακός Δείκτη Ενεργειακής Αποτελεσματικότητας) ως μέτρηση της ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων πλοίων.

1.3.1. SEEMP (Σχέδιο Διαχείρισης της Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων)

Ο κύριος σκοπός του SEEMP είναι να θεσπίσει έναν μηχανισμό για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου και κατά προτίμηση να συνδεθεί με μια ευρύτερη πολιτική εταιρικής διαχείρισης της ενέργειας. Έτσι ο SEEMP αποβλέπει όχι μόνο στην μείωση των εκπομπών αερίων από τα πλοία, αλλά να βελτιώσει την αποδοτικότητα και να μειώσει την κατανάλωση καυσίμων. Κυρίως όλα τα νέα πλοία ναυπηγούνται με εργαλεία τέτοια έτσι ώστε να ελέγχουν σωστά τη ρύπανση από τα πλοία(MEPC.282(70), 2016).

Το SEEMP ενσωματώνει τις βέλτιστες πρακτικές για την αποδοτική λειτουργία των καυσίμων όπως η καλύτερη διαχείριση ταχύτητας(speed management) κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού πλοίου. Στόχος του SEEMP είναι να βοηθήσει τη βιομηχανία στη διαχείριση των περιβαλλοντικών επιδόσεων των πλοίων και να αποτελέσει πρακτικό μέσο για τη βελτίωση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας.

Το SEEMP παρέχει τη μέγιστη δυνατή λειτουργία του πλοίου (βέλτιστη επιλογή διαδρομής, κατάλληλη συντήρηση, θαλάσσια ρεύματα και καιρός) για τη μείωση των εκπομπών CO₂,

εξασφαλίζοντας παράλληλα την ασφαλή λειτουργία και τη διατήρηση ενός αυστηρού προγράμματος λειτουργίας.

Το SEEMP μπορεί να υλοποιηθεί αποτελεσματικά σε 5 στάδια:

1. Σχεδιασμός
2. Εφαρμογή
3. Παρακολούθηση
4. Αυτοαξιολόγηση
5. Βελτίωση

Αυτά τα στοιχεία διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον συνεχή κύκλο βελτίωσης της διαχείρισης της ναυτιλιακής ενέργειας. Ένα SEEMP δεν είναι στατικό, αλλά πρέπει να είναι συνεχώς σε εξέλιξη(Lloyds Register,2012).

Σχεδιασμός: Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη ενός ισχυρού σχεδίου διαχείρισης της ενεργειακής απόδοσης (SEEMP) είναι η γνώση της ενεργειακής δυνατότητας του πλοίου. Ο ιδιοκτήτης πρέπει να αναπτύξει μια αναλυτική αναφορά που να καθορίζει τη σημερινή κατανάλωση ενέργειας για το σκάφος και να συγκρίνει τις επιχειρησιακές πρακτικές για να συστήσει τις βέλτιστες πρακτικές. Είναι καθοριστικής σημασίας δεδομένου ότι καθορίζει τόσο την τρέχουσα ενεργειακή κατάσταση όσο και την αναμενόμενη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Εφαρμογή: Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού, πρέπει να αναπτυχθεί ένα σύστημα για την σωστή εφαρμογή του κάθε μέτρου που θα συμβάλλει στην βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Η ανάπτυξη του συστήματος μπορεί να εξεταστεί στο στάδιο του προγραμματισμού και θα πρέπει να καθορίσει τα καθήκοντα που απαιτούνται για την επίτευξη κάθε μέτρου μαζί με το ποιος έχει ανατεθεί σε αυτά. Η ίδια η υλοποίηση πρέπει να είναι σύμφωνη με το σύστημα εφαρμογής και θα πρέπει να περιλαμβάνει ένα σύστημα καταγραφής. Η τήρηση αρχείων για την εφαρμογή κάθε μέτρου είναι ευεργετική για την αυτοαξιολόγηση.

Παρακολούθηση: Η ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου πρέπει να παρακολουθείται ποσοτικά. Αυτό πρέπει να γίνει με μια καθιερωμένη μέθοδο, κατά προτίμηση με ένα διεθνές πρότυπο. Ο ΕΕΟΙ-τον οποίο θα περιγράψουμε στην συνέχεια-που αναπτύχθηκε από τον ΙΜΟ, είναι ένα από τα διεθνώς καθιερωμένα εργαλεία για την επίτευξη ενός ποσοτικού δείκτη ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου ή / και στόλου σε λειτουργία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό. Ως εκ τούτου, ο ΕΕΟΙ θα μπορούσε να θεωρηθεί ως το κύριο εργαλείο παρακολούθησης, αν και δεν είναι απαγορευτική η χρήση άλλων μεθόδων(MEPC.1,2009). Πολύ σημαντικό κομμάτι της παρακολούθησης είναι η συνεχής συλλογή δεδομένων και η συνεχής εκπαίδευση του προσωπικού στα καινούρια συστήματα παρακολούθησης.

Αυτοαξιολόγηση και βελτίωση: Στο τέλος κάθε κύκλου (για παράδειγμα στον δεξαμενισμό του πλοίου) γίνεται αξιολόγηση και εκτίμηση των συστημάτων που έχουν χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου. Κάθε σύστημα πρέπει να αξιολογηθεί ξεχωριστά προκειμένου να γίνουν αντιληπτό στον ιδιοκτήτη και στους φορείς τι λειτούργησε αποτελεσματικά και τι όχι κατά πόσο βελτιώθηκε η απόδοση του πλοίου και ποια είναι η τάση της βελτίωσης της απόδοσης του πλοίου(Sin & Oses, χ. X).

Από τις παρακάτω βέλτιστες πρακτικές για το SEEMP διατρανώνεται η σημασία που έχει για την ενεργειακή αποδοτικότητα του πλοίου ο κατάλληλος προγραμματισμός και η απαραίτητη καθημερινή παρακολούθηση της πορείας του πλοίου.

Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (SEEMP)

Βέλτιστες Πρακτικές

ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Βελτίωση σχεδιασμού ταξιδιών
Προσαρμογή πορείας αναλόγως των καιρικών συνθηκών
Καλός προγραμματισμός άφιξης στο λιμάνι
Βελτιστοποίηση ταχύτητας
Βελτιστοποίηση διαχείρισης ισχύος Κ.Μ.

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ

Βέλτιστη διαγωγή
Βελτιστοποίηση ερματισμού
Βέλτιστη επιλογή προπέλας και διαμόρφωσης ομόρου
Βέλτιστη χρήση πηδαλίου
Βέλτιστη χρήση συστημάτων ελέγχου πηδαλιουχίας

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ Η/Μ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΟΛΟΥ

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ ΦΟΡΤΟΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΧΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΤΥΠΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

ΑΛΛΑ ΜΕΤΡΑ

Χρήση λογισμικών Η/Υ υπολογισμού κατανάλωσης
Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
Χρήση χερσαίας πηγής ρεύματος στα λιμάνια

Πηγή: Ρεμούνδος (2011) Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις της Λειτουργίας των Πλοίων

Το SEEMP μπορεί να μην συνδέεται άμεσα με την μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος, αλλά μέσω της διαρκούς μείωσης του κόστους λειτουργίας του πλοίου και της βελτιστοποίησης των συστημάτων του, υπολογίζεται ότι από το 2015 και μετά συμβάλλει έμμεσα στην μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος κατά 5-10% (DNV, 2012).

1.3.2. EEDI (Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Σχεδιασμού)

Ο Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) εφαρμόζεται κυρίως για τα νεότευκτα πλοία. Σκοπός του είναι να εξασφαλίσει ότι τα νέα πλοία έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι ενεργειακά αποδοτικά. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης απόδοσης της επιχειρησιακής ενεργειακής απόδοσης πλοίων παλαιότερων του 2013. Είναι ένας δείκτης

που υπολογίζει τα γραμμάρια εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ανά εργασία μεταφοράς (gr CO₂ ανά τόνο-μίλι).

$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emissions}}{Transport \text{ work}}$$

Πηγή: <http://glomeep.imo.org/resources/energy-efficiency-techologies-information-portal/> Ανακτήθηκε 15 Οκτωβρίου 2017

Οι εκπομπές CO₂ αντιπροσωπεύουν τις συνολικές εκπομπές CO₂ από την καύση καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων των κινητήρων πρόωσης και των βοηθητικών κινητήρων και των λεβήτων, λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα σε άνθρακα των εν λόγω καυσίμων. Εάν ενσωματώνονται ενεργειακά αποδοτικές μηχανικές ή ηλεκτρικές τεχνολογίες στο πλοίο, τα αποτελέσματά τους αφαιρούνται από τη συνολική εκπομπή CO₂ (Marine Insight, 2017).

Οι μεταφορικές εργασίες (transport work) υπολογίζονται με τον πολλαπλασιασμό της χωρητικότητας (deadweight) του πλοίου, όπως έχει σχεδιαστεί, με την ταχύτητα σχεδιασμού του πλοίου που μετράτε στη μέγιστη κατάσταση σχεδιασμού φορτίου και στο 75% της ονομαστικής εγκατεστημένης ισχύος άξονα (installed shaft Power) (MEPC.245(66), 2014).

Το EEDI είναι το σημαντικότερο τεχνικό μέτρο για τα νέα πλοία και στοχεύει στην προώθηση της χρήσης εξοπλισμού και κινητήρων με μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση. Εφαρμόστηκε από την 1η Ιανουαρίου 2013 με μεταβατικό στάδιο δυο χρόνων μέχρι το 2015 και σκοπός του κάθε πέντε χρόνια να γίνεται επανεκτίμηση και προσδιορισμός των καινοτομιών που οδηγήσουν στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος του πλοίου (Germanischer Lloyd SE., 2013).

Το EEDI απαιτεί ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης για τα νέα πλοία παρακινώντας ουσιαστικά την συνεχιζόμενη τεχνική ανάπτυξη όλων των στοιχείων που επηρεάζουν την απόδοση καυσίμου ενός πλοίου και διαχωρίζει τα τεχνικά και σχεδιαστικά μέτρα από

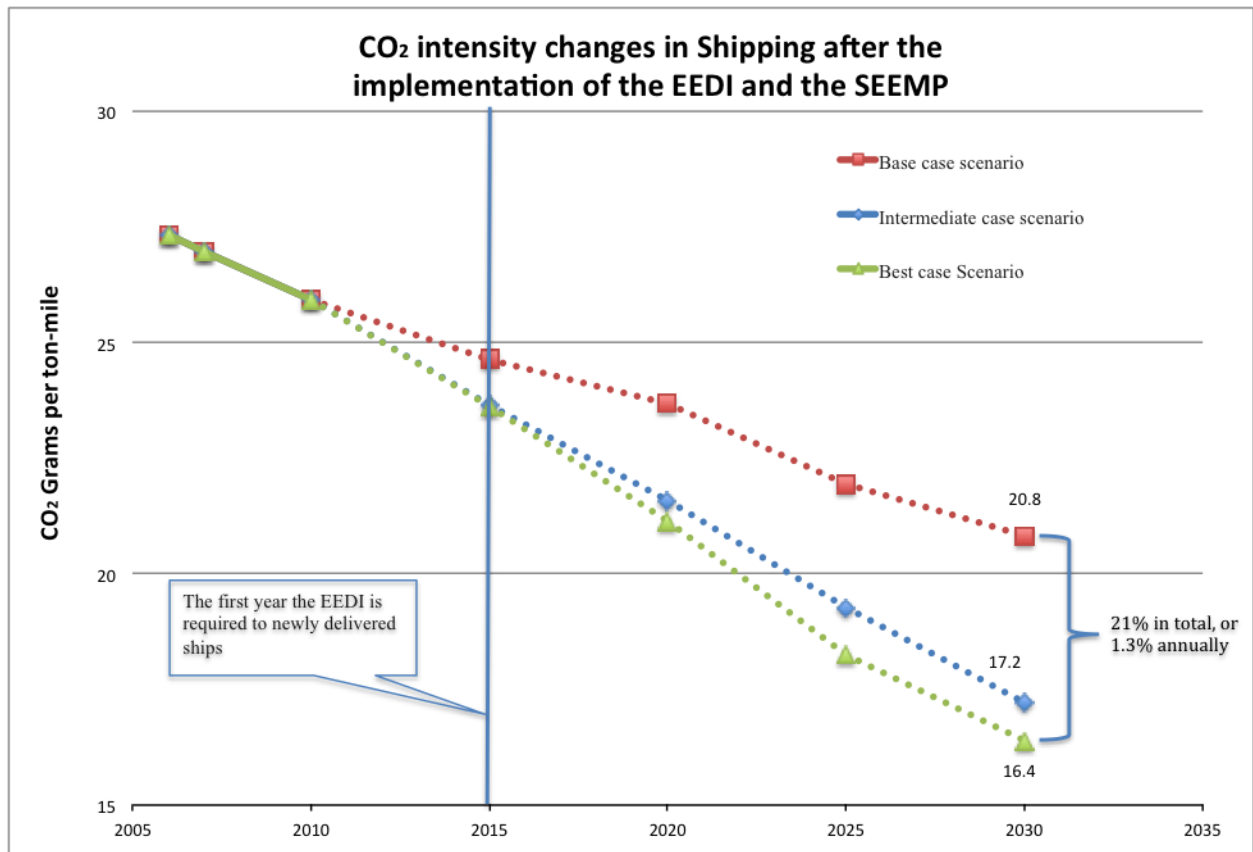
τα επιχειρησιακά και εμπορικά. Χρησιμοποιείται ήδη για να γίνει σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης παρόμοιων πλοίων του ίδιου μεγέθους που θα μπορούσαν να έχουν αναλάβει το ίδιο έργο μεταφοράς (δηλαδή να μετακινήσουν το ίδιο φορτίο).

Η φιλοσοφία του EEDI είναι ότι ο υπολογισμός του είναι απλός και ικανός για ευρεία εφαρμογή και προωθεί τις προσπάθειες όλων των ενδιαφερομένων για τη μείωση των εκπομπών CO₂ αντανακλώντας την ενεργειακή απόδοση του πλοίου σε πραγματική χρήση (MEPC.245(66), 2014).



Πηγή: Ρεμούνδος (2011) Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις της Λειτουργίας των Πλοίων

Η συμβολή του EEDI και του SEEMP είναι κατά πάσα πιθανότητα ανάλογη με το προϊόν του μεριδίου τους στο συνολικό στόλο των παγκόσμιων πλοίων και τους απαιτούμενους στόχους του EEDI. Σύμφωνα με τελευταίες έρευνες, μέχρι το 2030 η χρήση του δείκτη EEDI και του SEEMP μπορεί να βοηθήσει στη μείωση παραπάνω από 30% των εκπομπών αερίων από το πλοία σε σχέση με το 2015 και κοντά στο 50% σε σχέση με το 2005(Tanumoy Sinha, 2014).



Πηγή: Tanumoy Sinha, 2014 <http://lshipdesign.blogspot.gr/2014/03/eedi-future-of-green-shipping.html> Ανακτήθηκε 14 Οκτωβρίου 2017

1.3.3. ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΕΟΙ Επιχειρησιακός Δείκτης Ενεργειακής Αποτελεσματικότητας

Η κεντρική ιδέα για τον δείκτη ΕΕΟΙ είναι να υπάρχει ένα παγκόσμιο πρότυπο για τη μέτρηση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων με σκοπό διαφορετικά πλοία να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους.

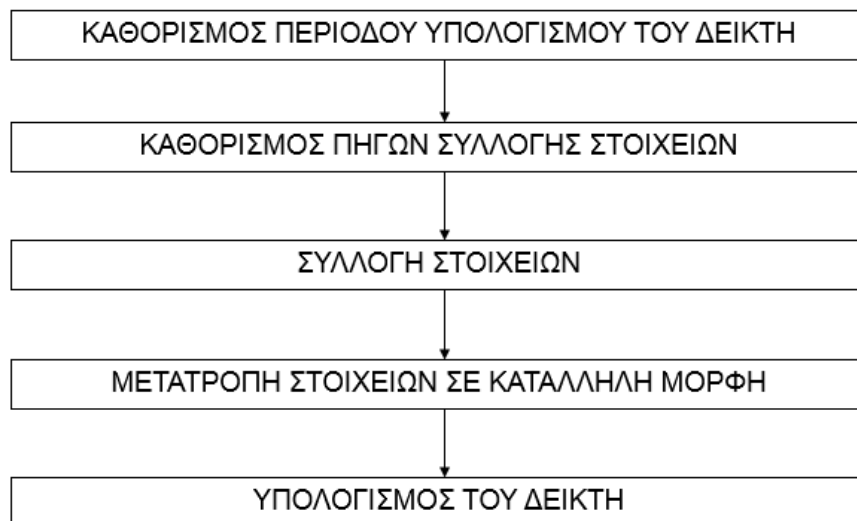
Ο ΕΕΟΙ ή αλλιώς η ετήσια κατανάλωση καυσίμου διαιρούμενη με το μεταφορικό έργο, μπορεί να θεωρηθεί ως η μέση ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου στην πραγματική κατάσταση λειτουργίας του, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές ταχύτητες, το βύθισμά του, το εμπόρευσμά του σε μετρικούς τόνους, τη διανυόμενη απόσταση και τις επιβαρύνσεις του κύτους και των μηχανών του αναλόγως με τις καιρικές συνθήκες (Κουλούρης, 2014).

Ο δείκτης ΕΕΟΙ, οι μέθοδοι και οι πρακτικές του σχεδιάστηκαν αρχικά για λόγους πολιτικής, όπως αποδεικνύεται από την πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής να απαιτηθεί από τα πλοία που υπερβαίνουν τα 5.000 GT να παρακολουθούν και να αναφέρουν την επιχειρησιακή τους ενεργειακή απόδοση από το 2018 σε όλα τα δρομολόγια από και προς τα λιμάνια της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU-MRV regulations).

Ήδη αρκετές ναυτιλιακές εταιρείες έχουν ξεκινήσει να χρησιμοποιούν τα εν λόγω συστήματα παρακολούθησης με ορίζοντα ότι τα συστήματα ενεργειακής απόδοσης θα επεκταθούν σε παγκόσμια κλίμακα. Υπό το φως αυτής της δυνητικής νομοθεσίας, οι πλοιοκτήτες και οι ενώσεις τους προσπαθούν να κατανοήσουν καλύτερα τους οδηγούς του επιχειρησιακού δείκτη ενεργειακής απόδοσης (ΕΕΟΙ), προκειμένου να προετοιμαστούν για μελλοντικές περιβαλλοντικές ρυθμίσεις.

Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (ΕΕΟΙ)

Στάδια Εφαρμογής



Πηγή: Ρεμούνδος (2011) Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις της Λειτουργίας των Πλοίων

Ο δείκτης ΕΕΟΙ είναι το λειτουργικό ισοδύναμο του ΕΕΔΙ, ο οποίος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου κατά τη φάση του σχεδιασμού. Μόλις το πλοίο σχεδιαστεί και ναυπηγηθεί, ο ΕΕΟΙ χρησιμοποιείται προκειμένου να επικυρωθεί ο ΕΕΔΙ και να γίνει παρακολούθηση της σχετικής ενεργειακής απόδοσης (βελτιώσεις και υποβαθμίσεις) κατά τη διάρκεια της επιχειρησιακής ζωής του πλοίου (Environmental Reporting Calculations, 2013).

Ο ΕΕΟΙ στην πραγματικότητα υπολογίζεται από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά μεταφορικό έργο, όχι από την κατανάλωση καυσίμου ανά απόσταση. Αυτή είναι η βασική εξίσωση:

ΕΕΟΙ: εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα /μεταφορικό έργο = (συντελεστής κατανάλωσης καυσίμου x συντελεστής c) / (φορτίο x απόσταση)

$EEOI = \frac{\text{Fuel}_{consumed} \cdot c_{Carbon}}{\text{Cargo}_{transported} \cdot \text{Distance}_{sailed}}$					Type of fuel	C (t-CO ₂ /t-Fuel)
					MDO/MGO	3.206000
Light Fuel Oil (LFO)	3.151040					
Heavy Fuel Oil (HFO)	3.114400					
LNG	2.750000					

Voyage or day	Fuel consumption (FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel Type				Cargo (tons)	Distance (nm)
	HFO RME - RMK	LFO RMA-RMD	MGOMDO DMX - DMC	LNG		
1	20	5			25,000	300
2	20	5			0	300
3	50	10			25,000	750
4	10	3			15,000	150

$$EEOI = \frac{100 \times 3.114 + 23 \times 3.151}{(25,000 \times 300) + (0 \times 300) + (25,000 \times 750) + (15,000 \times 150)} = 13.47 \times 10^{-6} \text{ tons CO}_2/(\text{tons} \cdot \text{nm})$$

Πηγή: Σημειώσεις μαθήματος Τεχνολογική απόδοση πλοίου (Ε. Τζαννάτος σελ. 157)

Μια χαμηλή τιμή για τον δείκτη ΕΕΟΙ δείχνει καλύτερη ενεργειακή απόδοση, επειδή υπάρχουν λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά μεταφορικό έργο. Η ιδέα είναι ότι εάν ένα πλοίο που μεταφέρει άδεια εμπορευματοκιβώτια έρματος ή είναι άφορτο, η ενεργειακή αποδοτικότητα του θα είναι χειρότερη (υψηλότερη) από ένα πλοίο που είναι πλήρως φορτωμένο.

Το μεγάλο εύρος τιμών του δείκτη ΕΕΟΙ είναι αναλόγως πως κατηγοριοποιείται το φορτίο. Το φορτίο υποτίθεται ότι είναι κατηγοριοποιημένο σε μονάδες που είναι κατάλληλες για το είδος της εργασίας του πλοίου που κάνει. Έτσι, για δεξαμενόπλοια και πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, η μέτρηση γίνεται σε τόνων φορτίου. Για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, μπορεί να είναι σε τόνους φορτίου, αλλά μπορεί επίσης να είναι ο αριθμός των μεταφερόμενων εμπορευματοκιβωτίων, ή ο αριθμός των φορτωμένων εμπορευματοκιβωτίων που μεταφέρονται. Τα επιβατηγά πλοία μπορούν να είναι ο αριθμός των επιβατών. Στα Ro-Ro θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ο αριθμός των αυτοκινήτων κοκ.

Προφανώς, υπάρχει ένα πρόβλημα, όταν το βάρος του φορτίου έχει οριστεί σε 0, όπως συμβαίνει συχνά σε Ballast ταξίδια. Αυτό γιατί τότε δεν μπορεί να γίνει η διαίρεση και να υπολογιστεί ο δείκτης ΕΕΟΙ καθώς ο παρονομαστής είναι 0 (IMO, 2009).

Όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα, ο δείκτης EEDI χρησιμοποιείται στα αρχικά στάδια και κατά την διάρκεια της ναυπήγησης του πλοίου, ενώ το SEEMP και ο δείκτης EEOI κατά την λειτουργία του πλοίου.



Πηγή: Captain Sukhjit Singh, 2017, International Guideline and introduction to EEDI, SEEMP & EEOI.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ VOYAGE OPTIMIZATION

2.1. Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ VOYAGE OPTIMIZATION

Μέσα από μελέτη των P&I clubs, εκατοντάδες ζωές ναυτικών εκτίθενται καθημερινά σε κίνδυνο λόγω των άσχημων καιρικών συνθηκών που επικρατούν στις ανοιχτές θάλασσες και περίπου 5000 containers χάνονται στη θάλασσα κάθε χρόνο. Ειδικότερα, το 2007 υπολογίστηκε ότι περίπου το 40% των δρομολογίων στην αγορά των εμπορευματοκιβωτίων είχαν μέσο όρο καθυστέρησης παράδοσης πάνω από μια μέρα (Chen H., 2009). Για τον λόγο αυτό πολλοί πλοιοκτήτες, ναυλομεσίτες και operators ψάχνουν τον βέλτιστο τρόπο και δίνουν έμφαση στο να μειώσουν το κόστος λειτουργίας του ταξιδιού και κατ' επέκταση να μειώσουν τα αέρια που διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα και να βελτιώσουν το ανθρακικό αποτύπωμα του караβιού. Μελέτη από τον IMO (MEPC58/INF.21), ανέδειξε την συμβολή των weather routing companies στο 2-4% της μείωσης της κατανάλωσης των καυσίμων του караβιού, αλλά επίσης και την σημασία της διαχείρισης της ταχύτητας (speed management) και της καθημερινής παρακολούθησης του στόλου μέσω διαδικτυακών συστημάτων (web-fleet monitoring).

Η βελτιστοποίηση του ταξιδιού του πλοίου είναι ένας από τους κύριους στόχους μιας ναυτιλιακής εταιρείας προκειμένου να είναι οικονομικά ανταγωνιστική. Η κύρια ανάγκη που ωθεί τις εταιρείες προς αυτή την κατεύθυνση, είναι η λειτουργική απόδοση του πλοίου από πλευράς κόστους, και να είναι όσο το δυνατόν πιο ενεργειακά αποδοτικό και ασφαλή κατά τη διάρκεια κάθε ταξιδιού κατά τη διάρκεια της ζωής του.

Το συνεχές δίλημμα των operators είναι μεταξύ ενός ταξιδιού με το λιγότερο κόστος και ενός ταχύτερου ταξιδιού (δηλαδή εξοικονόμηση κόστους έναντι εξοικονόμησης χρόνου). Ελάχιστου κόστους, εννοούμε ότι μπορούμε να μειώσουμε σημαντικά το συνολικό κόστος για ένα συγκεκριμένο ταξίδι εάν το πλοίο ταξιδεύει με χαμηλότερη ταχύτητα από το συνηθισμένο. Δηλαδή, το πλοίο θα εξοικονομήσει το κόστος των καυσίμων καταναλώνοντας

λιγότερα ωστόσο θα φθάσει στο προορισμό κάποιες ώρες, ενδεχομένως και κάποιες μέρες αργότερα. Επομένως, αυτή η καθυστέρηση ενδεχομένως να έχει αντίκτυπο στην επόμενη ναύλωση του πλοίου.

Ταχύτερο ταξίδι εννοούμε ότι το πλοίο θα φτάσει στον προορισμό του πιο γρήγορα, θα έχει περισσότερες μέρες λειτουργίας και ενδεχομένως αυτό να το βοηθήσει για μελλοντικά ναύλα καθώς το πλοίο θα βρίσκεται διαθέσιμο πιο γρήγορα και πάλι στην αγορά. Το προφανές μειονέκτημα είναι η υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου και, συνεπώς, το υψηλότερο κόστος καυσίμων(Θεοδοσίου-Αργυρόπουλος, 2005).

Όμως μια απλή εντολή για τη μείωση της ταχύτητας είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί στον κλάδο της εμπορικής ναυτιλίας, η οικονομία της οποίας εξαρτάται εν μέρει από τους γρήγορους και ακριβείς χρόνους διέλευσης. Επιπλέον, λόγω της αυστηρής διοικητικής μέριμνας των σύγχρονων λιμένων και της σύνδεσης των επίγειων μεταφορών, ένα πλοίο που φθάνει με καθυστέρηση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικό πρόσθετο κόστος και σε αλυσιδωτές καθυστερήσεις της παράδοσης του προϊόντος στον τελικό παραλήπτη, πράγμα που εμποδίζει αποτελεσματικά την εξοικονόμηση καυσίμων. Για αυτό τον λόγο στη σύγχρονη ναυτιλία χρησιμοποιούνται προγράμματα με προηγμένη αυτοματοποιημένη βελτιστοποίηση των λειτουργιών του πλοίου τα οποία προσφέρουν έξυπνη διαχείριση ταχύτητας και διαδρομών, η οποία μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου και τις σχετικές εκπομπές, διατηρώντας ταυτόχρονα τον ίδιο συνολικό χρόνο διέλευσης.

Ο προγραμματισμός ταξιδιού υποστηρίζεται από συστήματα δρομολόγησης και μετεωρολογίας σε μεγάλο αριθμό πλοίων σήμερα. Οι μετεωρολογικές και ωκεανογραφικές πληροφορίες καθώς και τα χαρακτηριστικά του πλοίου και οι πληροφορίες δρομολόγησης παρέχουν τη βάση για τη βελτιστοποίηση κάθε ταξιδιού. Ανάλογα με τις απαιτήσεις του χειριστή του πλοίου και της ναυτιλιακής επιχείρησης, ο κύριος στόχος μπορεί να είναι η βελτιστοποίηση του ταξιδιού του πλοίου όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση, τη διάρκεια του ταξιδιού, την ασφάλεια ή τους συνδυασμούς αυτών των πτυχών. Σε περίπτωση ευέλικτης ώρας άφιξης, πρέπει να επιλυθεί ένα ελάχιστο χρονικό ή ελάχιστο πρόβλημα βελτιστοποίησης του συνολικού κόστους. Συχνά, όμως, είναι υποχρεωτική μια καθορισμένη ώρα άφιξης, ενώ ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί το κόστος των καυσίμων. Εκτός από τους χρο-

νικούς περιορισμούς, οι περαιτέρω περιορισμοί περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά του πλοίου, τα θέματα ασφάλειας και τις γεωγραφικές συνθήκες, οι οποίες είναι κυρίως περιορισμοί στη δρομολόγηση που οφείλονται στην στεριά, ρηχά νερά, παγόβουνα, ή περιορισμούς ασφαλούς διέλευσης (safety zones) . Τα χαρακτηριστικά του πλοίου θεωρούνται ως επί το πλείστον από ένα υδροδυναμικό μοντέλο που αντικατοπτρίζει τη συμπεριφορά και τις αποκρίσεις του πλοίου, το προφίλ ταχύτητας και την κατανάλωση καυσίμων ανάλογα με τον άνεμο, τα κύματα, τρέχουσες και άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες (Banks και συν., 2013).

Ένα πλοίο δεν καταναλώνει λιγότερα καύσιμα όταν ταξιδεύει με σταθερή ταχύτητα κατά μήκος της μικρότερης διαδρομής υπό συνθήκες περιβαλλοντικών συνθηκών. Η ταχύτητα του πλοίου επηρεάζεται από την ισχύ του κινητήρα καθώς και από την προστιθέμενη αντίσταση που μπορεί να οδηγήσει σε ακούσιες μειώσεις ταχύτητας, ενώ οι εκούσιες μειώσεις ταχύτητας στοχεύουν στην αύξηση της ασφάλειας και στην μείωση του κόστους . Επομένως, οι περιορισμοί μπορεί να αφορούν τη μέγιστη διαθέσιμη ισχύ του κινητήρα ή τους περιορισμούς ταχύτητας. Εκτός από το ίδιο το πλοίο οι καιρικές συνθήκες έχουν μεγάλο αντίκτυπο. Μπορούν να χαρακτηρίζονται ως σταθερές (constant) ή στοχαστικές (stochastic). Οι τελευταίες λαμβάνονται με την εξέταση όχι μόνο των προβλέψεων αλλά και της ανάλυσης ιστορικών δεδομένων, με βάση τα πιθανά σφάλματα πρόβλεψης (Aldous et. al, 2013).

Οι σταθερές καιρικές συνθήκες, αντίθετα, μπορούν να αναφέρονται είτε στην πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών, είτε στην υιοθέτηση των προβλεπόμενων δεδομένων ως αληθινών δεδομένων για κάθε θέση στην αντίστοιχη ώρα διέλευσης. Επιπλέον, οι απαιτήσεις ασφάλειας, όπως τα μέγιστα επιτρεπόμενα ύψη κύματος ή οι κρίσιμες περιόδους και οι γωνίες συναντήσεων, είναι καθοριστικής σημασίας για την αποφυγή κρίσιμων συμβάντων, όπως η βίαιη σύγκρουση με τα κύματα (slamming) ή η παραμετρική κύλιση (parametric rolling) (Aldous et. al, 2013).

2.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ VOYAGE OPTIMIZATION

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την λειτουργία και την αποδοτικότητα του πλοίου και κατ' επέκταση την βέλτιστη καθοδήγησή του. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να χαρακτηριστούν σε α) περιβαλλοντικοί /κλιματολογικοί, β) τεχνολογικοί και γ) κοινωνικοί.

2.2.1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες οι οποίοι είναι σημαντικοί για την βέλτιστη δρομολόγηση του πλοίου είναι εκείνα τα στοιχεία της ατμόσφαιρας και των ωκεανών που μπορούν να προκαλέσουν αλλαγή στην κατάσταση της πλεύσης του πλοίου. Οι κυριότεροι παράγοντες είναι οι άνεμοι, τα κύματα, τα θαλάσσια ρεύματα, ατμοσφαιρικές πιέσεις και ο πάγος. Ενώ όλοι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι σημαντικοί για την επιλογή της διαδρομής, η βέλτιστη δρομολόγηση θεωρείται πετυχημένη εάν οι επιπτώσεις των ανέμων και των κυμάτων μπορούν να βελτιστοποιηθούν.

Άνεμος:

Η επίδραση των ανέμων στην απόδοση του πλοίου είναι δύσκολο να προσδιοριστεί. Παίζει πολύ σημαντικό ρόλο η κατεύθυνση και η ταχύτητά τους σε σχέση με την αντίστοιχη πορεία του πλοίου. Σε ανέμους κάτω των 20 κόμβων τα πλοία χάνουν ταχύτητα στους αντίθετους ανέμους, επηρεάζονται από τους πλευρικούς ανέμους αναλόγως την κατεύθυνσή τους και επιταχύνουν ελαφρώς στους ευνοϊκούς ανέμους. Για υψηλότερες ταχύτητες ανέμων, η ταχύτητα του πλοίου μειώνεται και επηρεάζεται τόσο στους αντίθετους όσο και στους ευνοϊκούς ανέμους. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη δράση των κυμάτων, η οποία ακόμη και στην ευνοϊκή περίπτωση έχει ως αποτέλεσμα την ολίσθηση (slip) και κατά συνέπεια την μείωση της πραγματικής ταχύτητας του πλοίου.

Είναι επίσης απαραίτητο να γνωρίζουμε το επίπεδο φόρτωσης του πλοίου. Οι ισχυροί άνεμοι θα έχουν μεγαλύτερη επίδραση σε ένα πλήρως φορτωμένο VLCC πλοίο και διαφορετική σε ένα πιο handysize αφόρτωτο πλοίο. Για αυτό τον λόγο η επίδραση του ανέμου και οι ακριβείς προβλέψεις είναι ζωτικής σημασίας για ένα επιτυχημένο ταξίδι (Townsin και συν., 1983).

Κύματα:

Τα κύματα αποτελούν τον βασικό παράγοντα που επηρεάζει την απόδοση του πλοίου και τον πιο δύσκολο στην πρόβλεψή του. Η εμφάνιση των θαλάσσιων κυμάτων είναι ένα αβέβαιο φαινόμενο. Δηλαδή, εάν εξετάζουμε μια συγκεκριμένη περιοχή της θαλάσσιας επιφάνειας, τα κύματα που διέρχονται από αυτή την περιοχή θα έχουν σίγουρα περιοδικό χαρακτήρα, αλλά η παράμετρος κάθε κύματος (εύρος, χρονική περίοδος, συχνότητα, ύψος κύματος και μήκος κύματος) θα κυμαίνεται σε τέτοιο ποσοστό που δεν μπορεί να προσδιοριστεί με οποιοδήποτε ακριβές μέτρο.

Για να το καταλάβουμε με ένα παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι ένα κύμα ύψους 10 μέτρων περνά μέσα από μια συγκεκριμένη περιοχή στην επιφάνεια της θάλασσας. Τότε σε αυτή την περίπτωση δεν μπορεί κανείς να είναι σίγουρος αν το επόμενο κύμα που διέρχεται από την ίδια περιοχή στην επιφάνεια της θάλασσας θα έχει το ίδιο ύψος. Αυτή η φυσική αβεβαιότητα από τη φύση των κυμάτων της θαλάσσιας επιφάνειας μας καθιστά σημαντικό να μελετήσουμε τα θαλάσσια κύματα με μια πιθανολογική και στατιστική προσέγγιση και όχι μια προσδιοριστική προσέγγιση (Bailey et. al, 2001).

Η δράση των κυμάτων είναι υπεύθυνη για την μεταβολή της κίνησης του πλοίου επιβαρύνοντας τις περιστροφές της προπέλας προκαλώντας αυξημένη ολίσθηση και ως αποτέλεσμα και την μη αποδοτική λειτουργία του πλοίου. Η σχέση της ταχύτητας του πλοίου με την κατεύθυνση του κύματος και το ύψος είναι παρόμοια με αυτή του ανέμου. Αντίθετα κύματα προς την κατεύθυνση του πλοίου μειώνουν την ταχύτητά του, ενώ με τα ευνοϊκά αυξάνεται η ταχύτητα του πλοίου ελαφρώς μέχρι κάποιο σημείο, πέρα από το οποίο το καθυστερούν και το επηρεάζουν. Επίσης κύματα με μεγάλη περίοδο και συχνότητα, έχουν μικρότερη επιρροή στην απόδοση του πλοίου σε σχέση με τα κύματα μικρής περιόδου τα οποία παρενοχλούν την ομαλή του πλεύση (Zakaria, 2007).

Αναλόγως με το μέγεθος του πλοίου υπάρχει και διαφορετική επίδραση. Τα μεγάλα εμπορικά πλοία (VLCCs, Suezmaxes κλπ.) λόγω του όγκου τους επηρεάζονται λιγότερο από το ύψος και την περίοδο των κυμάτων σε σχέση με τα μικρότερα. Όσο μικραίνει το μέγεθος, μικραίνει και το ποσοστό επιρροής. Λόγω της ποικιλομορφίας και της πολυπλοκότητας που έχουν, η ακριβής απόδοση και επιρροή των κυμάτων είναι δύσκολο να προβλεφθεί, ειδικά σε περιπτώσεις ακραίων καιρικών συνθηκών. Για αυτό τον λόγο αποτελεί τον πιο δύσκολο παράγοντα υπολογισμού και πρόβλεψης των πραγματικών συνθηκών που θα αντιμετωπίσει το πλοίο (Padhy C et. al, 2008).

Ωκεάνια ρεύματα:

Τα ρεύματα του ωκεανού δεν παρουσιάζουν σημαντικό πρόβλημα ως προς τον πρόβλεψή τους, αλλά μπορούν να αποτελέσουν καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή και την εκτροπή της διαδρομής. Τα ωκεάνια ρεύματα διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη διασφάλιση της σταθερότητας του πλοίου. Κατά συνέπεια, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των ρευμάτων στον χειρισμό του πλοίου. Οι συνέπειες του ρεύματος είναι σημαντικές, ιδίως όταν το πλοίο είναι υπό την επίδραση των παράκτιων ανέμων, κοντά σε πλατφόρμες, όταν κάνει ελιγμούς σε στενούς διαύλους και ανοιχτές θάλασσες ή λιμάνια. Όταν το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι και το ρεύμα είναι σε σταθερή δύναμη και κατεύθυνση, ο χειρισμός του πλοίου γίνεται πολύ πιο εύκολος.

Η κύρια διαφορά μεταξύ των θαλάσσιων ρευμάτων και των ανέμων είναι ότι τα ρεύματα επηρεάζουν το πλοίο με καθορισμένους και προβλέψιμους τρόπους, σε αντίθεση με τον άνεμο. Οι μόνες περιπτώσεις στις οποίες τα σημαντικότερα ρεύματα των ωκεανών μπορούν να διαταραχθούν για αρκετές ώρες είναι από πολύ έντονα καιρικά φαινόμενα και σε περίπτωση τυφώνων ή φαινομένων όπως το El Niño (Cai et. al, 2013).

Τα θαλάσσια ρεύματα είναι πολύ σημαντικά για την απόδοση του πλοίου. Στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχει ειδικός όρος στο ναυλοσύμφωνο ο οποίος καθορίζει ότι η ύπαρξη αντίθετων ρευμάτων αποτελούν ένδειξη «δυσμενών καιρικών συνθηκών» και κατ' επέκταση αφαιρούνται από την αξιολόγηση της απόδοσης του πλοίου.

Πάγος:

Το πρόβλημα του πάγου χωρίζεται σε δυο κατηγορίες: τα παγόβουνα και η παγωμένη θάλασσα. Στην πρώτη κατηγορία από πλευράς δρομολόγησης, είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνονται έγκαιρα και έγκυρα όλα τα δεδομένα πρόβλεψης της πορείας των παγόβουνων από τους παρόχους μετεωρολογικών δεδομένων. Λόγω όμως της δυσκολίας ανίχνευσής τους και των απρόβλεπτων αποκολλήσεων των παγόβουνων εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών εάν οι συνθήκες το επιτρέπουν, πρέπει να αποφεύγονται οι περιοχές παγόβουνων του Βορείου Ατλαντικού για να ελαχιστοποιηθεί το ενδεχόμενο σύγκρουσης με το πλοίο. Ο πάγος λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών και της παγωμένης θάλασσας μπορεί να είναι πιο δύσκολο να αντιμετωπιστεί από την άποψη της ασφαλούς διέλευσης του πλοίου. Όπως και με τους ανέμους και τα κύματα έχει μικρότερη επίδραση στα μεγάλα πλοία, αλλά προκαλεί σημαντικά προβλήματα με τη σταθερότητα των μικρών πλοίων.

Για να μπορέσει ένα πλοίο να πλεύσει σε περιοχές με παγωμένα νερά κατά την περίοδο των χειμερινών μηνών, πρέπει να έχει το απαραίτητο πιστοποιητικό (ice-class) από τον νηογνώμονα. Για την ασφαλή δρομολόγηση του πλοίου πρέπει να έχει οριστεί στο υδροδυναμικό μοντέλο του πλοίου η κλάση του και ο τρόπος κατασκευής του προκειμένου να γίνει η αντίστοιχη πρόβλεψη επίδρασης του πάχους του πάγου της θάλασσας στο πλοίο.

Η ναυπήγηση ενός πλοίου για να έχει ice class σημαίνει ότι η γάστρα είναι πιο παχιά και πρέπει να υπάρχουν περισσότερες σκαλωσιές στο κύτος του πλοίου (συσσωματώματα δοκών και διατοιχώματα που οδηγούν σε ισχυρότερη δομική ακεραιότητα). Τα ανοίγματα στο κύτος για την εισαγωγή θαλασσινού νερού (sea chests) μπορεί να χρειαστεί να ρυθμιστούν διαφορετικά ανάλογα με την κατηγορία για να μην μπλοκάρεται η εισροή ή εκροή νερού από τον πάγο. Επίσης, οι περισσότερες από τις ισχυρότερες κατηγορίες ice-class απαιτούν διάφορες μορφές προστασίας του πηδαλίου και της προπέλας (DNV, 2011).

2.2.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Λανθασμένα, σε πολλές αναλύσεις και υπολογισμούς δεν λαμβάνεται υπόψη η εξάρτηση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου και του ωφέλιμου φορτίου του πλοίου. Αυτό μπορεί να προκαλέσει σοβαρή υποεκτίμηση ή υπερεκτίμηση του κόστους των καυσίμων, επειδή η αντίσταση του πλοίου (λόγω του διαφορετικού βυθίσματος) και επομένως η κατανάλωση καυσίμου με δεδομένη ταχύτητα μπορεί να είναι δραστικά διαφορετική αν το πλοίο είναι γεμάτο, άδειο ή σε κατάσταση ενδιάμεσης φόρτωσης. Στα δεξαμενόπλοια και τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου έχουμε μια «δυαδική» κατάσταση, καθώς το πλοίο είναι συνήθως είτε γεμάτο είτε άδειο και η διαφορά στην κατανάλωση καυσίμου μεταξύ αυτών των δύο ακραίων συνθηκών μπορεί να είναι αρκετά σημαντική (Endresen et. al, 2007).

Για παράδειγμα ένα πλοίο VLCC (Very Large Crude Carrier) άφορτο έχει βύθισμα 8-10 μέτρα, ενώ φορτωμένο μπορεί να έχει βύθισμα από 15 μέχρι και 22,5 μέτρα. Αυτή η διακύμανση των 7,5 μέτρων είναι πολύ σημαντική για τον σωστό υπολογισμό της κατανάλωσης του πλοίου.

Η κατάσταση της γάστρας (hull) μπορεί επίσης να είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αντίσταση τριβής ενός πλοίου και, ως εκ τούτου, την κατανάλωση καυσίμου. Ένα «βρώμικο» κύτος από θαλάσσια φύκια και άλλους θαλάσσιους οργανισμούς θα συνεπαγόταν υψηλότερη αντίσταση (και επομένως κατανάλωση καυσίμου) από ένα καθαρό κύτος. Για αυτό το λόγο ο καπετάνιος και το πλήρωμα καταβάλλουν προσπάθειες (μέσω προστατευτικών χρωμάτων και καθαρισμού κύτους σε τακτά χρονικά διαστήματα) για τη διατήρηση ενός καθαρού κύτους (Majumbar et. al, 2008). Από γνώση μας, κανένα μοντέλο βελτιστοποίησης δεν λαμβάνει υπόψη αυτόν τον παράγοντα, όλοι υποθέτουν μια μέση κατάσταση γάστρας ή μέσω του δείκτη βασικής γραμμής κύτους (hull index baseline) προσπαθούν να εκτιμήσουν την κατάσταση του κύτους.

Παρόμοια με την κατάσταση της γάστρας, η συντήρηση, η αναβάθμιση και η βελτιστοποίηση της προπέλας αποτελούν πολύτιμες επιλογές για τον υπολογισμό της βέλτιστης πορείας και τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης του πλοίου. Η συντήρηση της έλικας περιλαμβάνει τον καθαρισμό, το γυάλισμα και την στίλβωση (polishing) της προπέλας.

Η αναβάθμιση συνεπάγεται την εγκατάσταση νέας προπέλας. Η βελτιστοποίηση της προπέλας συνεπάγεται το χειρισμό του βήματος της προπέλας ελεγχόμενου βήματος (Controllable Pitch) για την αύξηση της απόδοσης. Μελέτες έχουν δείξει ότι η στύλβωση της προπέλας μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου έως και 3%. Η στύλβωση μειώνει ουσιαστικά την απώλεια τριβής αλλά επίσης βοηθά στη μείωση της απώλειας περιστροφής (rotational loss). Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία μετρητών τάσεων προσφέρεται η δυνατότητα συνεχής μέτρηση της ροπής, της ισχύος, των στροφών του περιστρεφόμενου άξονα προπέλας και η μέτρηση της ώσης της προπέλας (Burger, 2007). Με αυτές τις πολύτιμες πληροφορίες δύναται να προσεγγιστεί η κατάσταση της προπέλας για τον υπολογισμό της βέλτιστης διαδρομής.

Επίσης, η βελτιστοποίηση του ευτρεπισμού (trim optimization) έχει αποκτήσει τεράστια δυναμική τα τελευταία χρόνια. Οι σύγχρονες τάσεις σχεδιασμού πλοίων απαιτούν μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων υδροδυναμικής γνώσης για ένα συγκεκριμένο πλοίο με βάση δοκιμές μοντέλων και εκτεταμένα επικυρωμένα αποτελέσματα υπολογιστικής δυναμικής ρευστού (CFD). Το πλήρωμα του πλοίου θα εισάγει απλώς την χωρητικότητα εκτόπισης (displacement tonnage), την επιδιωκόμενη μέση ταχύτητα και το μέσο βάθος νερό (Hansen and Freund, 2010). Το λογισμικό θα προτείνει την πιο οικονομικά αποδοτική περιποίηση, μαζί με την εξοικονόμηση σε σχέση με την «υποθαλάσσια απόσταση της καρίνας του πλοίου» (underwater keel clearance). Όταν πια έχει υπολογιστεί το βέλτιστο βύθισμα του πλοίου για το συγκεκριμένο ταξίδι, το πλοίο φορτώνεται αναλόγως και τα δεδομένα του συνυπολογίζονται στην διαδικασία εύρεσης της βέλτιστης πορείας. Έχει υπολογιστεί ότι το trim optimization μπορεί να επιφέρει έως και 3% καλύτερη κατανάλωση στο πλοίο (Reichel M., 2014).

Συχνά γίνονται λάθος υπολογισμοί για το έρμα (ballast water), οδηγώντας σε αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου εξαιτίας της φόρτωσης περιττού έρματος. Ως εκ τούτου, το έρμα θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο όταν είναι απαραίτητο και πρέπει να σχεδιαστεί προσεκτικά η ακριβής ποσότητα έρματος. Μελέτες έχουν δείξει ότι το ελάχιστο έρμα μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου κατά 0,11%. Ο IMO εργάζεται για τη βελτίωση των διαδικασιών για να αξιοποιηθεί το πλήρες δυναμικό του (Skjølsvik et al., 2000).

2.2.3. ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι κοινωνικοί παράγοντες είναι αυτοί οι οποίοι επηρεάζουν έμμεσα την ενεργειακή απόδοση του πλοίου. Τους ονομάζουμε "κοινωνικούς παράγοντες" αφού όλοι έχουν το χαρακτηριστικό ότι δημιουργούνται από την κοινωνία μας και όχι από τους νόμους της φυσικής. Επιγραμματικά οι παράγοντες είναι:

1. Κατάσταση της αγοράς
2. Ναυλοσύμφωνα
3. Περιοχές ECA
4. Πειρατεία

Κατάσταση της αγοράς: Όπως προαναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια ένα σημαντικό εμπόδιο στην επιδίωξη υψηλότερων κερδών για έναν πλοιοκτήτη είναι η ισορροπία μεταξύ περισσότερων ταξιδιών και κατά συνέπεια υψηλότερου εισοδήματος με μεγαλύτερη ταχύτητα και λιγότερα ταξίδια, επειδή το κόστος των καυσίμων είναι υψηλό. Αυτό συμβαίνει όταν το πλοίο είναι σε ναύλωση χρόνου (spot charter), το καύσιμο πληρώνεται από τον πλοιοκτήτη. Σε αυτή την περίπτωση ο ιδιοκτήτης θέλει να επωφεληθεί από τα υψηλά ναύλα φορτώνοντας όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φορτίο μέσα σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Αντίθετα, αν η αγορά είναι χαμηλή, τα πλοία τείνουν να μειώνουν την ταχύτητα, καθώς τα πρόσθετα έσοδα από την ανάληψη περισσότερου φορτίου είναι μικρότερα από το πρόσθετο κόστος του καυσίμου (Norstad et. al, 2011).

Οι διαφορετικές και μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς, επηρεάζουν έμμεσα τον καθορισμό της βέλτιστης πορείας. Για αυτό τον λόγο επιλέγεται και χωρίζεται η βέλτιστη πορεία αναλόγως την κατάσταση της αγοράς, ορίζοντας διαφορετικές επιλογές αναλόγως την εκτιμώμενη ώρα άφιξης του πλοίου (ETA).

Ναυλοσύμφωνα: Πολλοί όροι στα σημερινά ναυλοσύμφωνα δημιουργήθηκαν πριν τις δορυφορικές επικοινωνίες, GPS και τις ακριβείς προβλέψεις καιρού. Έτσι, δεν συμπεριλαμβάνονται στους όρους η κατεύθυνση του καιρού, αλλά ορίζεται ποσοτικά. Συνήθως, ως μέ-

ρες με «άσχημες καιρικές συνθήκες» ορίζονται αυτές που έχουν αέρα εντάσεως των 5 BF και άνω και ύψος κυμάτων άνω των 2 μέτρων. Υπάρχουν παραδείγματα πλοίων στα οποία έχει ζητηθεί να κάνουν εκτροπή της πορείας τους λόγω ύπαρξης «άσχημων καιρικών συνθηκών» ακόμα και εάν αυτές οι καιρικές συνθήκες έχουν κατεύθυνση που ευνοούν την ταχύτητα πλεύσης του πλοίου.

Αποτελεί πολύ μεγάλο πεδίο συζήτησης το πώς θα πρέπει να ορίζονται τα ναυλοσύμφωνα, αλλά δεν αποτελεί μέρος ανάλυσης στην παρούσα διπλωματική. Αυτό που τονίζεται με βεβαιότητα είναι ότι η υπάρχουσα ορολογία στα ναυλοσύμφωνα, εμποδίζει στην πλήρη εκμετάλλευση της τεχνολογίας βελτιστοποίησης των ταξιδιών ενός πλοίου.

Περιοχές ECA: Οι περιοχές ελέγχου των εκπομπών θείου, γνωστές και ως SECAs και ECA, ισχύουν από τον Αύγουστο του 2011. Αυτές οι ζώνες επί του παρόντος εκτείνονται περίπου 200 μίλια ανοιχτά από τις ακτές των Ηνωμένων Πολιτειών και του Καναδά, καθώς και γύρω από τη Χαβάη και τα νησιά της Καραϊβικής, την Βόρεια Ευρώπη γύρω από τη Βόρεια Θάλασσα και τη Βαλτική Θάλασσα. Η αύξηση της συνολικής απόστασης προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απόσταση μέσα στις περιοχές ECA αυξάνει το συνολικό χρόνο ταξιδιού και τη συνολική κατανάλωση καυσίμου, επομένως πρέπει επίσης να αξιολογείται το χρονοδιάγραμμα και το κόστος των καυσίμων. Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ο αριθμός που γίνεται η εναλλαγή από το εναλλακτικό καύσιμο στο συμβατικό καθώς υπάρχουν περιοχές ιδιαίτερα στον κόλπο του Μεξικού στις οποίες οι καπετάνιοι πρέπει να είναι πολύ προσεκτικοί με την τήρηση των 200 μιλίων ανοιχτά των ακτών.

Όπως προαναφέρθηκε, όταν μιλάμε για ενεργειακή απόδοση και εξοικονόμηση καυσίμων, μιλάμε πραγματικά για εξοικονόμηση χρημάτων. Έτσι, κοιτάζοντας το ζήτημα από την μια μεριά, οι περιοχές ECA μπορεί να οδηγήσουν ένα πλοίο για να πάρει μια μακρύτερη διαδρομή για να αποφύγει το υψηλότερο κόστος των καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, εντούτοις μπορεί να επιφέρουν άλλα έξοδα, τα οποία πρέπει να συνυπολογιστούν. Όπως θα δούμε και στην ανάλυση των ταξιδιών στο 5^ο κεφάλαιο, καταναλώνοντας περισσότερο LSMGO μπορεί να επιφέρει περισσότερο κέρδος λόγω της ταχύτερης άφιξης του πλοίου στον προορισμό του.

Πειρατεία: Ο κίνδυνος απόπειρας πειρατείας ενός πλοίου στη θάλασσα είναι μια πραγματική και αυξανόμενη απειλή που αντιμετωπίζουν τα πλοία. Ο κίνδυνος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η γεωγραφική περιοχή, το φορτίο, ο τύπος του σκάφους κ.λπ. Συνήθως τα πλοία αυξάνουν ταχύτητα στις περιοχές κινδύνου προκειμένου να αποφύγουν την απόπειρα επίθεσης. Εναλλακτικά, ένα πλοίο μπορεί να επιλέξει μια μακρύτερη διαδρομή για να αποφύγει την επικίνδυνη περιοχή, η οποία διαρκεί περισσότερο και καταναλώνει περισσότερα καύσιμα. Μια τρίτη επιλογή είναι να σταματήσει το πλοίο και να παραλάβει οπλισμένους φρουρούς και, στη συνέχεια, να τους αποβιβάσει αφού περάσει το πλοίο από τις περιοχές υψηλού κινδύνου. Αυτό προϋποθέτει επιπλέον κόστος (premium insurance) και περαιτέρω καθυστέρηση για την παραλαβή/αποβίβαση των φρουρών (Maku, 2015).

Κάθε μία από αυτές τις επιλογές περιλαμβάνει συμβιβασμούς όσον αφορά τον μετριασμό του κινδύνου και του ανάλογου κόστους καθώς και επηρεάζουν τον σχεδιασμό της κατάλληλης και βέλτιστης πορείας για το πλοίο

2.3. ΕΜΜΕΣΑ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Οι υπηρεσίες από την βελτιστοποίηση της δρομολόγησης του πλοίου (voyage optimization) εκτός από την μείωση στην κατανάλωση του πλοίου, παρέχουν πλεονεκτήματα τα οποία δεν μπορούν να αποτυπωθούν σε νούμερα και ποσοστά. Η προηγμένη βελτιστοποίηση του ταξιδιού αξιολογεί τις αντιδράσεις του πλοίου (ship motion response) με το συγκεκριμένο υδροδυναμικό μοντέλο για να προσομοιώσει τον τρόπο με τον οποίο αντιδρά το πλοίο με την εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης του πλοίου, πάνω στα εκάστοτε καιρικά φαινόμενα και τις εκάστοτε θαλάσσιες συνθήκες. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στο πλοίο να ταξιδεύει πάντα με ασφάλεια. Για αυτό τον λόγο, για παράδειγμα σε περίπτωση που το πλοίο αποφύγει έναν κυκλώνα, εκτός από τα καύσιμα και τις μέρες καθυστέρησης που θα εξοικονομήσει, αποφεύγει και την εκτεταμένη έκθεση του πλοίου σε κακές καιρικές συνθήκες και τις πιθανές ζημιές που θα μπορούσαν να προκύψουν, κάτι που είναι δύσκολο να αποτυπωθεί σε χρήματα και χρόνο.

Επίσης στις περιπτώσεις προσαρμογής της ταχύτητας αναλόγως την πορεία και τις καιρικές συνθήκες ή τις ECA zones, μπορεί να δοθεί η οδηγία στο πλοίο να μειώσει ή και να αυξήσει την ταχύτητά του για να αποφύγει δυσμενές καιρικές συνθήκες ή να γλιτώσει τα ακριβά πετρέλαια μέσα στις ECA zones. Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι γίνεται καλύτερη διαχείριση στην ταχύτητα του πλοίου (speed management) που έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη οικονομία των καυσίμων.

Η εξοικονόμηση αυξάνεται περαιτέρω με λιγότερες επισκευές έκτακτης ανάγκης, αποτελεσματικότερη χρήση του προσωπικού, βελτιωμένες συνθήκες εργασίας, χαμηλότερα ποσοστά ασφάλισης από τη δρομολόγηση μέσω μετεωρολογικών προβλέψεων και, τελικά, εκτεταμένη διάρκεια ζωής του πλοίου. Μια αποτελεσματική υπηρεσία δρομολόγησης μεγιστοποιεί την ασφάλεια μειώνοντας σημαντικά την πιθανότητα σοβαρής ή καταστροφικής βλάβης του πλοίου και τραυματισμού των μελών του πληρώματος. Η αποτελεσματικότητα και η υγεία του πληρώματος ενισχύεται επίσης με την αποφυγή των καιρικών συνθηκών.

ΕΝΟΤΗΤΑ 2^η

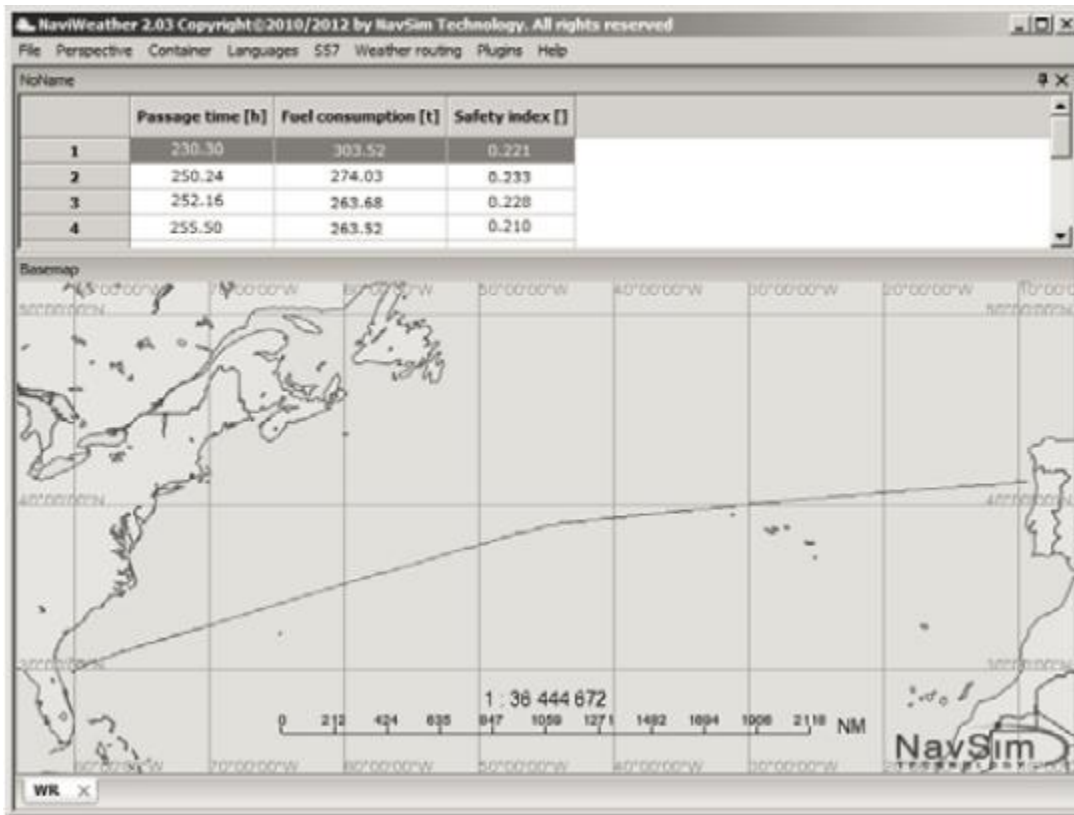
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ (CASE STUDIES) ΠΑΝΩ ΣΤΟ VOYAGE OPTIMIZATION

Πριν ξεκινήσουμε την περιγραφή της έρευνας που πραγματοποιήθηκε για αυτή την διπλωματική εργασία, είναι πολύ σημαντικό να αναδείξουμε μερικές από τις παλαιότερες έρευνες και αναλύσεις που έχουν γίνει πάνω στον τομέα του voyage optimization και στο post voyage analysis.

Η Joanna Szlapczynska με την ενδελεχή της έρευνα ανέδειξε την σημασία του voyage optimization μέσω του προγράμματος MOEA (MultiObjective Evolutionary Algorithms) και μετέπειτα MEWRA (Multicriteria Evolutionary Weather Routing Algorithm). Το MOEA ή MEWRA παρέχει μια μέθοδο αντιμετώπισης πολλαπλών και συχνά αντικρουόμενων κριτηρίων. Μαζί με την βασική εξελικτική προσέγγιση εφαρμόζονται στη συνέχεια στο πρόβλημα της εύρεσης διαδρομής πλοίων για μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες, που αναφέρονται ως δρομολόγηση μετεωρολογικών συνθηκών (Szlapczynska, χ.Χ) (Szlapczynska,2009). Στην συνέχεια και με την πάροδο των χρόνων το πρόγραμμα απέκτησε πρακτική μορφή

και σε διαδοχικά άρθρα παρουσιάζονται οι αναλύσεις και εξηγείται με πρακτικό τρόπο, ο τρόπος κατασκευής του βέλτιστου συνόλου διαδρομών Pareto (Szlapczynska J.,2013).



Πηγή: Szlapczynska J. (2013) Multicriteria Evolutionary Weather Routing Algorithm in Practice

Σε άρθρο του 2014 (Szlapczynska J., 2014), παρουσιάζεται μια σειρά βέλτιστων επιλογών για ένα ταξίδι σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο από Ρότερνταμ(Ολλανδία) για Μαϊάμι(ΗΠΑ) και από Πλίμουθ(Ηνωμένο Βασίλειο) για Αβάνα(Κούβα). Με την κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων από την πιο σύντομη διαδρομή στην πιο ασφαλή εμφάνιζε 72 επιλογές με συνολικής διαφοράς στην άφιξη του πλοίου 24 ωρών. Στο πρώτο ταξίδι η διαφορά μεταξύ συντομότερου ταξιδιού και ασφαλέστερου ταξιδιού ήταν 23,5 παραπάνω ώρες(7%), αλλά το ταξίδι ήταν πιο ασφαλές για το πλοίο κατά 11% περισσότερο σε σχέση με το κριτήριο ασφαλείας που είχε τεθεί.

Για το ταξίδι Πλίμουθ-Αβάνα τα καθορισμένα κριτήρια περιλαμβάνουν και τα τρία κριτήρια: το χρόνο διέλευσης, την κατανάλωση καυσίμου και τον δείκτη ασφαλείας. Επιλέχθηκαν 18 πιθανές διαδρομές με τις 3 καλύτερες διαδρομές να είναι:

1) Η πιο σύντομη διαδρομή: χρόνος διέλευσης 327,23 ώρες, κατανάλωση καυσίμου 206,16 mt και δείκτη ασφαλείας 0,832

2) Διαδρομή που εξασφαλίζει την υψηλότερη ασφάλεια (χρόνος διέλευσης 335,39 ώρες, κατανάλωση καυσίμου 211,30 mt και δείκτη ασφαλείας 0,876

3) Balanced route: χρόνος διέλευσης 328,62 ώρες, κατανάλωση καυσίμου 207,04 mt και δείκτη ασφαλείας 0,866

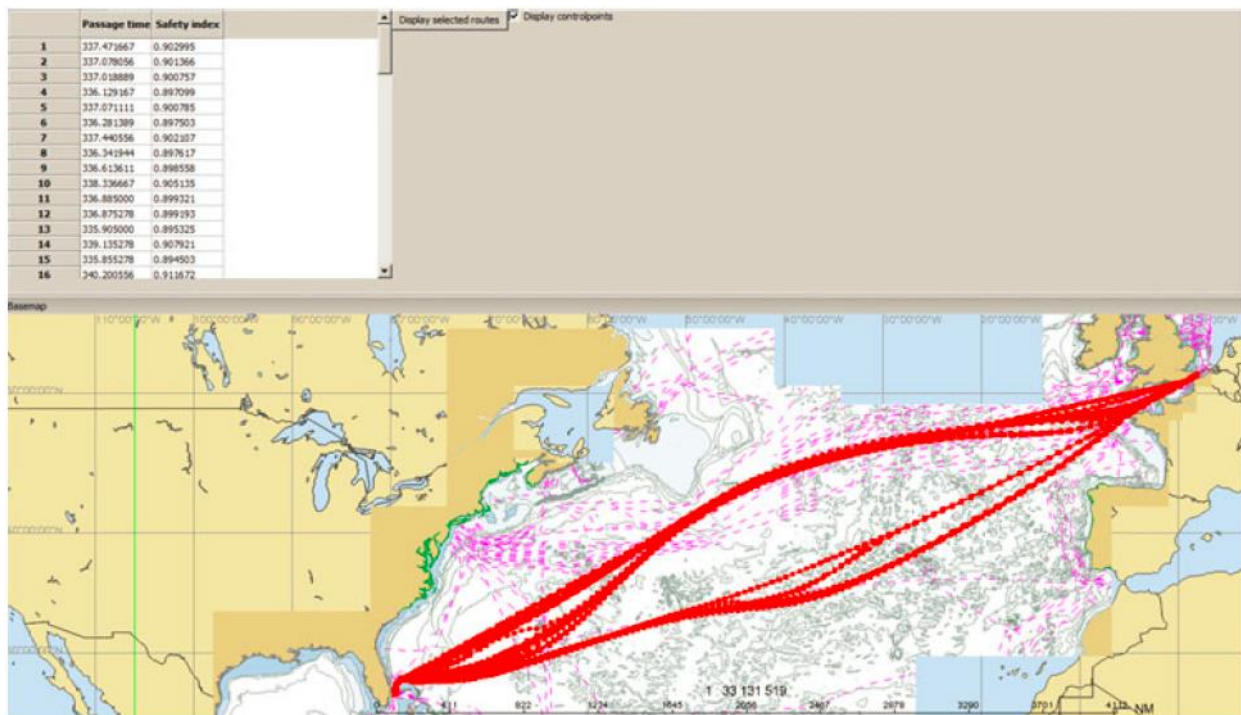


Figure 2. Pareto-optimal set of routes for Rotterdam-Miami voyage, departure 2013-09-27 00:00 am, along with the ranked list of routes.

Πηγή: Szlapczynska J. (2014): Multi-objective Weather Routing with Customized Criteria and Constraints

Ο Leon Adegeest (Adegeest L., 2008), χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα OCTOPUS περιγράφει μια μέθοδος για αξιόπιστο και ακριβή υπολογισμό των αποκρίσεων πλοίων σε σχέση

με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Στην συνέχεια επεξηγεί πως λειτουργεί το πρόγραμμα και επεξηγεί με διάγραμμα ροής πως μπορεί το OCTOPUS να χρησιμοποιηθεί σαν συμβουλευτικό εργαλείο για τον καπετάνιο πάνω στο πλοίο και ποια είναι τα κριτήρια επιλογής του.

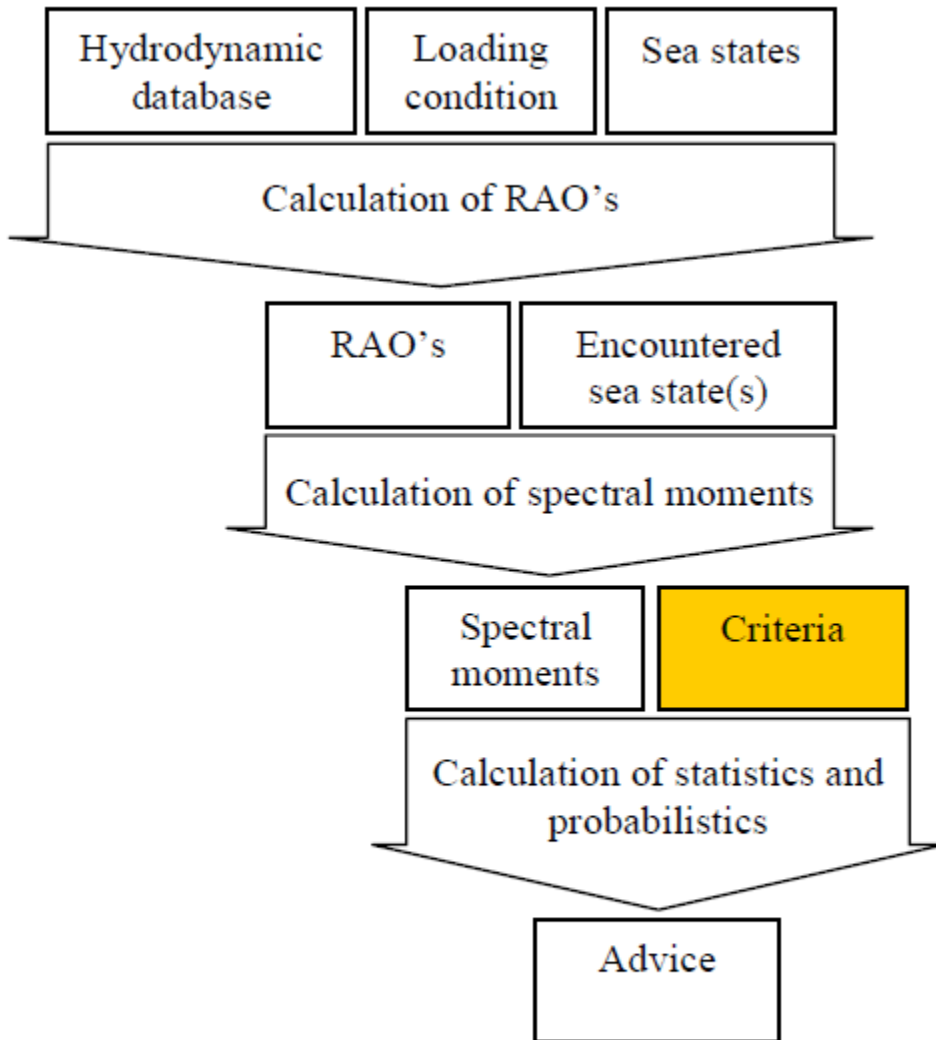


Figure 15: Analysis sequence for onboard decision support regarding safe and economic ship operation in waves.

Πηγή: Adegeest L.(2008): RESPONSE BASED WEATHER-ROUTING AND OPERATION PLANNING OF HEAVY TRANSPORT VESSELS

Ο Phil Ballou με τον Henry Chen (Ballou et. al, 2009), αρχιτέκτονα του προγράμματος VVOS το οποίο και θα αναλύσουμε στην συνέχεια και θα αποτελέσει το εργαλείο της έρευνας αυτής της διπλωματικής, προσομοίωσαν την διαδρομή Seattle(USA)- Nojima Saki (Japan) για ένα πλοίο κοντέινερ σε σύγκριση με μια τυπική διαδρομή ορθοδρομίας(Great Circle).

Στη συνέχεια το πρόγραμμα εμφάνισε τις επιλογές για τον ίδιο χρόνο άφιξης της πορείας ορθοδρομίας και της βέλτιστης επιλογής. Μετέπειτα, εμφάνισε τις βέλτιστες πορείες για περιπτώσεις α)διατήρησης σταθερής ταχύτητας, β)διατήρηση σταθερών στροφών στη μηχανή, γ)βελτιστοποίησης μόνο της ταχύτητας και τέλος δ)στη περίπτωση αρχικής επιτάχυνσης και επιβράδυνσης μέχρι το τέλος του ταξιδιού(μέθοδος sprint and loiter που περιγράψαμε προηγουμένως). Ο λόγος που παρουσιάστηκαν οι επιπλέον επιλογές είναι γιατί αποτελούν σύνηθες πρακτική των ναυλομεσιτών οι παραπάνω απαιτήσεις προκειμένου το πλοίο να ταξιδεύει σύμφωνα με το ναυλοσύμφωνο.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι για το ταξίδι των 9,5 ημερών το πλοίο εάν είχε ακολουθήσει τις συμβουλές του VVOS θα είχε εξοικονομήσει περίπου 12 τόνους πετρελαίου. Σε σχέση με την επιλογή της ορθοδρομίας. Παρακάτω στα γραφήματα φαίνονται αναλυτικά όλες οι επιλογές.

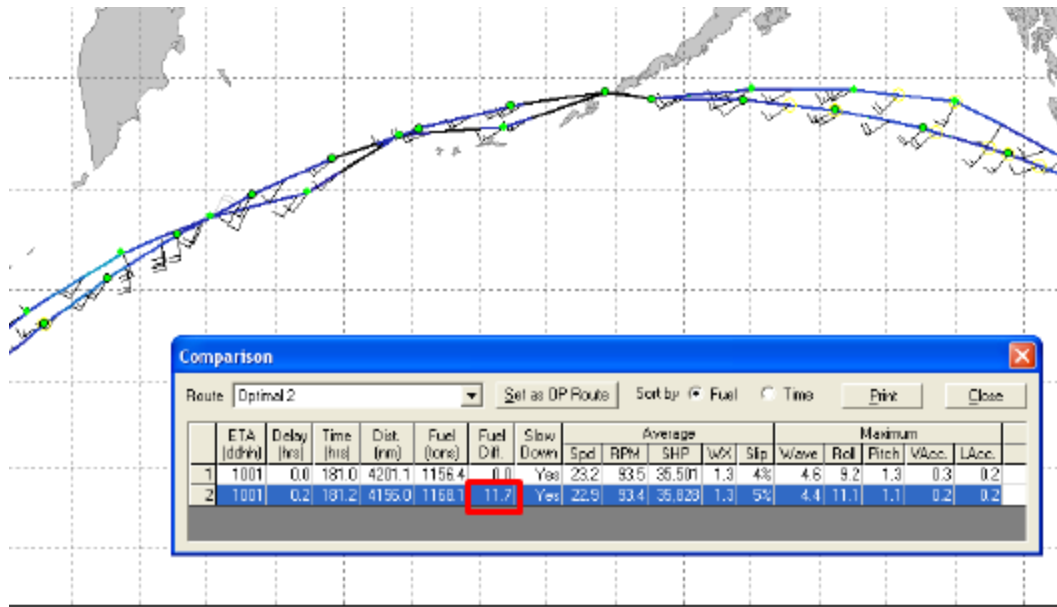


Fig. 4: VVOS screen comparing standard route and optimized route

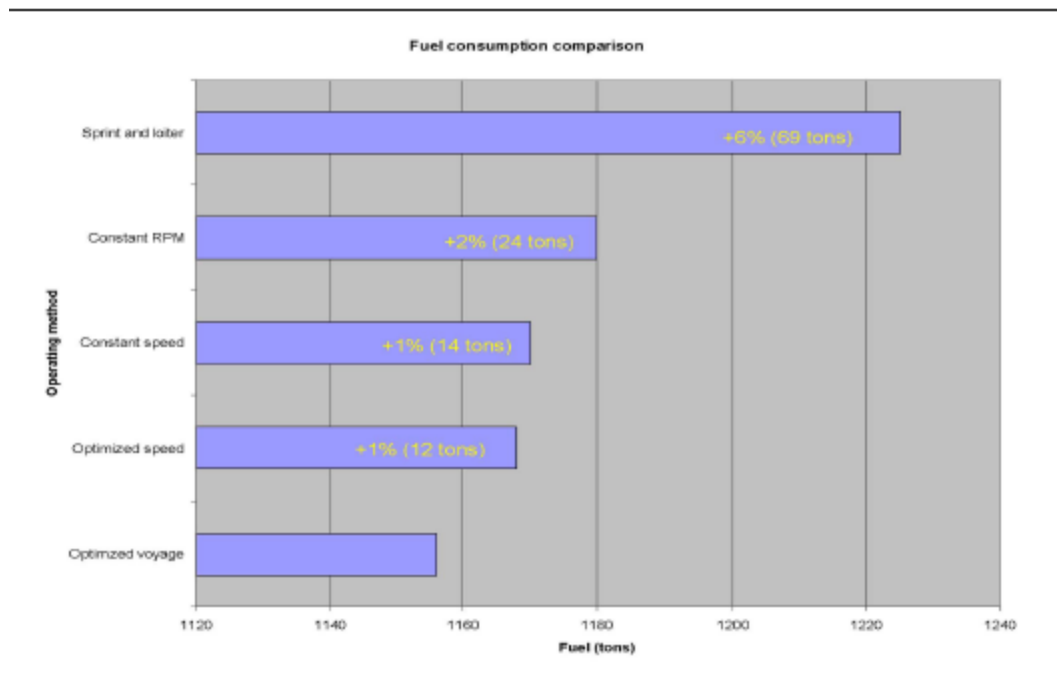


Fig. 5: Fuel consumption based on routing method for typical contain ship voyage from Seattle to Nojima Saki

Πηγή: Ballou P., Chen H., Horner J.D 2008: Advanced Methods of Optimizing Ship Operations to Reduce Emissions Detrimental to Climate Change. Oceans 08 Conference, 15-18 September 2008, MTS/IEEE Proceedings, Quebec City, Quebec (2008)

Θέλοντας να επεκτείνουν την έρευνα, προσομοίωσαν την διαδρομή Tokyo(Japan)-Long Beach(USA) και Long Beach-Tokyo για όλο το 2006 και το 2007. Το ταξίδι της κάθε προσομοίωσης ήταν διάρκειας 1 εβδομάδας, επομένως δημιουργήθηκαν 104 ταξίδια(52εβδομάδεςX 2 χρόνια) για την διαδρομή Long Beach-Tokyo και 103 ταξίδια για την διαδρομή Tokyo - Long Beach. Ο λόγος που επιλέχθηκε το ίδιο δρομολόγιο ήταν για να φανούν οι διαφορές ανά χρονική περίοδο μέσα στην χρονιά λόγω των διαφορετικών καιρικών μεταβολών.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ένα μέσο όρο εξοικονόμησης 6.3% (περίπου 52 μετρικούς τόνους πετρελαίου ανά ταξίδι) για το ταξίδι Long Beach-Tokyo και 3.7% (περίπου 30 μετρικούς τόνους πετρελαίου ανά ταξίδι) για το ταξίδι Tokyo - Long Beach. Ο τρόπος προσομοίωσης και τα κριτήρια επιλογής της συγκεκριμένης έρευνας, αποτέλεσαν την βάση της έρευνας που πραγματοποιήθηκε για την συγγραφή αυτής της διπλωματικής και θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

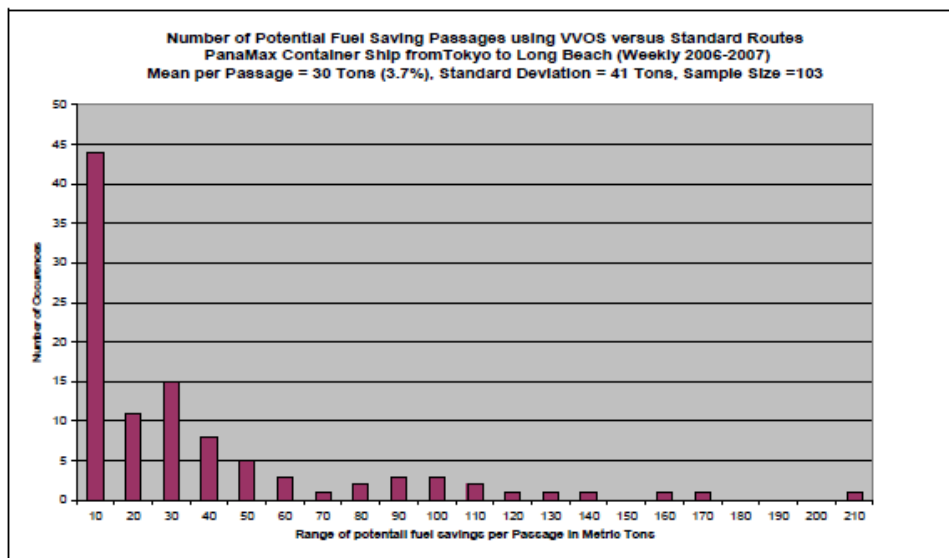
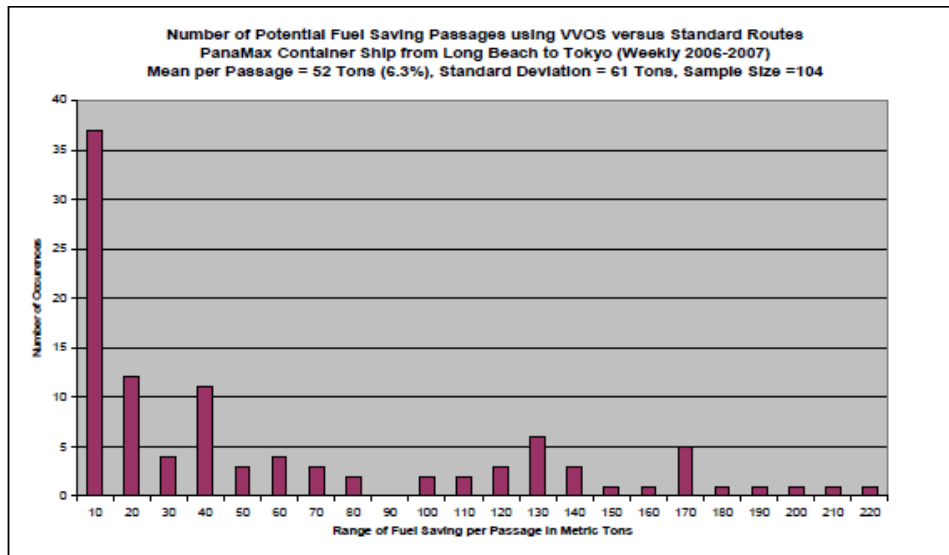


Fig. 8-9: Frequency of the magnitude of potential savings during a year of trans-Pacific passages

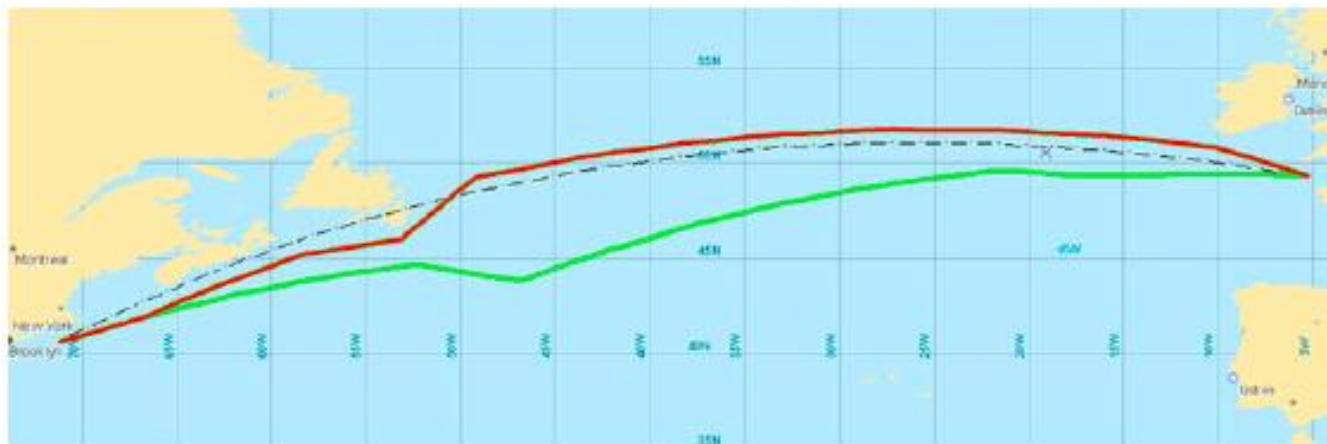
Πηγή: Ballou P., Chen H., Horner J.D 2008: Advanced Methods of Optimizing Ship Operations to Reduce Emissions Detrimental to Climate Change. Oceans 08 Conference, 15-18 September 2008, MTS/IEEE Proceedings, Quebec City, Quebec (2008)

Οι Wei Shao, Peilin Zhou και Sew Kait Thong (Shao et. al, 2011) παρουσίασαν μια έρευνα διαφορετική σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους δρομολόγησης (weather routing) που βελτιστοποιούν μόνο την κατεύθυνση του πλοίου και ορίζουν ως σταθερή καθ'όλη τη

διάρκεια του ταξιδιού την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα ή της προπέλας. Η μέθοδος τρισδιάστατης δυναμικής προγραμματισμού (3DDP) που παρουσίασαν λάμβανε υπόψη τόσο τις ρυθμίσεις ισχύος όσο και τον έλεγχο κατεύθυνσης του πλοίου και την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.

Για να συγκρίνουν την μέθοδο δισδιάστατης δυναμικής προγραμματισμού(2DDP), που χρησιμοποιείται από τα συμβατικά μέσα, με την τρισδιάστατη μέθοδο δυναμικής προγραμματισμού (three dimensions dynamic programming) δημιούργησαν ένα υποθετικό ταξίδι από την Χάβρη(Γαλλία) στην Νέα Υορκη (ΗΠΑ) και έκαναν προσομοίωση της πορείας και με τις δυο μεθόδους για την το ίδιο πλοίο, την ίδια χρονική περίοδο, με τις ίδιες καιρικές συνθήκες και με την ίδια ώρα άφιξης. Ως αποτέλεσμα, με την μέθοδο 3DDP το πλοίο έκανε 31,2 μίλια λιγότερα (1,1% διαφορά) και «έκαψε» 25,9 μετρικούς τόνους πετρέλαιο(3,1%) λιγότερο από την προσομοίωση με την μέθοδο 2DDP.

Στην παρακάτω εικόνα, η κόκκινη πορεία είναι αυτή που ακολούθησε η μέθοδος 3DDP και με το πράσινο η μέθοδος 2DDP.



Πηγή: (Shao et. al, 2011) Development of a novel forward dynamic programming method for weather routing

Οι Ιάπωνες E. Kobayashi, T. Asajima & N. Sueyoshi (Kobayashi et. al, 2011) την ίδια χρονιά παρουσίασαν μια μέθοδο που την ονόμασαν MMG-type και παρουσίασαν ένα μοντέλο που λαμβάνει υπόψη του πολλές μεταβλητές όπως η κλίση, η στροφή, η ώση και η ροπή της προπέλας, η δύναμη του πηδαλίου και η κατανάλωση καυσίμου. Επίσης οι κινήσεις ελιγμών επιλύονται με διαφορικές εξισώσεις κίνησης για κάθε στιγμή καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού.

Χρησιμοποίησαν ένα ταξίδι με πλοίο κοντέινερ μεταξύ Γιοκοχάμα(Ιαπωνία) και Σαν Φρανσίσκο (ΗΠΑ) για την ίδια χρονική περίοδο και προς τις δυο κατευθύνσεις. Σύγκριναν την συμβατική μέθοδο ορθοδρομίας (Great circle) με την μέθοδό τους και παρότι στο μεν ταξίδι από Γιοκοχάμα για Σαν Φρανσίσκο η επιλογή της μεθόδου τους ήταν 200 μίλια μακρύτερη, κατανάλωσε 50 τόνους πετρελαίου. Στη δε διαδρομή από Σαν Φρανσίσκο για Γιοκοχάμα, η διαδρομή ήταν 30 μίλια μακρύτερη και κατά 10 τόνους λιγότερη κατανάλωση.

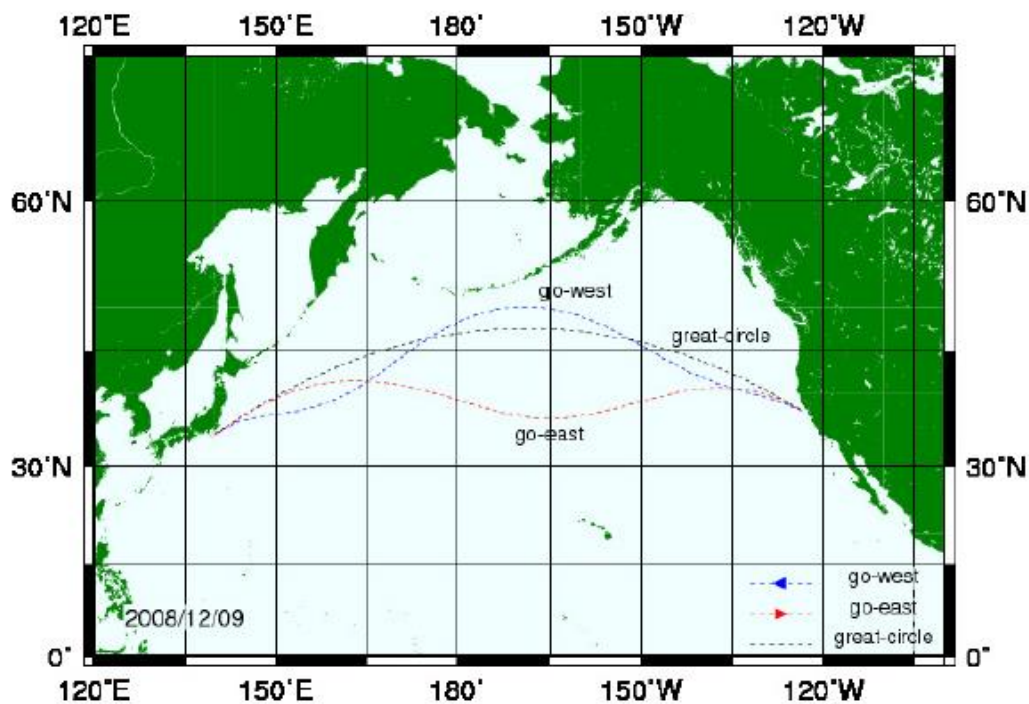


Figure 7. Optimized transportation routes between Yokohama San Francisco.

Πηγή: Kobayashi et. al, 2011: Advanced Navigation Route Optimization for an Oceangoing Vessel

Η εταιρεία Danaos κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το 2011 εξοικονόμησε 1,3 εκατομμύρια δολάρια από τα ναυλοσύμφωνα και 3,2 εκατομμύρια δολάρια από εξοικονόμηση καυσίμου με την χρησιμοποίηση του προγράμματος βελτιστοποίησης ORISMA στα 30 από τα 65 πλοία της εταιρείας. Με την χρήση του ORISMA η Danaos κατάφερε να βελτιστοποιήσει την συνολική αξιοποίηση του στόλου, προσφέροντας υψηλό βαθμό βελτιστοποίησης του προγραμματισμού, σχεδιασμό ευφυούς ταξιδιού και ανεφοδιασμού και την πλήρη ταυτοποίησή τους με τα ναυλοσύμφωνα(Βαρελάς-Αρχοντάκη, 2013).

Σε πολλές περιπτώσεις δίνεται η επιλογή μιας και μόνο διαδρομής στον καπετάνιο από τους operators χωρίς την δυνατότητα άλλης επιλογής. Μια σημαντική έρευνα για την επιλογή της βέλτιστης πορείας παρουσιάστηκε το 2015(Ruihua et. al, 2015). Σε αυτή την έρευνα επισημάνθηκε η σημασία να γνωρίζει ο καπετάνιος του πλοίου ποιες είναι οι βέλτιστες επιλογές που έχει αναλόγως με τους περιορισμούς που θέτει αυτός. Με την ενσωμάτωσή των επιλογών σε πρόγραμμα που θα βρίσκεται πάνω στο πλοίο, ο καπετάνιος θα μπορεί να αξιολογεί και να συγκρίνει τις επιλογές που έχει πριν την έναρξη του ταξιδιού.

Για να γίνει η έρευνα χρησιμοποιήθηκε μια τροποποίηση της μεθόδου Kwon (Kwon, 2008) με μοντελοποίηση προστιθέμενης αντίστασης που αναπτύχθηκε και περιλάμβανε μοναδικούς συντελεστές μείωσης της κατεύθυνσης, συντελεστές μείωσης ταχύτητας και συντελεστές μορφής πλοίου για συγκεκριμένο τύπο και μέγεθος πλοίου. Με αυτόν τον τρόπο εξασφάλιζαν την αποτελεσματική πρόβλεψη της λειτουργίας του πλοίου για δεδομένες καιρικές συνθήκες σε διαφορετικές ταχύτητες, βύθισμα πλοίου (draft), και γωνία κύματος(wave angle).

Στην συνέχεια επιλέγοντας την διαδρομή Chiba(Japan)-Los Angeles (USA) μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και μέσω της προσομοίωσης επιλέχθηκαν 5 πιθανές πορείες.

Διαδρομή α: Τυπική διαδρομή που προτείνεται από εταιρείες weather routing, με τον πιο ήπιο καιρό, δηλαδή αποφυγή των ακραίων καιρικών συνθηκών, (χαμηλός κίνδυνος να καταστραφεί το πλοίο ή / και το φορτίο του καταστρώματος του) και χαμηλή κατανάλωση καυσίμου.

Διαδρομή b: Επιλογή ορθοδρομίας (Great-Circle) – που συνεπάγεται η μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο λιμένων καθώς και η διαδρομή με το μικρότερο χρόνο πλεύσης.

Διαδρομή c: Η διαδρομή με τον λιγότερο πλευρικό καιρό

Διαδρομή d: Η διαδρομή με το χαμηλότερη κατανάλωση ανεξάρτητα από το χρόνο ταξιδιού.

Διαδρομή e: Η διαδρομή είναι η συχνότερα χρησιμοποιούμενη διαδρομή όπως έχει εκτιμηθεί από τα καθημερινά noon reports των πλοίων.

Όλες οι διαδρομές συγκρίνονται με την διαδρομή e και σύμφωνα με τα λεγόμενα της έρευνας, η καλύτερη διαδρομή ήταν αυτή που επιλέχθηκε με κριτήριο την χαμηλότερη κατανάλωση (διαδρομή d). Σύμφωνα με την προσομοίωση, το πλοίο έφτασε στον προορισμό του με διαφορά μιας ώρας σε σχέση με τις υπόλοιπες 3 (εξαιρουμένου της 5ης διαδρομής) και κατάφερε να επιτύχει την χαμηλότερη κατανάλωση χωρίς απαραίτητα να έχει τις καλύτερες καιρικές συνθήκες.

Table 5
Comparison of ship operational performance between the selected optimum routes and recorded route.

The encountered Beaufort Number (BN), Heading Direction with given departure date & time, loading condition and fixed average speed	Route a		Route b		Route c		Route d		Route e	
	BN	Direction	BN	Direction	BN	Direction	BN	Direction	BN	Direction
	5	Bow	5	Bow	5	Head	5	Bow	5	Bow
	5	Beam	5	Beam	5	Bow	5	Beam	7	Bow
	3	Bow	4	Bow	5	Bow	3	Bow	6	Head
	3	Beam	3	Beam	4	Beam	3	Beam	5	Head
	3	Beam	4	Beam	4	Beam	3	Beam	5	Head
	3	Beam	3	Beam	4	Bow	3	Beam	5	Head
	1	Head	1	Head	2	Head	1	Head	2	Bow
Voyage Duration (h)	367.7		366.1		368.5		367.3		392	
Main Engine Fuel Consumption (t)	555.5		558.3		580.4		554.9		623.5	
% of Fuel saving compared to Route e	10.90		10.46		6.91		11.01		0	

Πηγή: (Ruihua L. et. al, 2015): A semi-empirical ship operational performance prediction model for voyage optimization towards energy efficient shipping

Αυτή η έρευνα είναι ένα καλό παράδειγμα για την ανάλυση που θα κάνουμε στα επόμενα κεφάλαια, καθώς υποδηλώνει ότι η αποφυγή των «χειρότερων» καιρικών συνθηκών σε απόλυτους αριθμούς δεν σημαίνει απαραίτητα και καλύτερη λειτουργία του πλοίου ή χαμηλότερη κατανάλωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ VVOS

Όπως αναφέραμε στο τέλος του προηγούμενου κεφαλαίου, οι παραδοσιακές εταιρείες weather routing και τα προγράμματα που χρησιμοποιούν, λειτουργούν με βάση την αρχή της αποφυγής των ακραίων καιρικών συνθηκών. Ένα τυπικό σύστημα επιτρέπει στο χρήστη να σχεδιάζει μια διαδρομή χρησιμοποιώντας ένα σύνολο γενικών καμπυλών μείωσης της ταχύτητας (% μείωση της ταχύτητας ως συνάρτηση του αντίθετου ύψους κύματος, του πλευρικού και του ευνοϊκού) προκειμένου να αποφευχθούν καταιγίδες όπως απεικονίζεται από τα χαμηλά βαρομετρικά σε χάρτες επιφανειακής πίεσης.

Αυτό συμβαίνει γιατί συνήθως οι εταιρείες weather routing προσλαμβάνονται από τους ναυλομεσίτες. Με την σειρά τους οι ναυλομεσίτες προσπαθούν να ακολουθούν τις καιρικές συνθήκες που ορίζονται στο ναυλοσύμφωνο. Το σύνθημα στο ναυλοσύμφωνο είναι να ορίζονται ως μέρες με ακραίες καιρικές συνθήκες (bad weather days), οι μέρες στις οποίες υπήρχε αέρας πάνω από 5 BF, ή κύματα πάνω από 2 μέτρα, ή ο συνδυασμός και των δυο. Επομένως, ο ναυλομεσίτης προσπαθώντας να γλιτώσει ενδεχόμενες διεκδικήσεις λόγω χαμηλής απόδοσης του πλοίου (underperformance claim) προστάζει στις εταιρείες weather routing να αποφεύγουν τις «κακές» καιρικές συνθήκες, αγνοώντας την ανταπόκριση που έχει το σκάφος στον άνεμο και στα κύματα αναλόγως την κατεύθυνση.

Το πρόβλημα σε αυτές τις περιπτώσεις είναι ότι η προσέγγιση των αλγορίθμων που χρησιμοποιούν οι weather routing companies αγνοούν μια σημαντική παράμετρο: την διαχείριση της ταχύτητας (speed management). Όπως οι καταιγίδες εξελίσσονται πάνω στη θάλασσα, το πλοίο έχει την δυνατότητα να μειώσει ταχύτητα ή να επιταχύνει προκειμένου αποφύγει ή να προλάβει καταστάσεις, αντί να ακολουθεί μια διαφορετική πορεία που θα

χρειαστεί να διανύσει περισσότερα μίλια προκειμένου να αποφύγει τον καιρό. Με την επιλογή του speed management, όχι μόνο μειώνεται η κατανάλωση του καυσίμου για την συγκεκριμένη ώρα άφιξης, αλλά μειώνει και το ρίσκο της έκθεσης του πλοίου σε ακραίες καιρικές συνθήκες(Chen H., 2013).

Η δρομολόγηση του καιρού που δεν λαμβάνει υπόψη τις αποκρίσεις του πλοίου ή χρησιμοποιεί ένα γενικό μοντέλο πλοίου που αγνοεί τη φόρτωσή του (βύθισμα και GM) μπορεί να προκαλέσει από εκτεταμένες ζημιές στο κατάστρωμα του πλοίου, μέχρι απώλεια εμπορεύματος λόγω βαριάς παραμετρικής κύλισης, σύγκρουσης και μετατόπισης του μετάντρου. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με τον υπολογισμό των επιπέδων απόκρισης του πλοίου και των ορίων υπερφόρτισης του κινητήρα(Chen H., 2009).

Με την ενσωμάτωση της απόκρισης του πλοίου (seakeeping response) και την διαχείριση της ταχύτητας σε έναν προηγμένο αλγόριθμο βελτιστοποίησης δρομολόγησης μαζί με ακριβείς προβλέψεις ανέμου, κύματος και τρέχουσας κατάστασης μπορούν να αποφευχθούν οι άσκοπες παρεκτροπές και η έγκαιρη άφιξη του πλοίου στο λιμάνι να γίνει με ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου.

Περαιτέρω εξοικονόμηση κόστους μπορεί να επιτευχθεί με την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένης της εναλλαγής καυσίμων στη ζώνη ECA και της διαπραγμάτευσης του κόστους διαχείρισης φορτίου με πρόωρες ή καθυστερημένες αφίξεις(Chen H., 2013)

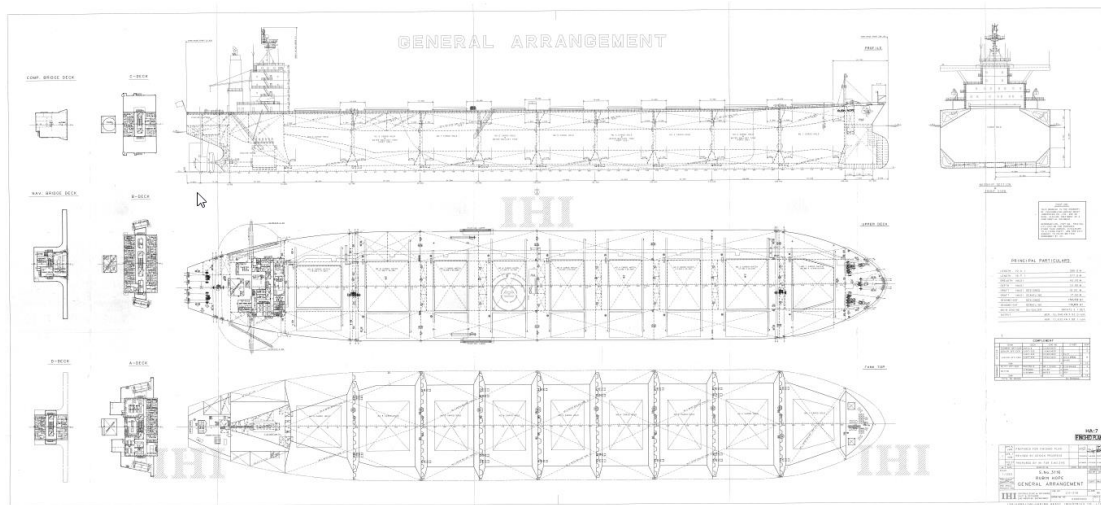
Η προηγμένη αυτοματοποιημένη βελτιστοποίηση της διαχείρισης του πλοίου προσφέρει έξυπνη διαχείριση ταχύτητας και επιλογή βέλτιστης πορείας, η οποία μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου και τις σχετικές εκπομπές αερίων, διατηρώντας ταυτόχρονα τον ίδιο συνολικό χρόνο διέλευσης. Σε ένα πρόγραμμα που αναπτύχθηκε από μια ομάδα μηχανικών με επικεφαλής τον Dr. Henry Chen, η ταχύτητα και η διαδρομή του πλοίου μπορούν να βελτιστοποιηθούν με βάση τον άνεμο, τα κύματα και τα ρεύματα, τις ατμοσφαιρικές πιέσεις, λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια απόδοσης του πλοίου όπως το σχήμα του σκάφους, η ιπποδύναμη, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου, τα στοιχεία του, οι θαλάσσιες δοκιμές του και άλλους παράγοντες. Το πρόγραμμα αυτό εξελίχθηκε μετά από περισσότερα από 20 χρόνια έρευνας και ανάπτυξης για να ονομαστεί Vessel

Voyage Optimization Solution (VVOS). Το πρόγραμμα VVOS ενσωματώνει τους προηγμένους αλγόριθμους βελτιστοποίησης ταξιδιού που περιλαμβάνουν το σχεδιασμό του κύτους του πλοίου, τα συστήματα πρόωσης και τα μοντέλα απόκρισης του πλοίου σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες, καθώς και τα καθορισμένα από το χρήστη όρια ασφαλούς λειτουργίας (Ballou et. al. 2008).

Για να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση του ταξιδιού πρέπει να γίνουν συγκεκριμένες ενέργειες προκειμένου να παρθεί το καλύτερο αποτέλεσμα. Καταρχήν, θα πρέπει να δημιουργηθεί το κατάλληλο υδροδυναμικό μοντέλο του καραβιού. Για να γίνει αυτό χρειάζονται τα απαραίτητα έγγραφα και πληροφορίες από την πλοιοκτήτρια εταιρεία με απώτερο σκοπό την βέλτιστη μοντελοποίηση του καραβιού. Είναι πολύ σημαντικό βήμα γιατί καθορίζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και των αντιδράσεων του πλοίου (ship motions) πάνω στις εκάστοτε καιρικές συνθήκες.

Οι υποχρεωτικές πληροφορίες που χρειάζονται για τον σχεδιασμό του υδροδυναμικού μοντέλου είναι:

Το general arrangement του πλοίου το οποίο μας δείχνει τις ακριβείς διαστάσεις του σε μήκος, πλάτος, βύθισμα, ύψος, χωρητικότητα, αριθμός αμπαριών, ο τρόπος σχεδιασμού του πλοίου και άλλες πληροφορίες.



Capesize bulk carrier General arrangement

Μετά προχωράμε στα έγγραφα όπου φαίνεται:

- 1) ο υδροδυναμικός σχεδιασμός της γάστρας και τα γραφήματα ευστάθειας του πλοίου (stability book)
- 2) ο σχεδιασμός της προπέλας (propeller curves)
- 3) το μετάκεντρο του πλοίου (GM)
- 4) τα χαρακτηριστικά της κυρίας μηχανής (main engine characteristics) και των ηλεκτρομηχανών (auxiliaries)
- 5) τα δοκιμαστικά ταξίδια του πλοίου πριν την παράδοσή του (sea & speed trials) και
- 6) πληροφορίες παλιών ταξιδιών που αφορούν στη συμπεριφορά του πλοίου και δείχνει την ταχύτητα και την κατανάλωση που είχε κατά την διάρκεια της ζωής του (historical data).

Επίσης, πολύ χρήσιμες είναι οι πληροφορίες σχετικά με τον εκάστοτε δεξαμενισμό του πλοίου γιατί με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εκτιμηθεί η κατάσταση της γάστρας του πλοίου και να αντικατοπτριστεί η διαφορά πριν και μετά τον δεξαμενισμό του πλοίου ως προς την συμπεριφορά του.

Με αυτές τις πληροφορίες, οι ειδικοί σε θέματα υδροδυναμικής μοντελοποίησης του πλοίου μπορούν να δημιουργήσουν το μοντέλο χρησιμοποιώντας αναλυτικές και εμπειρικούς τύπους (empirical formulation). Κάθε μορφής επαναπληρόρηση από τον καπετάνιο ή τον πρώτο μηχανικό του πλοίου βοηθούν στην όσο το δυνατόν λεπτομερέστατη μοντελοποίηση του πλοίου.

Λαμβάνοντας υπόψη όλες αυτές τις παραμέτρους και την αντικειμενική λειτουργία του πλοίου, την γεωγραφική θέση και τον χρόνο σε κάθε σημείο (waypoint) μπορούμε να παρέχουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα υπονοώντας την ολοκλήρωση της βελτιστοποίησης της

διαδρομής και της ταχύτητας. Ωστόσο, όλα τα σχέδια ταξιδιού είναι προβλέψεις με ποιότητα όχι μόνο εξαρτώμενη από την ακρίβεια του υδροδυναμικού μοντέλου του πλοίου και των προβλέψεων του καιρού αλλά και από την επιλογή μαθηματικού μοντέλου και αλγορίθμου.

Στην συνέχεια, πηγαίνοντας στο πρόγραμμα, γίνεται ενοποίηση με ηλεκτρονικούς χάρτες (ECDIS charts), τους ίδιους χάρτες που χρησιμοποιούν οι αξιωματικοί πάνω στο πλοίο. Με αυτό τον τρόπο απλοποιείται η διαδικασία και δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να έχει πρόσβαση στους ναυτικούς χάρτες την ώρα που σχεδιάζει την βέλτιστη πορεία, αποφεύγοντας επικίνδυνες περιοχές (piracy zones), ρηχά νερά, υφάλους ακόμα και παγόβουνα στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού.

Η βελτιστοποίηση της πορείας για να είναι επιτυχής πρέπει να έχει υψηλή ποιότητα πρόβλεψης του ανέμου, των κυμάτων και των συνδυασμών, των θαλασσιών ρευμάτων και άλλων σημαντικών καιρικών προβλέψεων. Στην περίπτωση του VVOS, το πρόγραμμα παρέχει την δυνατότητα μετεωρολογικής πρόβλεψης έως και 15 μέρες, με αυτόματη ενημέρωση δύο φορές την μέρα. Ο χάρτης υψηλής ευκρίνειας για τα θαλάσσια ρεύματα δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να τα εκμεταλλεύεται με τον βέλτιστο τρόπο.

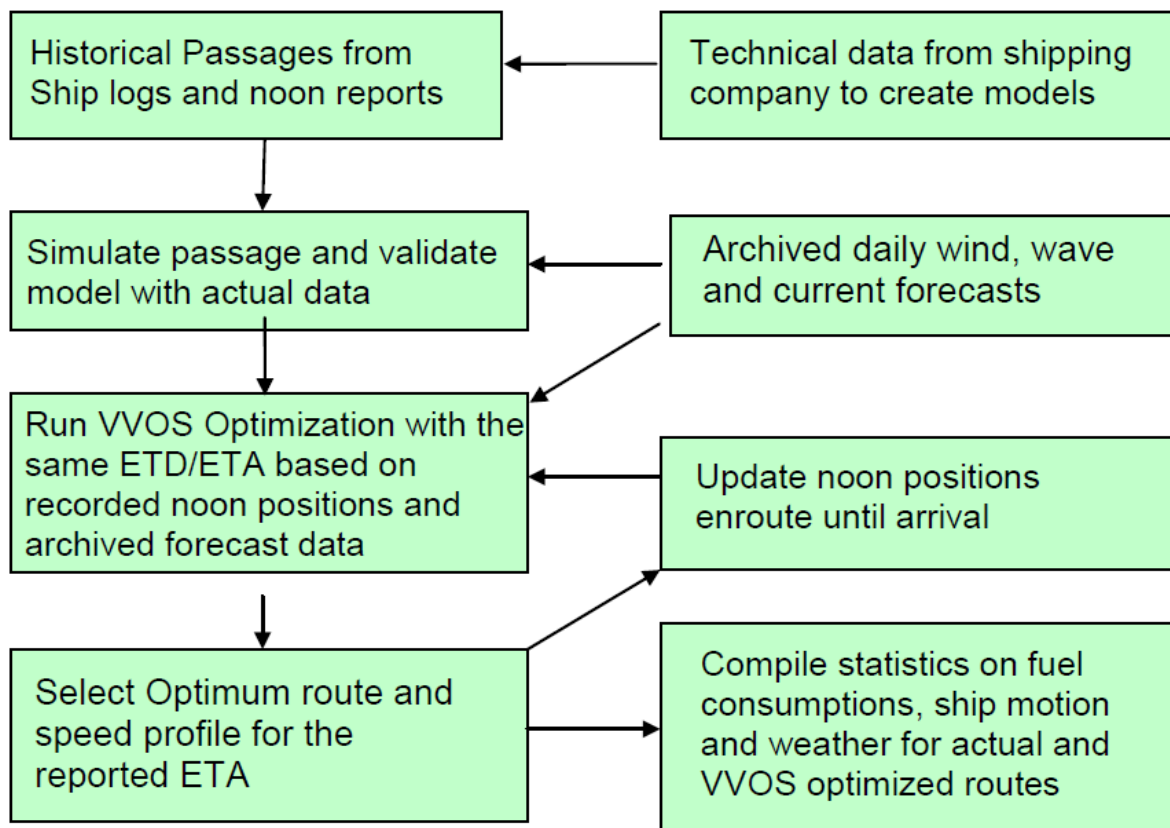
Η πρόβλεψη καιρού προέρχεται από τις Εθνικές Μετεωρολογικές Υπηρεσίες των Η.Π.Α. (NOAA), καθώς και από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προβλέψεων (ECMWF) και το Αμερικάνικο Ναυτικό (U.S. Navy).

Οι routing Captains έχοντας ήδη το υδροδυναμικό μοντέλο του πλοίου στα αρχεία τους, χρειάζονται από τον καπετάνιο του πλοίου τις παρακάτω πληροφορίες για να ξεκινήσουν τον βέλτιστο σχεδιασμό του ταξιδιού.

- Λιμάνι αναχώρησης
- Λιμάνι άφιξης
- Εκτιμώμενη ώρα άφιξης (ETA)
- Κατάσταση φόρτωσης του πλοίου (load condition)
- Βύθισμα (draft)
- Διαφορά πλώρης-πρύμνης εάν υπάρχει (trim)

- Συνιστώμενη ταχύτητα (ordered speed)
- Περιοχές που δεν πηγαίνει το πλοίο λόγω ναυλοσυμφώνου (no-go areas)

Γνωρίζοντας πλέον τις βασικές πληροφορίες του ταξιδιού οι routing Captains ξεκινάνε να κάνουν τον βέλτιστο σχεδιασμό του συνδυάζοντας ανώτερους αλγόριθμους βέλτιστης δρομολόγησης και το υδροδυναμικό μοντέλο με την απόδοση του με υψηλής ευκρίνειας μετεωρολογικές προβλέψεις για την ακριβή βελτιστοποίηση του κάθε δρομολογίου, διατηρώντας την ασφαλή πλεύση του πλοίου.



Διάγραμμα ροής των βημάτων εκτέλεσης του VVOS

Πηγή: Chen H., 2009. Voyage Optimization Supersedes Weather Routing

4.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΕ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΑ ΤΑΞΙΔΙΑ (POST VOYAGE ANALYSIS)

Στην συνέχεια της εργασίας, θα δείξουμε την μεθοδολογία με την οποία γίνεται βελτιστοποίηση και ανάλυση παλαιότερων ταξιδιών ενός караβιού για το οποίο η πλοιοκτήτρια εταιρεία (ελληνικών συμφερόντων) χρησιμοποίησε τις συμβατικές μεθόδους δρομολόγησης μέσω εταιρείες weather routing .

Στην συγκεκριμένη έρευνα διαλέξαμε 30 ταξίδια από 10 διαφορετικά δεξαμενόπλοια VLCC της ίδιας εταιρείας για την περίοδο 5 Νοεμβρίου του 2014 μέχρι 28 Νοεμβρίου του 2015. Καθ' όλη την διάρκεια της έρευνας χρησιμοποιήθηκε πρωτογενές και εμπιστευτικό υλικό από την πλοιοκτήτρια εταιρεία και για την βελτιστοποίηση των ταξιδιών έγινε η χρήση του προγράμματος VVOS (Vessel Voyage Optimization Solutions) που αναλύσαμε παραπάνω.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τα 30 ταξίδια επιλέχθηκαν από μια «δεξαμενή» 300 και πλέον ταξιδιών με βάση 3 κριτήρια.

1. Γεωγραφική κάλυψη των κυριότερων αγορών στο παγκόσμιο ναυτιλιακό εμπόριο αργού πετρελαίου
2. Επιλογή ταξιδιών με περιθώρια βελτίωσης: Για αυτό τον λόγο η πλειονότητα των ταξιδιών είναι υπερωκεάνια (transoceanic) και διάρκειας μεγαλύτερης των 7 ημερών. Έτσι αγνοήθηκαν ταξίδια σε περιοχές όπως η Βαλτική, η Μαύρη Θάλασσα, περιοχές με πειρατές που τα πλοία με βάση τους διεθνείς κανονισμούς πλέουν σε «κομβό» και πέρασμα από διώρυγες που δεν έχουν πολλά περιθώρια διαφορετικών επιλογών.
3. Επιλογή ταξιδιών με δύσκολες καιρικές συνθήκες

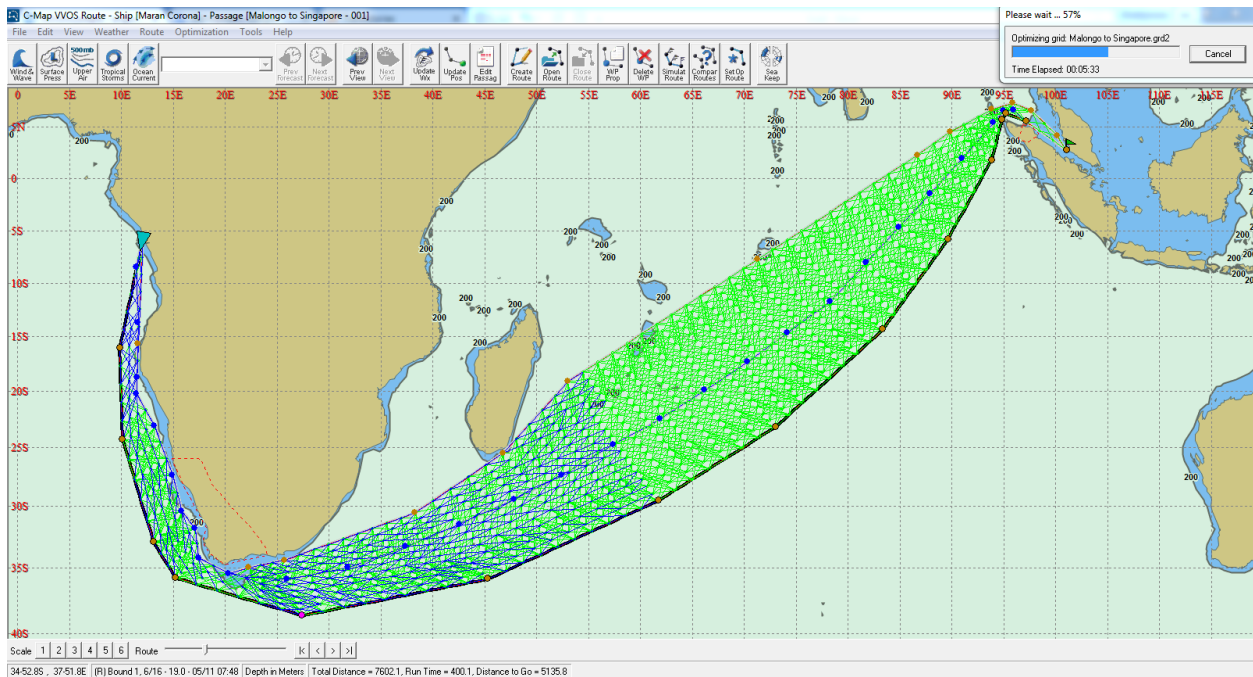
Η διαφοροποίηση σε σχέση με τα case studies που αναλύσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι ότι δεν επιλέχθηκε το υποθετικό σενάριο της συντομότερης διαδρομής ή της πιο σύνηθες διαδρομής, αλλά χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά στοιχεία και εφαρμόσαμε την ακριβή πορεία πλεύσης του καπετάνιου.

Η μεθοδολογία είναι η ακόλουθη:

- Σε πραγματικό χρόνο, δημιουργείται το υδροδυναμικό μοντέλο του караβιού λαμβάνοντας όλες τις απαραίτητες πληροφορίες από την πλοιοκτήτρια εταιρεία.
- Λαμβάνονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για τα ταξίδια (λιμάνι αναχώρησης, λιμάνι άφιξης, φορτίο, καταναλώσεις, καθημερινό report των καπετάνιων με λεπτομερή στοιχεία στίγματος, ημερήσιας διανυόμενης απόστασης και κατανάλωσης, στοιχεία καιρού και θάλασσας κ.λπ.) και εισάγονται μέσα στο VVOS προκειμένου να δημιουργηθεί μέσα στο πρόγραμμα η πραγματική πορεία που ακολούθησε ο καπετάνιος.
- Μετά την μοντελοποίηση, το πλοίο «φάντασμα» (ghost ship) γυρίζει πίσω στον χρόνο στην πρώτη μέρα αναχώρησης από το λιμάνι και ακολουθεί τις οδηγίες που θα έπαιρνε σε πραγματικό χρόνο με βάση τις μετεωρολογικές προβλέψεις που υπήρχαν εκείνη την συγκεκριμένη μέρα και ώρα. Προκειμένου να είναι η ανάλυση όσο πιο κοντά στην πραγματικότητα, οποιεσδήποτε αλλαγές στη πορεία (πχ αλλαγή συνιστώμενης ταχύτητας, στάση για ανεφοδιασμό ή για να ανέβει στο πλοίο ασφάλεια, drifting κ.λπ.) γίνονται εικονικά την ίδια μέρα και ώρα που έγιναν και στην πραγματικότητα.
- Κάθε μέρα στον παρελθοντικό χρόνο, αποτελεί μια καινούρια μέρα μετεωρολογικής και κυματικής πρόβλεψης. Για αυτόν τον λόγο, στην κάθε ημερήσια καταχώρηση του πλοίου, γίνεται εκτίμηση των καιρικών συνθηκών και δημιουργείται καινούρια βέλτιστη πορεία με βάση τις ανανεωμένες καιρικές προβλέψεις, ειδικότερα στην περίπτωση δυσμενών καιρικών συνθηκών.
- Αυτή η διαδικασία ακολουθείται μέχρι την τελευταία εικονική μέρα κατά την οποία το πλοίο φτάνει στον προορισμό του.
- Στο τέλος, τα δύο δρομολόγια του πλοίου (το υπαρκτό και το θεωρητικό) προσομοιώνονται προκειμένου να έχουμε σαν βάση τις καταναλώσεις του υπαρκτού δρομολογίου με του θεωρητικού. Με την προσομοίωση και έχοντας ως δεδομένο τις πραγματικές καταναλώσεις του πλοίου, μπορεί να γίνει μια εκτίμηση για το κατά πόσο είναι ακριβές το υδροδυναμικό μοντέλο που έχει κατασκευαστεί. Αυτή η δια-

δικασία γίνεται καθ' ότι εκτιμώνται δυο δρομολόγια τα οποία έχουν την ίδια βάση δεδομένων και δεν συγκρίνεται το υποθετικό μοντέλο ενάντια στο υπαρκτό.

Η προκύπτουσα βέλτιστη διαδρομή λαμβάνει υπόψη τις πραγματικές καιρικές συνθήκες, τα ωκεάνια ρεύματα, την απόδοση του σκάφους και την απόκριση μεταβολής της συμπεριφοράς του αναλόγως την μεταβολή των καιρικών συνθηκών(seakeeping response) και άλλους παράγοντες, όπως τα όρια που καθορίζονται από τον χρήστη στην εύρεση της πιο αποδοτικής διαδρομής που φτάνει στο λιμάνι προορισμού στην επιθυμητή ώρα. Το όφελος αυτής της μεθόδου είναι ότι υπάρχει ένα όριο με το οποίο συγκρίνεται η πραγματική απόδοση του πλοίου.



Εικόνα: Παράδειγμα της διαδικασίας εύρεσης της βέλτιστης πορείας όπως ανακτήθηκε από την ανάλυση στο πρόγραμμα VVOS

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε την ανάλυση και την βελτιστοποίηση που έχει γίνει στα 30 επιλεγμένα ταξίδια. Για λόγους εμπιστευτικότητας, τα πλοία δεν εμφανίζονται με τα πραγματικά ονόματά τους, αλλά αριθμούνται από το 1-10. Θα αναδείξουμε ανά ταξίδι τα βασικά σημεία τα οποία οδήγησαν στην εξοικονόμηση καυσίμου και στην συνέχεια στο δεύτερο μέρος θα κάνουμε ανάλυση των συνολικών αποτελεσμάτων. Για κάθε ταξίδι υπάρχουν οι αντίστοιχες φωτογραφίες στο Παράρτημα 1.

5.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΞΙΔΙΩΝ

Ταξίδι 1:

Πλοίο 8 χωρητικότητας 306000 τόνων φορτωμένο με 270000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Singapore (Singapore)- Long Beach (USA)

Ημερομηνίες: 5/5/15- 31/5/15= 24,4 μέρες

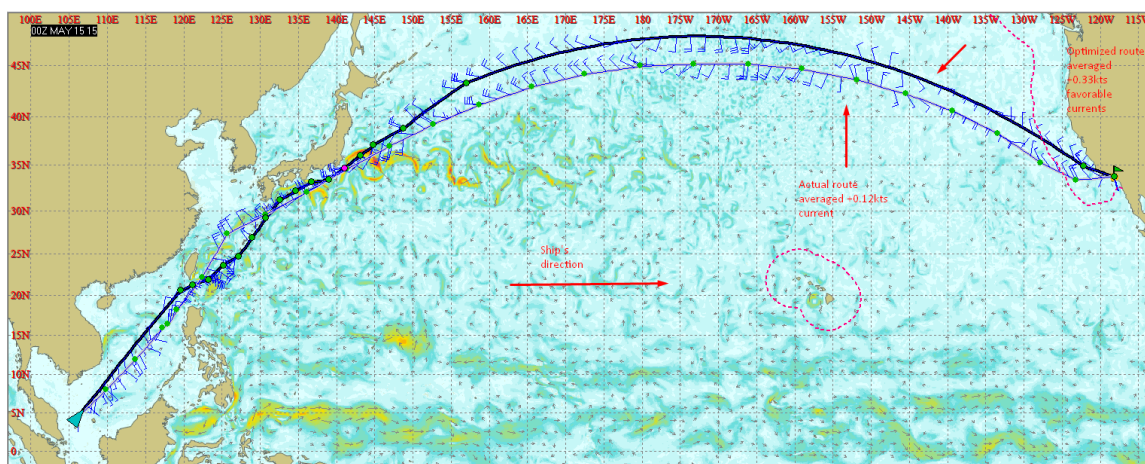
Απόσταση: 7517,7 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 1473 μετρικούς τόνους HFO και LSMGO

Πολύπλοκη διαδρομή με πολλές ιδιομορφίες. Αρχικά, το εικονικό με το πραγματικό πλοίο ακολούθησαν σχεδόν παρόμοια πορεία, όμως νοτίως της Ταϊβάν το πραγματικό πλοίο βρέθηκε σε καταιγίδα με 6 μέτρα κύματα και 15 μοίρες παραμετρικής κύλισης, ενώ το ει-

κονικό πλοίο είχε ελαφρώς καλύτερες συνθήκες με μέγιστο 11 μοίρες παραμετρικής κύλισης. Στην συνέχεια, το εικονικό πλοίο εκμεταλλεύτηκε τα ρεύματα νοτίως της Ιαπωνίας και ακολούθησε ορθοδρομική πορεία σχεδόν 2,5 μοίρες βόρεια σε σχέση με την πραγματική ορθοδρομική πορεία. Επίσης, στην πορεία πέραν του Ειρηνικού Ωκεανού το εικονικό πλοίο συνάντησε ευνοϊκότερους ανέμους, ενώ το πραγματικό πλοίο δέχτηκε αρκετούς πλευρικούς ανέμους.

Σε συνολικούς αριθμούς, το εικονικό πλοίο εκμεταλλεύτηκε 0,22 κόμβους περισσότερο τα θαλάσσια ρεύματα, είχε ευνοϊκότερες καιρικές συνθήκες σε πολλά σημεία της διαδρομής και εξοικονόμησε 101 μετρικούς τόνους καυσίμου (6,86% επί της συνολικής κατανάλωσης).



Ταξίδι 2:

Πλοίο 4 χωρητικότητας 320000 τόνων φορτωμένο με 280000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Algeciras (Spain)- Galveston (USA)

Ημερομηνίες: 22/12/14- 7/01/15= 15,9 μέρες

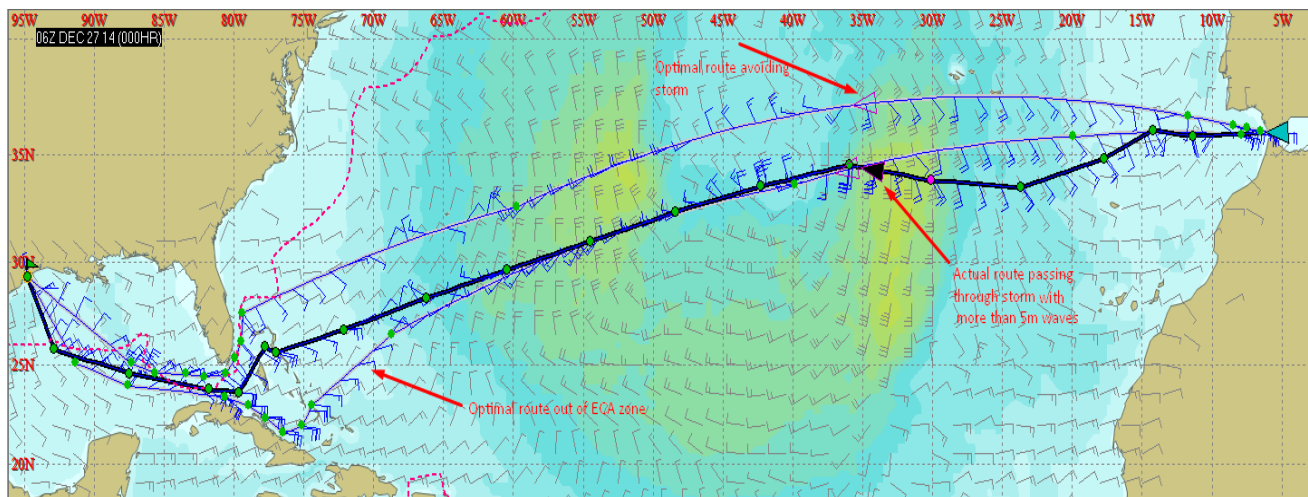
Απόσταση: 4930,1 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 1343,2 μετρικούς τόνους HFO και LSMGO

Μια ενδιαφέρων διαδρομή με αρκετές ποικιλομορφίες. Αρχικά ο καπετάνιος ακολούθησε πορεία η οποία τον οδήγησε σε καταιγίδα με κύματα ύψους 5 μέτρα και 5 μοίρες παραμετρική κύλιση. Στην συνέχεια, φτάνοντας στο κόλπο του Μεξικό πέρασε μέσα από ισχυρά αντίθετα ρεύματα και στην συνέχεια έκανε κάποια μίλια παραπάνω πριν μπει στην περιοχή ελέγχου (ECA zone) όπου πρέπει να αλλάξει σε καύσιμο με μικρή περιεκτικότητα θείου (LSMGO).

Η βέλτιστη διαδρομή που αναδείχθηκε από το VVOS, επέλεξε μια πορεία στον Ατλαντικό 2,5 μοίρες βορειότερα από την αντίστοιχη του καπετάνιου η οποία ήταν αρκετή για να αποφύγει την καταιγίδα και να πλέει σε περιοχές με max 3 μέτρα κύμα. Στην συνέχεια, το υποθετικό πλοίο εισήλθε νωρίτερα στην ECA zone, έκαψε περισσότερο LSMGO, αλλά έκανε 140 ναυτικά μίλια λιγότερα (2,8% διαφορά), απέφυγε τα ισχυρά αντίθετα ρεύματα που αντιμετώπισε ο καπετάνιος και στην συνέχεια εκμεταλλεύθηκε ισχυρά ρεύματα που υπήρχαν στην περιοχή για κάποιες ώρες. Συνολικά η βέλτιστη διαδρομή έκαψε 70 μετρικούς τόνους LSMGO, αλλά στην συνολική κατανάλωση εξοικονόμησε 125,3 μετρικούς τόνους καυσίμου (9,3% διαφορά επί της συνολικής κατανάλωσης).

Λόγω της ευαισθησίας που υπάρχει για τις περιοχές ECA, αποφασίσαμε να επιλέξουμε μια δεύτερη βέλτιστη δρομολόγηση, με κριτήριο την ελάχιστη κατανάλωση LSMGO και αποφεύγοντας πλήρως την περιοχή ECA κοντά στις ακτές της Florida. Η δρομολόγηση αυτή επίσης απέφυγε την καταιγίδα, επέλεξε μια διαδρομή Βόρεια της Κούβας, εντός των επιτρεπόμενων ορίων που ορίζουν οι No-Go areas (περιοχές που απαγορεύεται η διέλευση εμπορικών πλοίων) και εισήλθε στην περιοχή ECA κάνοντας τα λιγότερα δυνατά μίλια εντός της περιοχής. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να εξοικονομήσει συνολικά 33 μετρικούς τόνους καυσίμου (και HFO και LSMGO) δηλαδή 2,45% εξοικονόμηση επί της συνολικής κατανάλωσης.



Ταξίδι 3:

Πλοίο 5 χωρητικότητας 320000 τόνων φορτωμένο με 260000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Ceiba (Equatorial Guinea) – Chiriqui Grande (Panama)

Ημερομηνίες: 29/7/15- 13/8/15= 14,7 μέρες

Απόσταση: 5525 ναυτικά μίλια

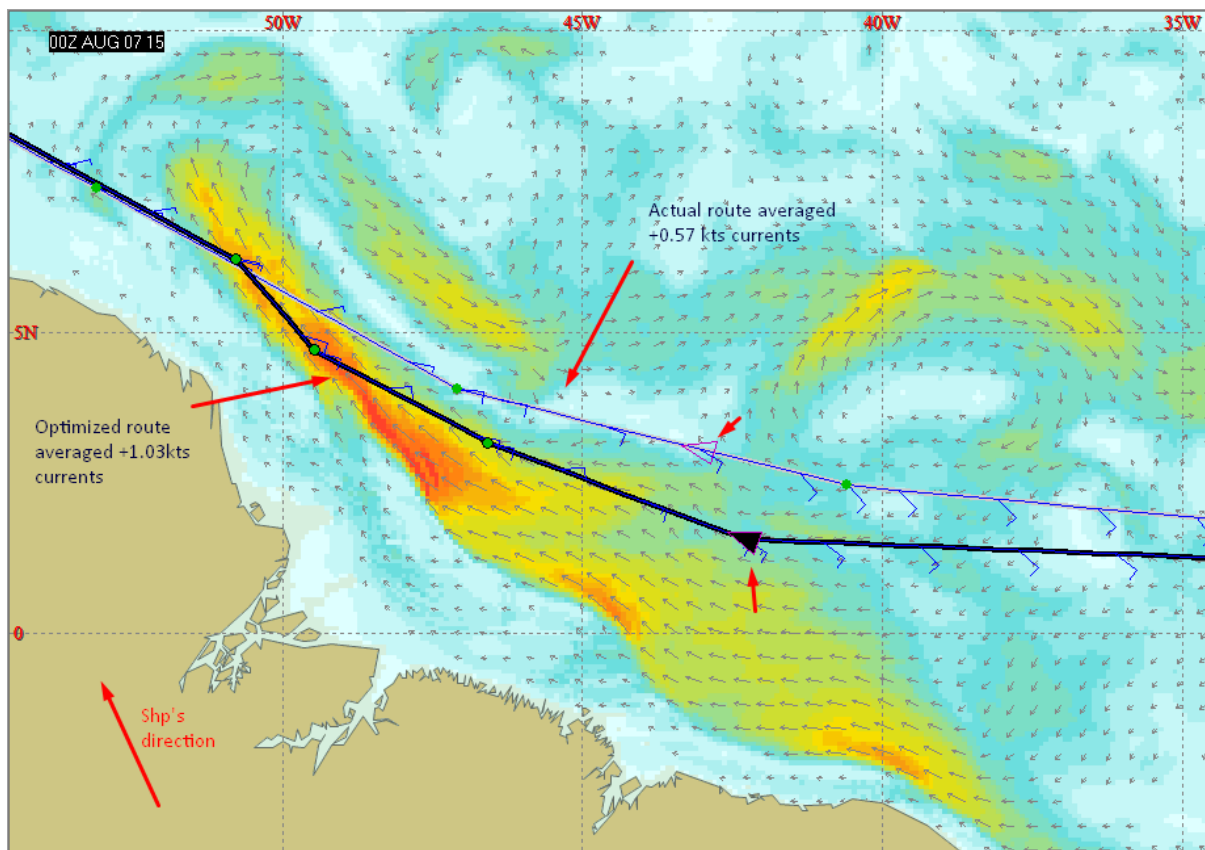
Κατανάλωση: 1188,3 μετρικούς τόνους HFO

Το συγκεκριμένο δρομολόγιο αποτελεί ένα πολύ καλό παράδειγμα βέλτιστης προσομοίωσης και δρομολόγησης ενός πλοίου. Η διαδρομή αυτή χαρακτηρίζεται από πολλά ευνοϊκά ρεύματα. Επίσης, οι καιρικές συνθήκες ήταν πολύ καλές καθ'όλη την διάρκεια του ταξιδιού. Το πραγματικό πλοίο φορτωμένο με 260000 και κινούμενο σε υψηλές ταχύτητες (average SOG 15,1 kts) ακολούθησε μια πολύ καλή πορεία μέσα από τα ρεύματα και τους ευνοϊκούς καιρούς. Παρ'όλα αυτά, η προσομοίωση ανέδειξε πορείες ακόμα πιο ευνοϊκές και

προβάλλει ότι πάντα θα υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης. Αξίζει να αναφέρουμε ότι το εικονικό πλοίο είχε ευνοϊκά ρεύματα 1,03 κόμβους μέσο όρο. Ενδεικτικά, κοντά στα παράλια της Βραζιλίας το εικονικό πλοίο βρέθηκε σε ευνοϊκά ρεύματα άνω των 3 κόμβων την ώρα και με πλήρως ευνοϊκό άνεμο 4 BF για περίπου μια ολόκληρη μέρα.

Για να γίνει κατανοητό το πόσο ευνοϊκές ήταν οι συνθήκες για το πλοίο να αναφέρουμε ότι το πραγματικό πλοίο κατανάλωσε περίπου 150 μετρικούς τόνους καυσίμου λιγότερους από αυτούς που όριζε το ναυλοσύμφωνο για τις αντίστοιχες μέρες ταξιδιού.

Η εικονική προσομοίωση κατάφερε να εξοικονομήσει περίπου 58 μετρικούς τόνους, ήτοι 4,9% διαφορά από την πραγματική κατανάλωση.



Ταξίδι 4:

Πλοίο 6 χωρητικότητας 306000 τόνων φορτωμένο με 265000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: La Paloma(Uruguay)-Rizhao (China)

Ημερομηνίες: 2/6/15- 14/7/15= 39,3 μέρες

Απόσταση: 11850 ναυτικά μίλια

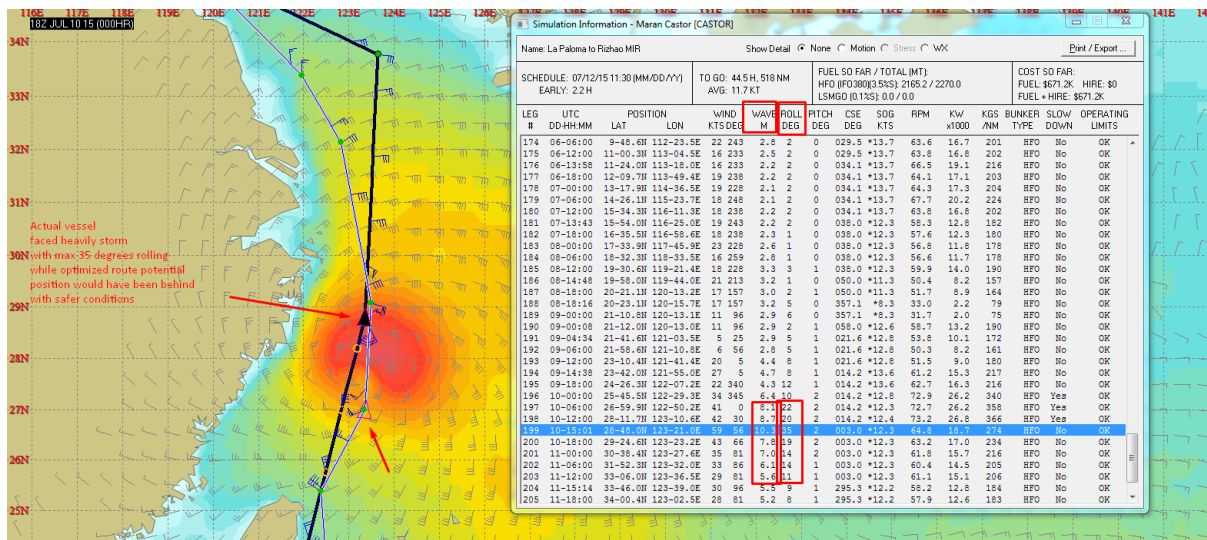
Κατανάλωση: 1603,4 μετρικούς τόνους HFO

Το μεγαλύτερο ταξίδι που αναλύθηκε σε αυτή την διπλωματική, διάρκειας σχεδόν 40 ημερών και συνολικής απόστασης σχεδόν 12000 ναυτικών μιλίων. Επίσης ήταν ένα από τα πιο δύσκολα ταξίδια που αναλύθηκαν καθώς υπήρχαν πολλές ημέρες με δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Παρ'όλα αυτά ο καπετάνιος ακολούθησε την επιλογή της ορθοδρομίας χωρίς να κάνει καμία εκτροπή στην πορεία λόγω των συνθηκών. Αυτό τον οδήγησε να βρίσκεται μέσα σε καταιγίδες περισσότερες ώρες από την εικονική δρομολόγηση, να δέχεται πιο ακραίες τιμές μέγιστων κυμάτων και τελικά να καταναλώνει πολύ περισσότερα καύσιμα από αυτή του την επιλογή.

Ειδικότερα, λίγο πριν την άφιξη του πλοίου στο λιμάνι του Rizhao, βρέθηκε στο επίκεντρο καταιγίδας με κύματα ύψους 10 μέτρων και παραμετρική κύλιση 35 μοιρών(!), δοκιμάζοντας τα όρια του πλοίου.

Σε αυτό το ταξίδι με τις δύσκολες καιρικές συνθήκες και την μεγάλη διάρκειά του, διατρανώνεται η σημασία της συνεχούς ενημέρωσης των μετεωρολογικών συνθηκών και η ανάγκη για την χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων που θα βοηθήσουν στην εύρεση της πιο ασφαλούς και της πιο οικονομικής πορείας.

Συνολικά το εικονικό πλοίο διένυσε 108 μίλια λιγότερα από το πραγματικό πλοίο, εκμεταλλεύτηκε τα ωκεάνια ρεύματα κατά 0,24 κόμβους παραπάνω και εξοικονόμησε 188 μετρικούς τόνους καυσίμου(11,8% διαφορά επί της συνολικής κατανάλωσης).



Ταξίδι 5:

Πλοίο 4 χωρητικότητας 320000 τόνων άφορτο

Ταξίδι: Moroni(Comoros)- Antifer(France)

Ημερομηνίες: 8/10/15- 3/11/15= 25,9 μέρες

Απόσταση: 11182,6 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 3234,4 μετρικούς τόνους HFO και LSMGO

Παρά το ότι το ταξίδι είναι μεγάλο δεν προσφέρει πολλές δυνατότητες ευελιξίας ως προς την επιλογή διαδρομής. Παρ'όλα αυτά το πραγματικό πλοίο δεν εκμεταλλεύτηκε στο μέγιστο τα πολύ ευνοϊκά ρεύματα της Νοτίου Αφρικής. Στην συνέχεια και μέχρι τα ανοιχτά της Πορτογαλίας τα δύο πλοία ακολούθησαν σχεδόν ταυτόσημες πορείες. Η εικονική προσομοίωση, επιτάχυνε την κατάλληλη στιγμή ούτως ώστε να μην δεχθεί τις συνέπειες της καταιγίδας που έλαβε χώρα ανοιχτά της Πορτογαλίας με αρνητικό καιρό και κύματα άνω των 5 μέτρων τόσο όσο η πραγματική πορεία.

Αποτέλεσμα αυτού είναι το εικονικό πλοίο να εξοικονομήσει 106 μετρικούς τόνους HFO και LSMGO (4,58% διαφορά) και να εκμεταλλευτεί αμυδρά καλύτερα τα ωκεάνια ρεύματα κατά 0,12 κόμβους.

Ταξίδι 6:

Πλοίο 2: χωρητικότητας 300000 τόνων άφορτο

Ταξίδι: Chiba (Japan)- Singapore (Singapore)

Ημερομηνίες: 8/12/14-18/12/14= 10,4 μέρες

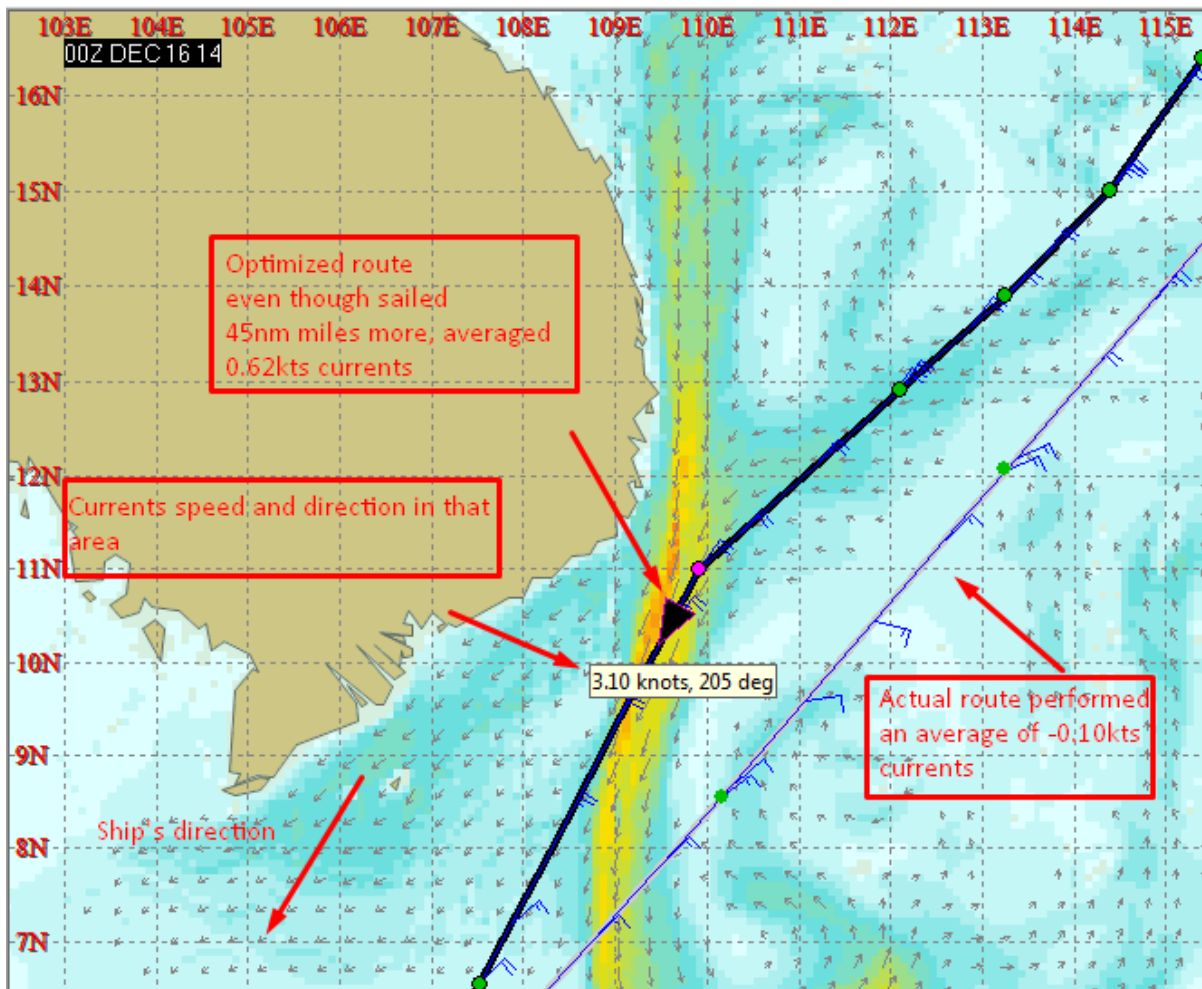
Απόσταση: 2855 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 386,1 μετρικούς τόνους HFO

Το συγκεκριμένο ταξίδι αποτελεί ένα πολύ καλό παράδειγμα κακής δρομολόγησης από τον καπετάνιο με πορείες πάνω σε αντίθετα ρεύματα. Το πλοίο σχεδόν από την αρχή της πορείας του είχε σταθερή πορεία 220 μοιρών με κατεύθυνση την Σιγκαπούρη, αγνοώντας την ύπαρξη ισχυρών ρευμάτων και τις επιδράσεις του καιρού.

Νοτίως του Βιετνάμ, υπάρχουν ισχυρά ευνοϊκά ρεύματα με ταχύτητα άνω των 3 κόμβων/ώρα. Με βάση την πραγματική πορεία του πλοίου, ο μέσος όρος εκμετάλλευσης θαλασσιών ρευμάτων για όλο το ταξίδι ήταν αρνητική -0,1 κόμβους/ώρα σε αντίθεση με την προσομοίωση που έγινε που είχε θετικό πρόσημο 0,62 κόμβους/ώρα.

Η συγκεκριμένη προσομοίωση είναι η πρώτη από μια σειρά προσομοιώσεων που υποδεικνύουν ότι οι λανθασμένες επιλογές δρομολόγησης από το πλοίο οδηγούν σε πολύ αυξημένες καταναλώσεις. Σε συνολικά νούμερα για την ίδια ώρα άφιξης, η προσομοίωση εξοικονόμησε 71 μετρικούς τόνους HFO (18,40% επί της συνολικής κατανάλωσης).



Ταξίδι 7:

Πλοίο 4 χωρητικότητας 320000 τόνων άφορτο

Ταξίδι: Antifer(France)- Bonaire(Leeward Antilles)

Ημερομηνίες: 17/6/15- 2/7/15= 18,1 μέρες

Απόσταση: 4043,4 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 612,8 μετρικούς τόνους HFO και LSMGO

Το ταξίδι αυτό κατέγραψε το μικρότερο ποσοστό εξοικονόμησης. Παρά το ότι ήταν μεγάλο σε διάρκεια (18 μέρες), ο καπετάνιος ακολούθησε πορεία σχεδόν αυτούσια με αυτή της προσομοίωσης. Αποτελεί ένα καλό παράδειγμα ότι με την σωστή καθοδήγηση, η (σχεδόν) βέλτιστη δρομολόγηση είναι εφικτή. Η διαφορά στην εξοικονόμηση 8,8 μετρικών τόνων καυσίμου (1,4% επί της συνολικής κατανάλωσης) έγκειται στο γεγονός ότι η εικονική πορεία έκανε λίγο καλύτερη διαχείριση ταχύτητας μέσα στην περιοχή ECA της Ευρώπης και εκμεταλλεύτηκε τα ρεύματα κοντά στην Λατινική Αμερική κατά 0,17 κόμβους περισσότερο από την κανονική πορεία.

Ταξίδι 8:

Πλοίο 1 χωρητικότητας 300000 τόνων άφορτο

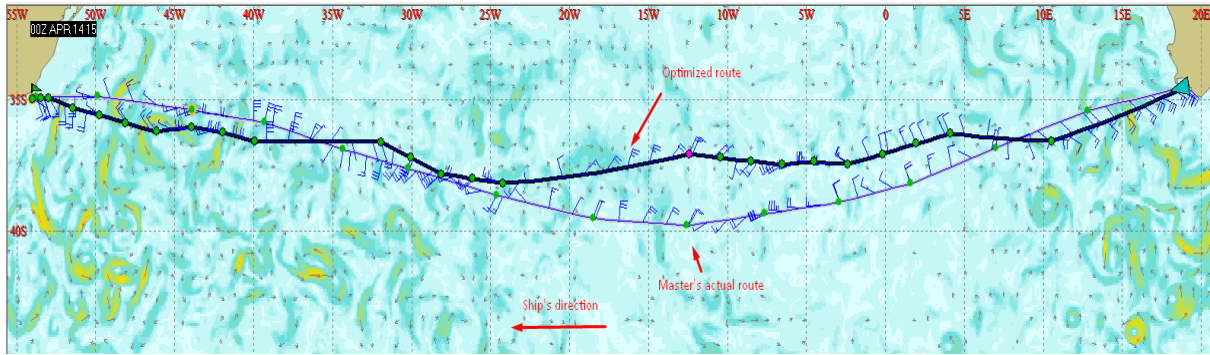
Ταξίδι: Cape Town (South Africa)- La Paloma (Uruguay)

Ημερομηνίες: 7/4/15-21/4/15= 14,2 μέρες

Απόσταση: 3544,1 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 476,9 μετρικούς τόνους HFO

Το συγκεκριμένο ταξίδι αποτελεί ένα πολύ καλό παράδειγμα για την συνεχής ενημέρωση του πλοίου σχετικά με τις μεταβολές του καιρού. Ο καπετάνιος επέλεξε την ορθοδρομία (Great Circle) ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών. Η εικονική δρομολόγηση, ενώ στην αρχή επέλεξε την ορθοδρομία, άλλαξε την πορεία του προκειμένου να ακολουθήσει πιο ευνοϊκές καιρικές συνθήκες και να εκμεταλλευτεί περισσότερο τα θαλάσσια ρεύματα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την μεγάλη διαφορά στην εξοικονόμηση καυσίμου (10% επί της συνολικής κατανάλωσης).



Ταξίδι 9:

Πλοίο 1 χωρητικότητας 300000 τόνων φορτωμένο με 220000 μετρικών τόνων αργού πετρελαίου

Ταξίδι: La Paloma (Uruguay)- Singapore (Singapore)

Ημερομηνίες: 26/4/15-29/5/15= 31,2 μέρες

Απόσταση: 9007,1 ναυτικά μίλια

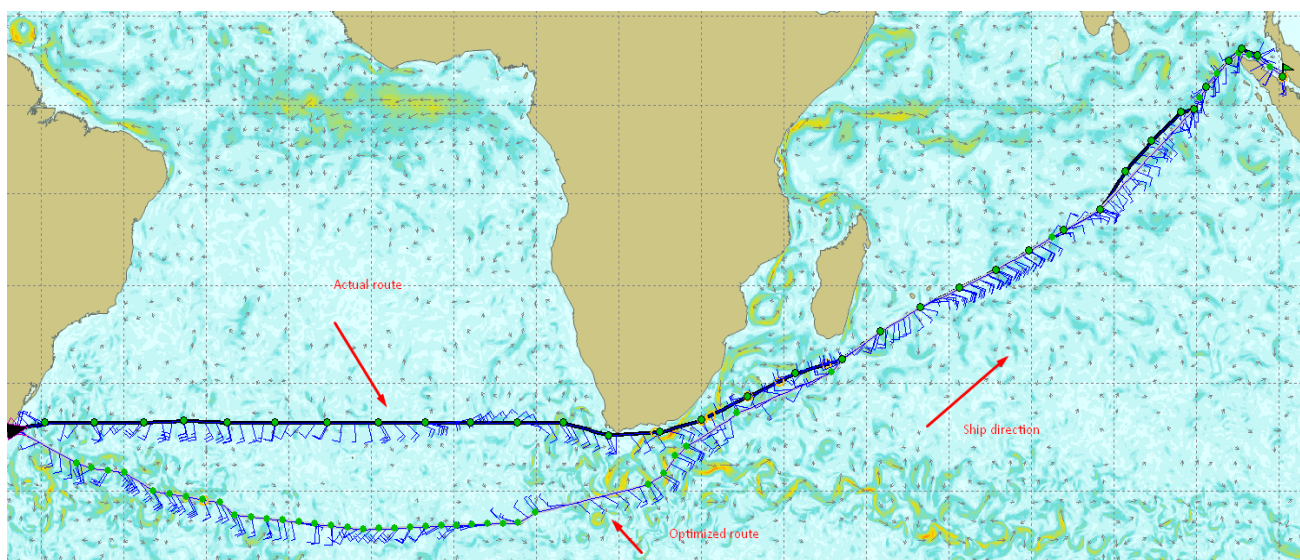
Κατανάλωση: 2161,2 μετρικούς τόνους HFO

Σε συνέχεια του προηγούμενου ταξιδιού, το πλοίο φόρτωσε στην La Paloma και έπλευσε με κατεύθυνση προς Σιγκαπούρη. Αυτή την φορά ο καπετάνιος του πλοίου έκανε ακόμα χειρότερη επιλογή. Επέλεξε την λοξοδρομία (rhumb line). Ως λοξοδρομία χαρακτηρίζεται ο πλους που πραγματοποιεί ένα πλοίο από ένα σημείο της Γης σε άλλο, πλέοντας με σταθερή πορεία. Το μειονέκτημα της λοξοδρομίας είναι ότι λόγω της καμπυλότητας της Γης, επιλέγοντας την ευθεία γραμμή, η διανυόμενη απόσταση είναι μεγαλύτερη από την ορθοδρομία (Great Circle).

Το λιμάνι του La Paloma βρίσκεται περίπου στην ίδια ευθεία με το Cape Town της Νότιας Αφρικής. Έτσι ο καπετάνιος επέλεξε να ακολουθήσει σταθερή πορεία 90 μοιρών καθ'όλη την διάρκεια της πλεύσης στον Νότιο Ατλαντικό, αγνοώντας τα ευνοϊκά ρεύματα που υπήρχαν νοτιότερα και τις αλλαγές του καιρού και διανύοντας μεγαλύτερη απόσταση από το εικονικό πλοίο. Στην συνέχεια, συνεχίζοντας τις λάθος επιλογές πέρασε μέσα από τα ισχυρά αντίθετα ρεύματα της Νότιας Αφρικής. Μετά την Μαδαγασκάρη οι δύο πορείες σχεδόν ταυτίζονται μέχρι τον τελικό προορισμό.

Το ταξίδι αυτό αποτελεί ένα πολύ καλό παράδειγμα για την σημασία χάραξης μιας αρχικής προβλεπόμενης διαδρομής από τον καπετάνιο σε συνάρτηση με την πρόβλεψη του καιρού εκείνη την στιγμή και της συνεχούς ενημέρωσης κατά την διάρκεια του ταξιδιού ειδικά σε περιπτώσεις μεγάλων ταξιδιών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, αναδεικνύεται ότι η έλλειψη των προαναφερθέντων μπορεί να οδηγήσει σε πολύ αυξημένη κατανάλωση του πλοίου.

Σε συνολικούς αριθμούς, το εικονικό πλοίο διένυσε 154 ναυτικά μίλια λιγότερα (1,7% διαφορά), εκμεταλλεύτηκε τα ωκεάνια ρεύματα κατά 0,33 κόμβους περισσότερο από το πραγματικό πλοίο και εξοικονόμησε σχεδόν 315 μετρικούς τόνους πετρελαίου (14,5% επί της συνολικής κατανάλωσης), το μεγαλύτερο νούμερο (ποσοτικά) εξοικονόμησης καυσίμου από όλα τα ταξίδια που προσομοιώθηκαν στην συγκεκριμένη διπλωματική.



Ταξίδι 10:

Πλοίο 4 χωρητικότητας 320000 τόνων άφορτο

Ταξίδι: Bonaire(Leeward Antilles)- Nipah (Indonesia)

Ημερομηνίες: 8/7/15- 15/8/15= 37,4 μέρες

Απόσταση: 11182,6 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 3234,4 μετρικούς τόνους HFO

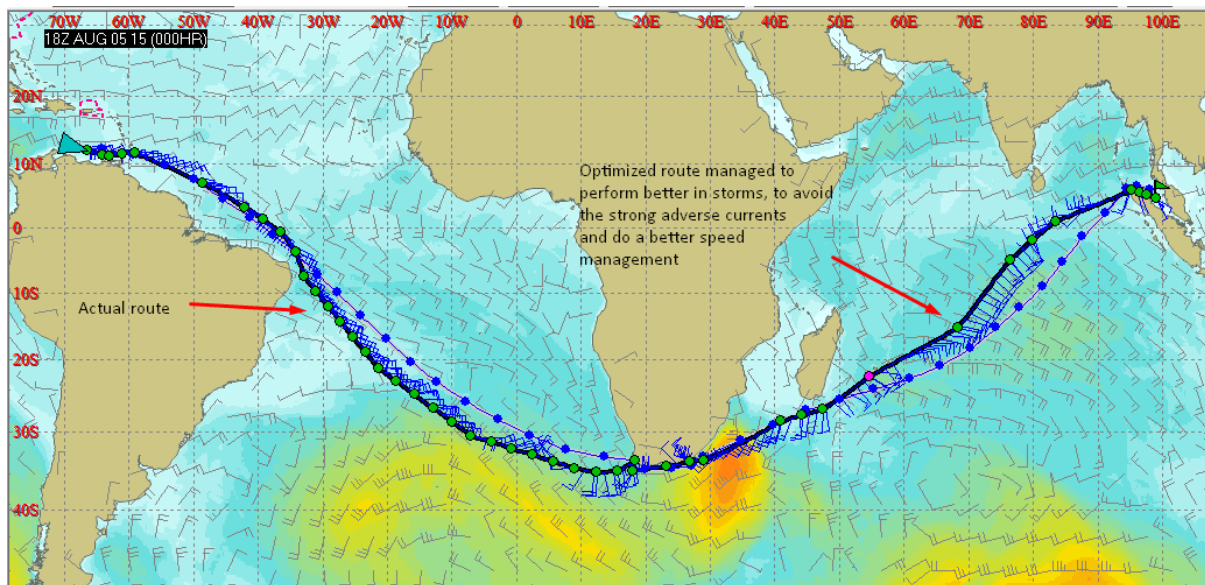
Πολύ δύσκολο και μεγάλο ταξίδι με αντίθετους καιρούς, καταιγίδες και αρνητικά ρεύματα. Το καράβι από Bonaire μέχρι Cape Town αντιμετώπισε συνεχώς αντίθετους ανέμους ανώτερους των 5 BF. Σε αυτό δεν βοήθησαν και οι επιλογές του καπετάνιου ο οποίος κατεύθυνε το πλοίο μέσα από αντίθετα ρεύματα στα παράλια της Βραζιλίας. Στην συνέχεια, κατευθύνθηκε 5 μοίρες πιο νότια από την εικονική επιλογή, γεγονός που τον οδήγησε σε αρνητικούς καιρούς με ύψος κυμάτων σταθερά 1 μέτρο πιο πάνω σε σχέση με τις συνθήκες που θα συναντούσε το εικονικό πλοίο.

Μετά το Cape Town, το πλοίο έπεσε πάνω σε διαδοχικές καταιγίδες, μέχρι την Σιγκαπούρη, κάνοντας πολύ δύσκολες τις συνθήκες πλεύσης και της επιλογής της σωστής πορείας. Μετά τον Μαυρίκιο, το εικονικό πλοίο ακολούθησε πορεία περίπου 7 μοίρες πιο δυτικά σε σχέση με το πραγματικό πλοίο, γεγονός που το οδήγησε να έχει μερικώς καλύτερες συνθήκες χωρίς όμως να μπορεί να αποφύγει πλήρως τους δυσμενείς καιρούς.

Σημαντικό ρόλο στο ταξίδι αυτό έπαιξε επίσης ότι το πλοίο συνεχώς έβρισκε μπροστά του αρνητικά ρεύματα. Τα παράλια της Βραζιλίας, τα ρεύματα της Νότιας Αφρικής και τα πλευρικά ρεύματα πριν την είσοδο στα στενά της Malacca. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι το πραγματικό πλοίο είχε μέσο όρο -0,26 κόμβους ρεύματα, δηλαδή ενώ η ταχύτητα του στο νερό (SOG) ήταν 12,44 κόμβους, η πραγματική του ταχύτητα ήταν 12,71 κόμβους. Επομένως αυτό και σε συνδυασμό με τον αρνητικό καιρό οδήγησε το πλοίο σε αυξημένη κατανάλωση.

Για να γίνει ενδεικτικό το πόσο αρνητική ήταν η επίδοση του πλοίου, σύμφωνα με το ναυλοσύμφωνο το πλοίο θα έπρεπε να καταναλώσει 2244 τόνους HFO(60mt/day X 37,4 days) και κατανάλωσε 3234mt . Βέβαια με τόσες πολλές μέρες με άσχημες καιρικές συνθήκες αυτό δικαιολογείται στο ναυλοσύμφωνο, αλλά αυτό δεν αποτελεί μέρος της ανάλυσής μας σε αυτή την διπλωματική.

Εν τέλει, το υποθετικό δρομολόγιο κατάφερε να εξοικονομήσει 112 μετρικούς τόνους HFO, ήτοι 3,4% διαφορά από την συνολική κατανάλωση.



Ταξίδι 11:

Πλοίο 5 χωρητικότητας 320000 τόνων φορτωμένο με 280000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Sidi Kerir (Egypt)- Antifer (Belgium)

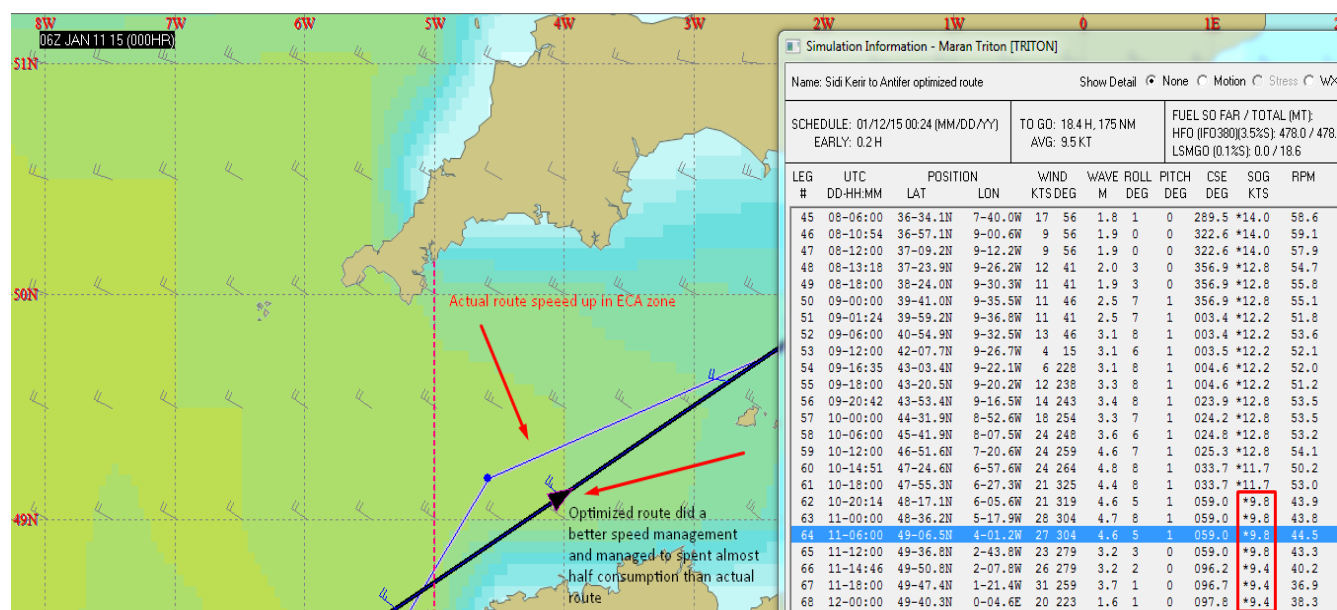
Ημερομηνίες: 1/1/15- 11/01/15= 10,5 μέρες

Απόσταση: 3001,8 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 529,1 μετρικούς τόνους HFO και LSMGO

Διαδρομή χωρίς πολλές διαφορές μέσα στην Μεσόγειο. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτή η διαδρομή για ανάλυση και παρουσίαση είναι γιατί η κύρια διαφορά εντοπίζεται στην διαχείριση της ταχύτητας κατά την διάρκεια του ταξιδιού (speed management). Η εικονική διαδρομή έχοντας κάνει κατάλληλη διαχείριση ταχύτητας σε όλο το ταξίδι, λίγο πριν την είσοδό του στην περιοχή ECA, χαμηλώνει την ταχύτητά του και εισέρχεται σε αυτή με ταχύτητα μικρότερη των 10 κόμβων. Αντίθετα το πραγματικό πλοίο, αύξησε την ταχύτητά του μέσα στην περιοχή ECA(13,7kts εντός της ECA) και σε συνδυασμό με τις κακές καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή την δεδομένη χρονική περίοδο καταφέρνει και καταναλώνει περίπου 19 μετρικούς τόνους περισσότερους ακριβό LSMGO.

Σε συνολικά νούμερα, το εικονικό πλοίο εξοικονόμησε 33,2 μετρικούς τόνους καύσιμο (6,27% επί του συνολικού) και διένυσε 30 μίλια λιγότερα(1% διαφορά).



Ταξίδι 12:

Πλοίο 6 χωρητικότητας 306000 τόνων φορτωμένο με 265000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Cape Town(South Africa)-Daxie Dao (China)

Ημερομηνίες: 8/1/15- 6/02/15= 27,9 μέρες

Απόσταση: 8003,1 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 1416,2 μετρικούς τόνους HFO

Μεγάλο ταξίδι σχεδόν 30 ημερών. Δύο ήταν τα κύρια σημεία που ανέδειξαν την σημασία της βελτιστοποίησης της διαδρομής. Η πραγματική πορεία οδηγήθηκε νότια της Νότιας Αφρικής, αντιμετωπίζοντας αρνητικά ρεύματα, όπως επίσης και στην Ταϊβάν ο καπετάνιος δεν επωφελήθηκε από τα ευνοϊκά ρεύματα της περιοχής. Επίσης, σε περιοχή με έντονα καιρικά φαινόμενα στον Ινδικό Ωκεανό, η βέλτιστη πορεία βρέθηκε 100 μίλια πιο ανατολικά και έτσι κατάφερε να γλιτώσει σχεδόν μισή μέρα λιγότερη καταπόνηση από κύματα ύψους άνω των 5 μέτρων με μέγιστη 8 μοίρες παραμετρική κύλιση.

Κατά τ'άλλα, οι δυο διαδρομές παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες, με ίδια συνολικά μίλια πλεύσης. Συνολικά, η βέλτιστη δρομολόγηση επέφερε οικονομία 76,2 μετρικών τόνων HFO (5,38% διαφορά) και εκμεταλλεύτηκε τα θαλάσσια ρεύματα κατά 0,25 κόμβους περισσότερο σε σχέση με την πραγματική πορεία.

Ταξίδι 13:

Πλοίο 4 χωρητικότητας 320000 τόνων φορτωμένο με 280000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Galveston (USA)- Jose(Venezuela)

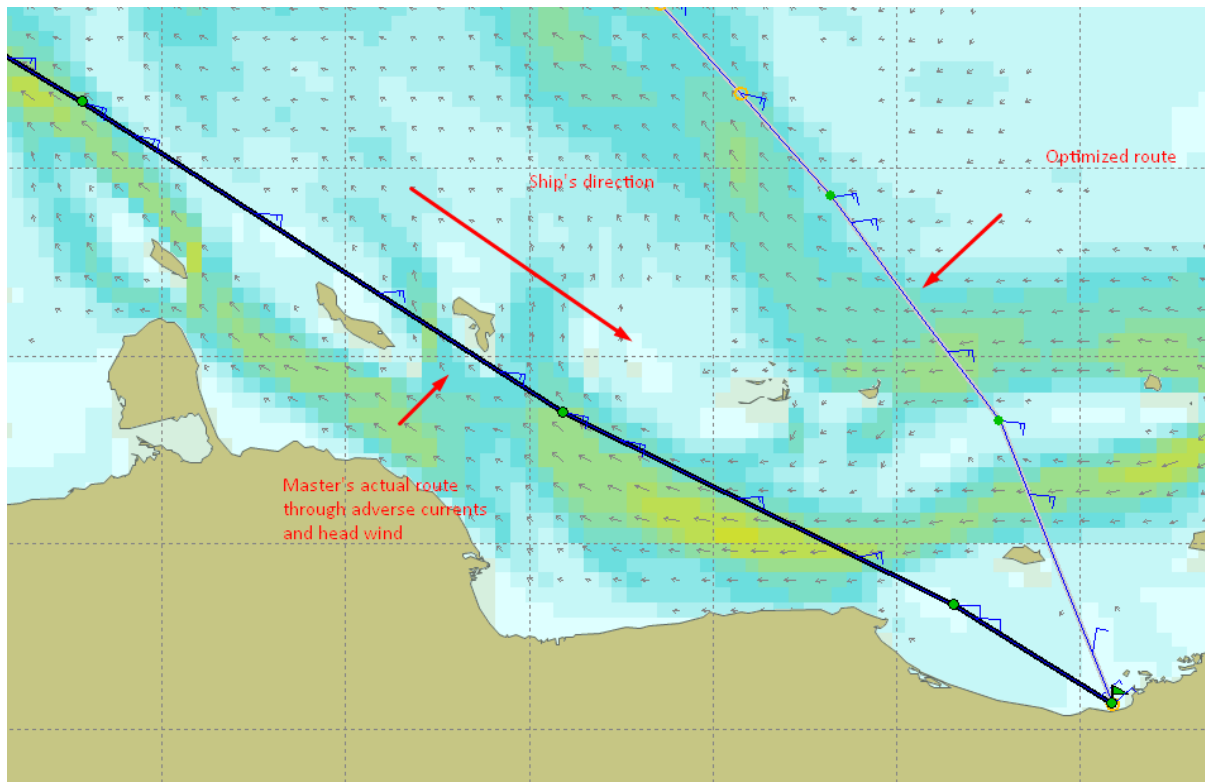
Ημερομηνίες: 16/1/15- 26/01/15= 15,9 μέρες

Απόσταση: 2035,5 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 242,2 μετρικούς τόνους HFO και LSMGO

Ενδιαφέρουσα διαδρομή με δυο κύρια χαρακτηριστικά. Το πλοίο εκκινώντας από Galveston χρησιμοποιεί κατευθείαν καύσιμο LSMGO με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Το εικονικό πλοίο, ακολουθώντας πιο σύντομη διαδρομή και πηγαίνοντας με μικρότερη ταχύτητα καίει λιγότερα καύσιμα σε σχέση με το πραγματικό εντός της περιοχής ECA. Επίσης, λίγο πριν την άφιξη στο λιμάνι προορισμού, το πραγματικό πλοίο καταφέρνει και περνάει μέσα από περιοχή στην οποία δέχεται αντίθετο άνεμο σε συνδυασμό με αντίθετα ωκεάνια ρεύματα.

Έτσι, σε συνολικά νούμερα το εικονικό πλοίο, παρά το ότι κάνει 50 μίλια παραπάνω πορεία, εξοικονομεί συνολικά 17,5 μετρικούς τόνους καυσίμου εκμεταλλευόμενο κατά 0.45 κόμβους την ώρα παραπάνω τα ωκεάνια ρεύματα σε σχέση με την πραγματική πορεία.



Ταξίδι 14:

Πλοίο 3 χωρητικότητας 306000 τόνων φορτωμένο με 230000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Port Louis(Mauritius)- Paradip (India)

Ημερομηνίες: 12/12/14-23/12/14= 10,7 μέρες

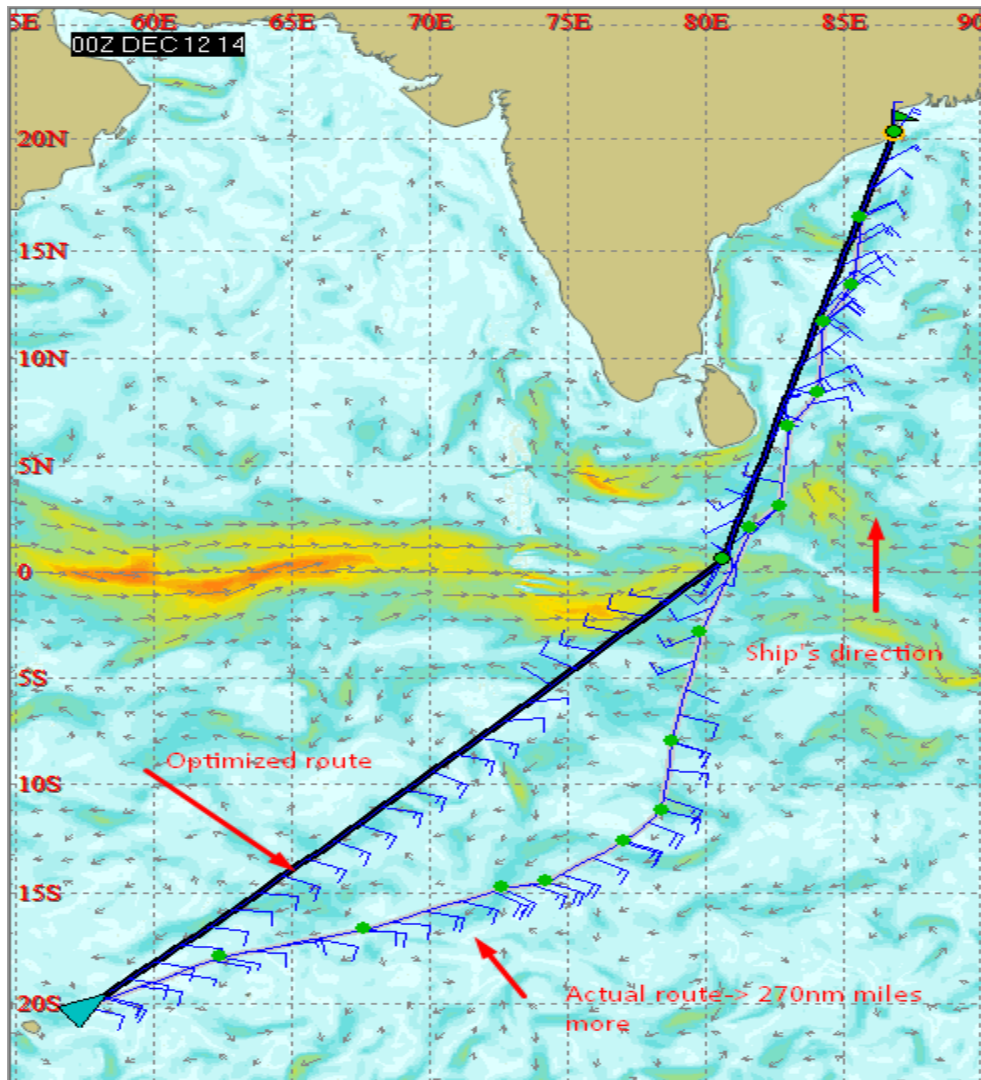
Απόσταση: 3324,8 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 678,3 μετρικούς τόνους HFO

Ένα παράδειγμα κακής διαχείρισης της πλοήγησης του πλοίου. Το πλοίο ακολούθησε πορεία σχεδόν 250 ναυτικών μιλίων περισσότερο (7,45% διαφορά επί των συνολικών μιλίων) από την βελτιστοποιημένη πορεία με αποτέλεσμα να ακολουθήσει υψηλότερες ταχύ-

τητες, να μην εκμεταλλευτεί τα ωκεάνια ρεύματα στην περιοχή νοτίως της Σρι Λάνκα και επίσης να περάσει από περιοχή με πιο άσχημες καιρικές συνθήκες από την υποθετική πορεία.

Όλα αυτά είχαν ως επακόλουθο τις μεγάλες διαφορές ως προς την κατανάλωση. Η προσομοίωση αυτού του ταξιδιού μας έδωσε τα μεγαλύτερα ποσοστά εξοικονόμησης, με την βελτιστοποιημένη πορεία να εξοικονομεί σχεδόν 150 μετρικούς τόνους ΗFO (22,2% επί της συνολικής κατανάλωσης), καλύτερη εκμετάλλευση ωκεάνιων ρευμάτων κατά 0,29 κόμβους και 1,3 μοίρες διαφορά λιγότερη παραμετρική κύλιση, άρα και ασφαλέστερη πορεία σε σχέση με την πραγματική.



Ταξίδι 15:

Πλοίο 7 χωρητικότητας 310000 τόνων φορτωμένο με 265000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

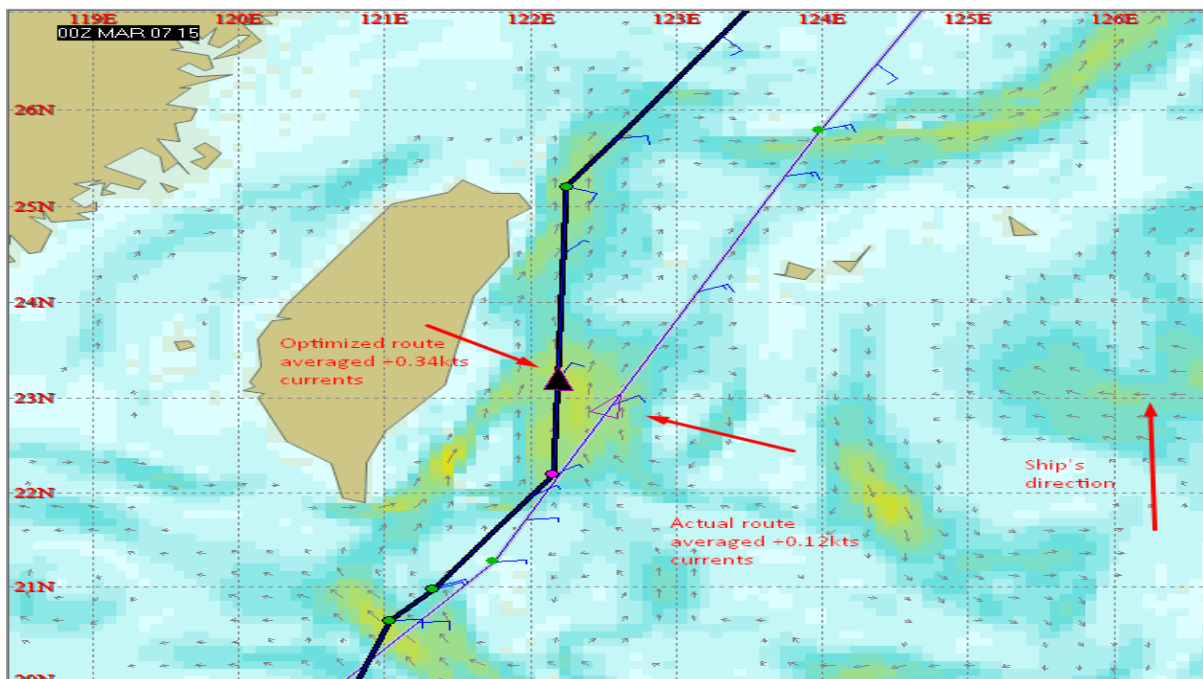
Ταξίδι: Labuan -Ulsan (South Korea)

Ημερομηνίες: 3/3/15- 10/3/15= 6,4 μέρες

Απόσταση: 1992,4 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 429,1 μετρικούς τόνους HFO

Διαδρομή χωρίς πολλά περιθώρια βελτίωσης. Η βελτιστοποιημένη διαδρομή εκμεταλλεύτηκε πλήρως, όπως θα δούμε στην παρακάτω εικόνα, τα ρεύματα ανατολικά της Ταϊβάν. Συνολικά η πραγματική διαδρομή κατανάλωσε 13,2 μετρικούς τόνους περισσότερο HFO(3,07% επί του συνολικού) και εκμεταλλεύτηκε τα θαλάσσια ρεύματα κατά 0.25 κόμβους λιγότερο από την βελτιστοποιημένη δρομολόγηση.



Ταξίδι 16:

Πλοίο 8 χωρητικότητας 306000 τόνων φορτωμένο με 250000 τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: La Paloma (Uruguay)- Cape Town (South Africa)

Ημερομηνίες: 4/8/15- 17/8/15= 12,9 μέρες

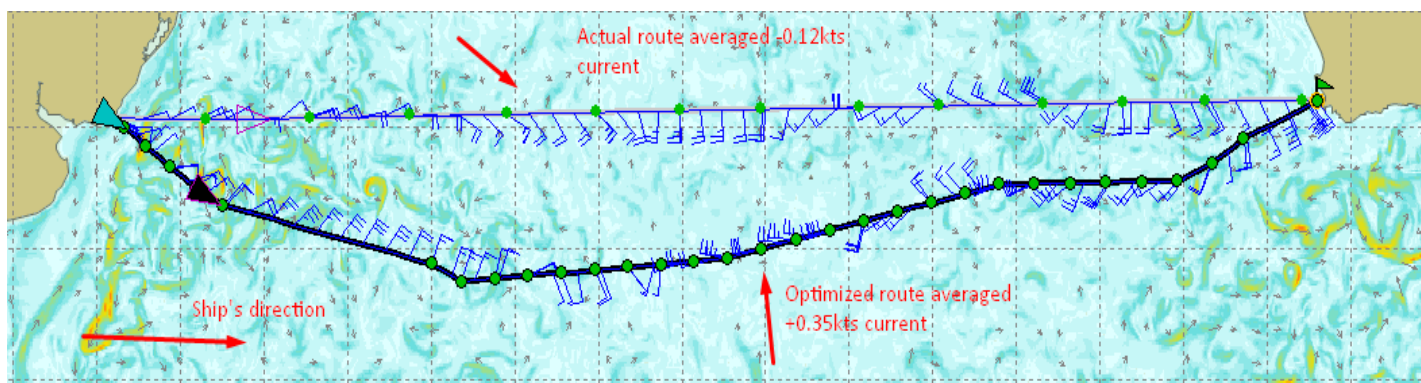
Απόσταση: 3585,8 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 681,2 μετρικούς τόνους HFO

Δεύτερο διαφορετικό ταξίδι από διαφορετικό πλοίο στο οποίο ο καπετάνιος επέλεξε την λοξοδρομία (Rhumb line) και συνεχής κατεύθυνση 90 μοιρών για την διαδρομή La Paloma-Cape Town. Αυτό που φαίνεται ακατανόητο, πέρα από το προφανές της μεγαλύτερης διανυόμενης απόστασης, είναι το γεγονός ότι το πλοίο συνάντησε δυσμενείς καιρικές συνθήκες και αρνητικά ρεύματα και παρ'όλα αυτά η πορεία του πλοίου παρέμεινε αμετάβλητη.

Ενδεικτικό της πολύ κακής επιλογής πορείας είναι το αρνητικό μέσο όρο σε εκμετάλλευση ωκεάνιων ρευμάτων(-0,12kts) σε περιοχές με αρκετά θετικά ρεύματα.

Ως αποτέλεσμα όλων των προαναφερθέντων, το εικονικό πλοίο εκμεταλλεύτηκε τα θαλάσσια ρεύματα κατά 0,47 κόμβους παραπάνω από το πραγματικό πλοίο, συνάντησε πιο ευνοϊκούς καιρούς και εν τέλει κατάφερε πολύ σημαντικές εξοικονομήσεις στα καύσιμα (14,2% επί της συνολικής κατανάλωσης).



Ταξίδι 17:

Πλοίο 3 χωρητικότητας 306000 τόνων φορτωμένο με 230000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Malongo(Angola)- Singapore (Singapore)

Ημερομηνίες: 5/5/15- 1/6/15= 25,2 μέρες

Απόσταση: 7301,0 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 1410,1 μετρικούς τόνους HFO

Το πραγματικό με το εικονικό πλοίο ακολούθησαν την ίδια πορεία στην κάθοδο από την Αγκόλα μέχρι την Νότιο Αφρική. Στην συνέχεια, το εικονικό πλοίο επέλεξε πορεία 4 μοίρες βορειότερα σε σχέση με το πραγματικό. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα σε δύο περιοχές του Ινδικού Ωκεανού που υπήρχαν έντονα καιρικά φαινόμενα για 3 μέρες και 3,5 μέρες αντίστοιχα με ανέμους εντάσεων 6-7 BF, το εικονικό πλοίο να αντιμετωπίζει ηπιότερες συνθήκες, να εκμεταλλεύεται σε ορισμένα σημεία νοτίως της Μαδαγασκάρης τα ευνοϊκά ρεύματα που υπάρχουν και να εξοικονομεί 86 μετρικούς τόνους (6,1% επί της συνολικής κατανάλωσης).

Ταξίδι 18:

Πλοίο 9 χωρητικότητας 300000 άφορτο

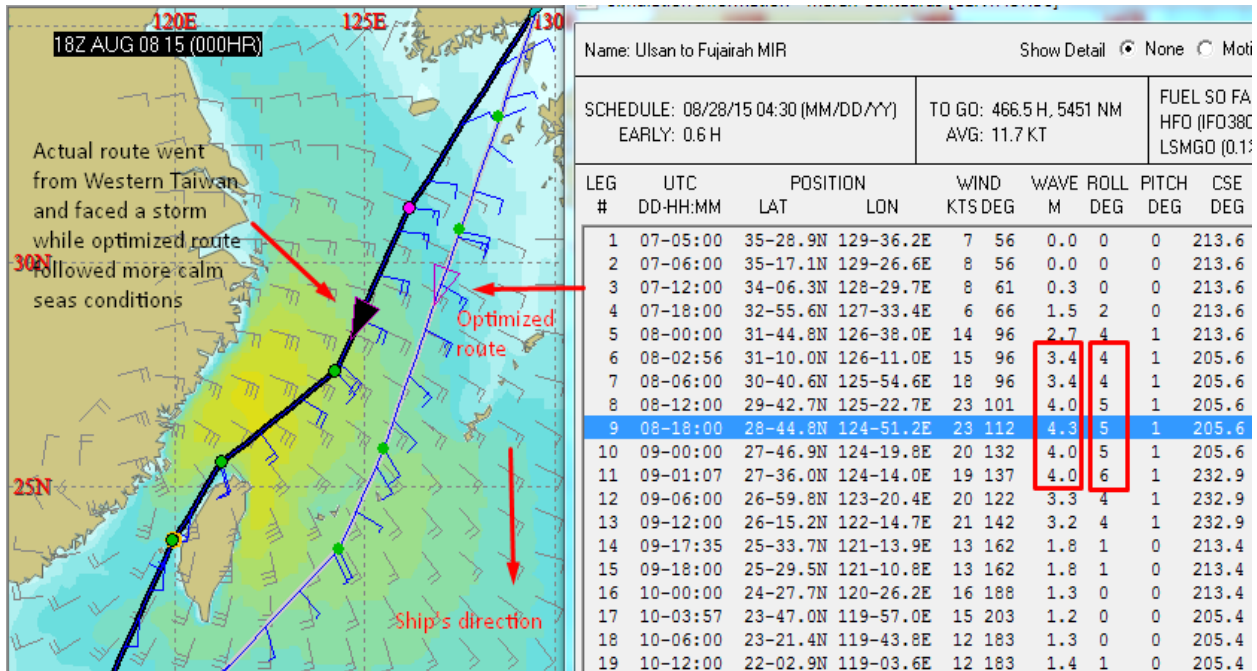
Ταξίδι: Ulsan (South Korea)-Fujairah (UAE)

Ημερομηνίες: 7/8/15- 28/8/15= 19,5 μέρες

Απόσταση: 5644,9 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 1078,4 μετρικούς τόνους HFO

Βορειο-Ανατολική Ασία προς Αραβικό Κόλπο, ένα από τα πιο συνηθισμένα ταξίδια χωρίς φορτίο για πλοία κατηγορίας VLCC. Οι πορείες του πραγματικού και του εικονικού πλοίου ήταν σχεδόν αυτούσιες. Στην αρχή του ταξιδιού όμως υπήρξαν 2 μέρες που έφεραν την μεγαλύτερη εξοικονόμηση για την εικονική προσομοίωση. Το πραγματικό πλοίο επέλεξε να πάει δυτικά της Ταϊβάν και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να βρεθεί σε συνθήκες με ύψος κύματος άνω των 4 μέτρων και παραμετρικής κύλισης άνω των 6 μοιρών την ίδια ώρα που το εικονικό πλοίο είχε μέγιστο ύψος κύματος 2 μέτρα. Στην συνέχεια η εικονική προσομοίωση με καλύτερη διαχείριση της ταχύτητας κατάφερε να εξοικονομήσει σχεδόν 90 τόνους HFO (9,3% διαφορά επί της συνολικής κατανάλωσης).



Ταξίδι 19:

Πλοίο 1 χωρητικότητας 300000 τόνων φορτωμένο με 260000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Bonny (Nigeria)- Santa Cruz de Tenerife (Spain)

Ημερομηνίες: 9/12/14-19/12/14= 9,7 μέρες

Απόσταση: 2839,1 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 599,1 μετρικούς τόνους HFO

Το συγκεκριμένο ταξίδι μεταξύ λιμανιού της Δυτικής Αφρικής για Τενερίφη, έχει μικρά περιθώρια ευελιξίας στην πλοήγηση του πλοίου. Η πορεία του εικονικού πλοίου ήταν κατά 24 ναυτικά μίλια πιο σύντομη (0,84% επί του συνόλου), εκμεταλλεύτηκε ελαφρώς καλύτερα τα ωκεάνια ρεύματα (0,03 διαφορά σε σχέση με την πραγματική πορεία) και εξοικονόμησε 22,4 μετρικούς τόνους HFO (3,7% επί της συνολικής κατανάλωσης)

Ταξίδι 20:

Πλοίο 5 χωρητικότητας 320000 τόνων φορτωμένο με 260000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Aruba (Aruba)- Port Louis (Mauritius)

Ημερομηνίες: 3/9/15- 28/9/15= 25,6 μέρες

Απόσταση: 8161 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 1738,2 μετρικούς τόνους HFO

Ταξίδι με πολύ καλή πορεία από τον καπετάνιο, πολλά κοινά σημεία μεταξύ των δύο διαδρομών με μόνη διαφορά την λίγο καλύτερη εκμετάλλευση των ρευμάτων κοντά στα παράλια της Βραζιλίας. Συνολικά το εικονικό πλοίο κατάφερε να εξοικονομήσει 26 μετρικούς τόνους ΗFO (1,5% διαφορά από την πραγματική κατανάλωση).

Ταξίδι 21:

Πλοίο 10 χωρητικότητας 310000 τόνων φορτωμένο με 210000 τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Ras Al Khaimah (UAE)- Ain Sukhna (Egypt)

Ημερομηνίες: 19/11/15- 28/11/15= 10,2 μέρες

Απόσταση: 2868,9 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 544,6 μετρικούς τόνους ΗFO

Αποτελεί μια από τις πιο σύνηθες διαδρομές στο παγκόσμιο εμπόριο αργού πετρελαίου για όλους τους τύπους πλοίων. Τα καράβια φορτώνουν πετρέλαιο από τον Αραβικό Κόλπο και διαμέσου της διώρυγας του Σουέζ, συνεχίζουν το ταξίδι τους προς την Ευρώπη. Για λόγους αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων η ανάλυση του συγκεκριμένου ταξιδιού σταμάτησε λίγο πριν την άφιξη του στην διώρυγα.

Παρά το ότι δεν υπάρχουν πολλά περιθώρια επιλογών στην συγκεκριμένη διαδρομή το εικονικό πλοίο εκμεταλλεύτηκε πλήρως τα ρεύματα λίγο πριν την είσοδό του στην Ερυθρά Θάλασσα και με καλύτερη διαχείριση ταχύτητας κατάφερε να εξοικονομήσει 29 μετρικούς τόνους καυσίμου(5,3% επί της συνολικής κατανάλωσης).

Ταξίδι 22:

Πλοίο 7 χωρητικότητας 310000 τόνων φορτωμένο με 220000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Al Shaheen (Qatar)- Galle (Sri Lanka)

Ημερομηνίες: 18/6/15- 26/6/15= 6,4 μέρες

Απόσταση: 2107,4 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 439,4 μετρικούς τόνους HFO

Πορεία χωρίς πολλές επιλογές διαφορετικής δρομολόγησης. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτή η διαδρομή ήταν ο μουσώνας που επικράτησε κατά την διέλευση του πλοίου από την περιοχή. Η εικονική πορεία με καλύτερη διαχείριση ταχύτητας κατάφερε να εισέλθει στην καταιγίδα 6 ώρες νωρίτερα και λόγω της κατεύθυνσής της που ακολουθούσε την πορεία του πλοίου, το εικονικό πλοίο είχε καλύτερες συνθήκες περίπου 6 ώρες νωρίτερα από το πραγματικό. Έτσι με σχεδόν μισή μέρα καλύτερων συνθηκών το εικονικό πλοίο εξοικονόμησε περίπου 10 μετρικού τόνους HFO, δηλαδή το 2,3% της συνολικής κατανάλωσης του πλοίου.

Ταξίδι 23:

Πλοίο 8 χωρητικότητας 306000 τόνων άφορτο

Ταξίδι: Long Beach (USA)- Magellan Straits (Argentina)

Ημερομηνίες: 18/6/15- 16/7/15= 27,4 μέρες

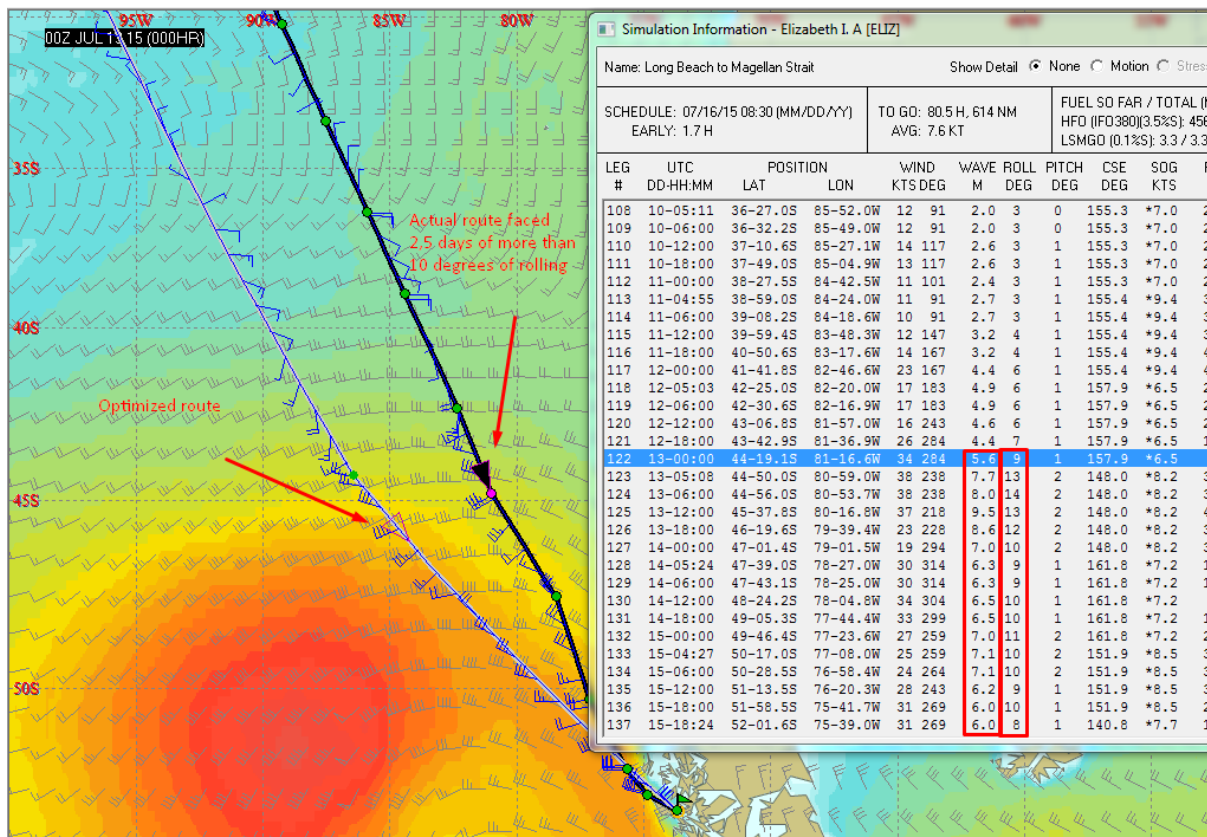
Απόσταση: 5698,2 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 491,4 μετρικούς τόνους HFO και LSMGO

Το συγκεκριμένο ταξίδι έγινε άφορτο από το πλοίο 8, με χαμηλές ταχύτητες (μέσο όρο ταχύτητας πλεύσης 8,66 κόμβους). Επιλέχθηκε λόγω της τοποθεσίας του καθ' ότι διασχίζει κάθετα όλο τον Ειρηνικό Ωκεανό και επίσης για την μελέτη αντίδρασης του εικονικού πλοίου σε σύγκριση με το πραγματικό σε καταιγίδα λίγο πριν τα στενά του Μαγγελάνου. Επειδή το πλοίο συνέχισε την πορεία του μέσα στα στενά, η προσομοίωση σταμάτησε λίγο πριν την είσοδο σε αυτά για λόγους αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

Τα δυο πλοία ακολούθησαν σχεδόν την ίδια πορεία τις πρώτες 9 μέρες του ταξιδιού, στην συνέχεια το εικονικό πλοίο ακολούθησε πορεία 7 μοίρες πιο δυτικά, έχοντας καλύτερες συνθήκες καθ' όλη την διάρκεια των επόμενων 10 ημερών πριν την καταιγίδα στις 13 Ιουλίου.

Λόγω της διαφορετικής θέσης των δυο πλοίων η καταιγίδα επηρέασε πρώτα το εικονικό πλοίο, αλλά λόγω της κατεύθυνσής της, το πραγματικό πλοίο εκτέθηκε σε συνθήκες με κύματα πάνω από 6 μέτρα και παραμετρική κύλιση πάνω από 10 μοίρες για σχεδόν 2,5 μέρες σε αντίθεση με το εικονικό πλοίο το οποίο εκτέθηκε στις ίδιες συνθήκες για 1 μέρα. Σε συνδυασμό με τις καλύτερες συνθήκες που αντιμετώπισε το εικονικό πλοίο καθ' όλη την διάρκεια του ταξιδιού και την σχετικά καλύτερη εκμετάλλευση των ωκεάνιων ρευμάτων (0,2 κόμβους διαφορά), το πραγματικό πλοίο κατανάλωσε 91 μετρικούς τόνους παραπάνω από το εικονικό πλοίο (18,5% διαφορά επί της συνολικής κατανάλωσης).



Ταξίδι 24:

Πλοίο 9 χωρητικότητας 300000 τόνων φορτωμένο με 250000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Ras Al Khaimah (UAE)- Yosu (South Korea)

Ημερομηνίες: 3/7/15- 22/7/15= 19,5 μέρες

Απόσταση: 5644,9 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 1078,4 μετρικούς τόνους HFO

Ταξίδι από τον Αραβικό Κόλπο στην Βορειο-Ανατολική Ασία. Όπως προαναφέραμε, σε περιπτώσεις όπως την παρούσα στην οποία το πλοίο περνάει από τα στενά της Σιγκαπούρης,

ακολουθούνται οι ίδιοι χρόνοι και οι ίδιες ακριβώς πορείες με το πραγματικό πλοίο για λόγους αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

Πορεία με λίγες διαφορές μέχρι την Σιγκαπούρη. Στην συνέχεια ο καπετάνιος προτίμησε να πάει ανατολικά της Ταϊβάν, ενώ το εικονικό πλοίο προτίμησε να πάει δυτικά. Έχοντας ευνοϊκό άνεμο καθ'όλη την διάρκεια πλεύσης, κάνοντας 50 ναυτικά μίλια λιγότερα και ακολουθώντας τα ευνοϊκά ρεύματα της περιοχής η προτεινόμενη δρομολόγηση εξοικονόμησε 35 τόνους HFO (3,24% επί της συνολικής κατανάλωσης).

Ταξίδι 25:

Πλοίο 8 χωρητικότητας 306000 τόνων άφορτο

Ταξίδι: Magellan Straits (Argentina)- La Paloma (Uruguay)

Ημερομηνίες: 18/7/15- 27/7/15= 8,7 μέρες

Απόσταση: 1164,2 ναυτικά μίλια

Το ταξίδι αυτό αποτελεί την συνέχεια του προηγούμενου ταξιδιού, μετά την έξοδο του πλοίου από τα στενά του Μαγγελάνου. Λόγω των πολύ χαμηλών ταχυτήτων (5,59 SOG average) και τις διακυμάνσεις στην ταχύτητα του πλοίου (από 2,5kts μέχρι 8,5kts) δεν θεωρήθηκαν τα αποτελέσματα της ανάλυσης αξιόπιστα για αυτό και δεν παρουσιάζονται. Το μόνο που αξίζει να επισημάνουμε είναι η καλύτερη εκμετάλλευση των θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο κατά 0,40 κόμβους παραπάνω από το πραγματικό.

Ταξίδι 26:

Πλοίο 1 χωρητικότητας 300000 τόνων άφορτο

Ταξίδι: Cilacap (Indonesia)- Bonny (Nigeria)

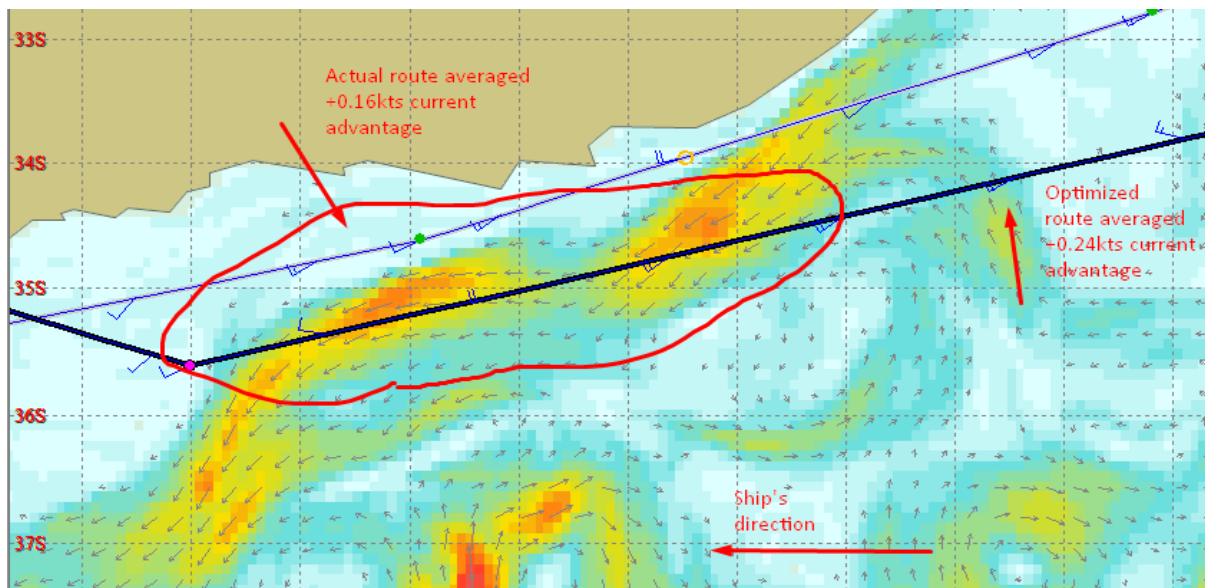
Ημερομηνίες: 5/11/14-29/11/14= 23,6 μέρες

Απόσταση: 7736,9 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 1517,7 μετρικούς τόνους ΗFO

Η προσομοίωση έδειξε εξ 'αρχής διαφορετική κατεύθυνση στο πλοίο, σχεδόν 5 μοίρες νοτιότερα σε σχέση με την πραγματική του πορεία. Στην συνέχεια, το εικονικό πλοίο εκμεταλλεύθηκε για αρκετή ώρα τα ισχυρά ευνοϊκά ωκεάνια ρεύματα της Νότιας Αφρικής σε αντίθεση με το πραγματικό πλοίο το οποίο, όντας πιο βόρεια, δεν είχε την ίδια απόδοση. Μετά το πέρασμα από το Cape Town και τα δυο πλοία ακολούθησαν σχεδόν αυτούσια πορεία με μικρές διαφοροποιήσεις.

Συνολικά η προσομοίωση έδειξε ότι το εικονικό πλοίο, για την ίδια ώρα άφιξης με το πραγματικό, έκανε μια πορεία 130 ναυτικά μίλια πιο σύντομη (1,68% διαφορά), εξοικονόμησε 115,3 μετρικούς τόνους ΗFO (7,59%) και επίσης εκμεταλλεύτηκε περισσότερο τα θαλάσσια ρεύματα +0,08 κόμβους περισσότερο σε μέσο όρο σε σχέση με την πραγματική διαδρομή.



Ταξίδι 27:

Πλοίο 1 χωρητικότητας 300000 τόνων άφορτο

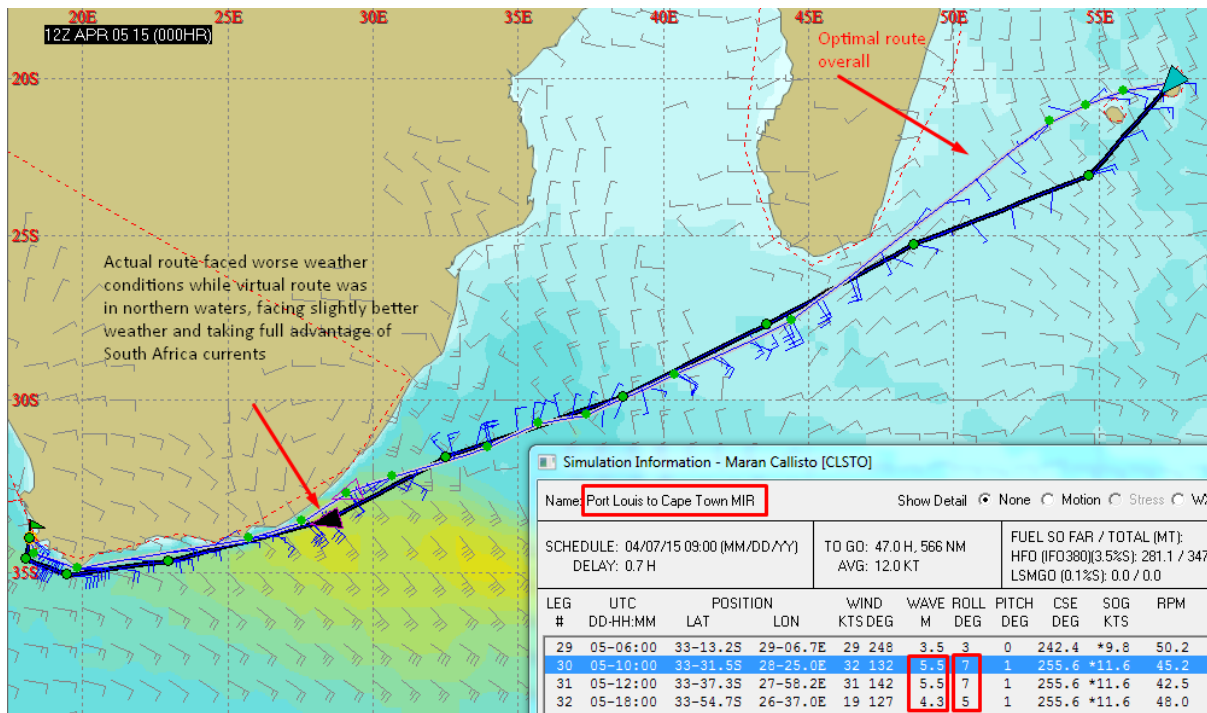
Ταξίδι: Port Louis (Mauritius)- Cape Town (South Africa)

Ημερομηνίες: 30/3/15- 7/4/15= 7,8 μέρες

Απόσταση: 2315,1 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 339,8 μετρικούς τόνους ΗFO

Στο συγκεκριμένο ταξίδι, το εικονικό πλοίο κατάφερε και αξιοποίησε πλήρως τα ισχυρά ρεύματα της Νότιας Αφρικής και την ίδια στιγμή να αντιμετωπίσει ελαφρώς καλύτερες συνθήκες στην καταιγίδα από το πραγματικό πλοίο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το πλοίο να εξοικονομήσει σχεδόν 33,4 μετρικούς τόνους ΗFO (9,82% επί της συνολικής κατανάλωσης) και να εκμεταλλευτεί τα ωκεάνια ρεύματα κατά 0,26 κόμβους περισσότερο από το πραγματικό πλοίο.



Ταξίδι 28:

Πλοίο 10 χωρητικότητας 31000 τόνων άφορτο

Ταξίδι: Cape Town (South Africa) – Angra Dos Reis (Brazil)

Ημερομηνίες: 21/7/15- 31/7/15= 10,2 μέρες

Απόσταση: 3340 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 571,1 μετρικούς τόνους ΗFO

Καθ'όλη την διάρκεια του ταξιδιού επικράτησαν κύματα ύψους μεγαλύτερα των 2 μέτρων, γεγονός που ανέδειξε την σημασία του κατάλληλου speed management και την επιλογή της κατάλληλης πορείας. Το εικονικό πλοίο εκμεταλλεύτηκε λίγο καλύτερα τα θαλάσσια ρεύματα και σε συνδυασμό με την καλή διαχείριση ταχύτητας που έκανε απέφυγε τις πιο

άσχημες καιρικές συνθήκες στον βαθμό που του επιτρεπόταν και κατάφερε εξοικονόμηση περίπου 30 τόνων HFO (5,4% επί της συνολικής κατανάλωσης).

Ταξίδι 29:

Πλοίο 2 χωρητικότητας 300000 τόνων άφορτο

Ταξίδι: Chiba (Japan)- Singapore (Singapore)

Ημερομηνίες: 17/6/15-28/6/15= 10,4 μέρες

Απόσταση: 2855 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 386,1 μετρικούς τόνους HFO

Ταξίδι με δύσκολες καιρικές συνθήκες στις πρώτες 5 μέρες, η εικονική δρομολόγηση «αποφάσισε» να ακολουθήσει πορεία 2 μοίρες πιο δυτικά σε σχέση με την πραγματική πορεία, ενέργεια που οδήγησε σε καλύτερες καιρικές συνθήκες και καλύτερη επίδοση της μηχανής του. Στην συνέχεια και νότια της Σρι Λάνκα, η εικονική δρομολόγηση εκμεταλλεύτηκε άριστα τα ευνοϊκά ισχυρά ρεύματα της περιοχής και σε συνδυασμό με τους ευνοϊκούς ανέμους που έπνεαν είχε την βέλτιστη επίδοση με κατάλληλη διαχείριση της ταχύτητας.

Συνολικά το πραγματικό πλοίο κατανάλωσε 35,5 μετρικούς τόνους καύσιμο περισσότερο από το εικονικό (6,8%) και εκμεταλλεύτηκε τα ωκεάνια ρεύματα κατά 0,33 κόμβους την ώρα λιγότερο από αυτό.

Ταξίδι 30:

Πλοίο 4 χωρητικότητας 320000 τόνων φορτωμένο με 260000 μετρικούς τόνους αργό πετρέλαιο

Ταξίδι: Jose(Venezuela)-Cape Town (South Africa)

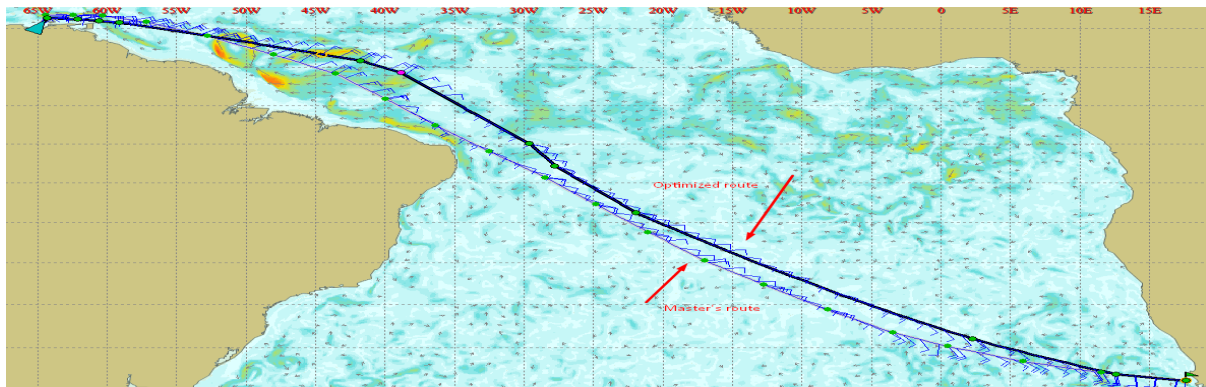
Ημερομηνίες: 2/2/15- 21/01/15= 18,1 μέρες

Απόσταση: 5589,4 ναυτικά μίλια

Κατανάλωση: 1620,7 μετρικούς τόνους HFO

Μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ της πραγματικής και της εικονικής δρομολόγησης. Το πραγματικό πλοίο περνούσε συνεχώς από αρνητικά ρεύματα, με συνέπεια να έχει -0.19 κόμβους ρεύμα μέσο όρο σε όλο το ταξίδι. Η εικονική πορεία εκμεταλλεύτηκε τα ρεύματα που βρίσκονται στις ακτές της Βραζιλίας και είχε διαφορά 0.35 κόμβους στην εκμετάλλευση των ρευμάτων σε σχέση με την πραγματική πορεία.

Συνολικά η βέλτιστη δρομολόγηση εξοικονομεί 125 μετρικούς τόνους HFO(7,7% διαφορά επί της συνολικής κατανάλωσης).



5.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Συνολικά με βάση τα ποσοστά εξοικονόμησης και των 30 ταξιδιών, το συνολικό μέσο όρο εξοικονόμησης συνολικού καυσίμου και HFO και LSMGO ήταν **7,96%**.

Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων χωρίσαμε τα πλοία και τους μέσους όρους εξοικονόμησης καυσίμου σε 3 κατηγορίες:

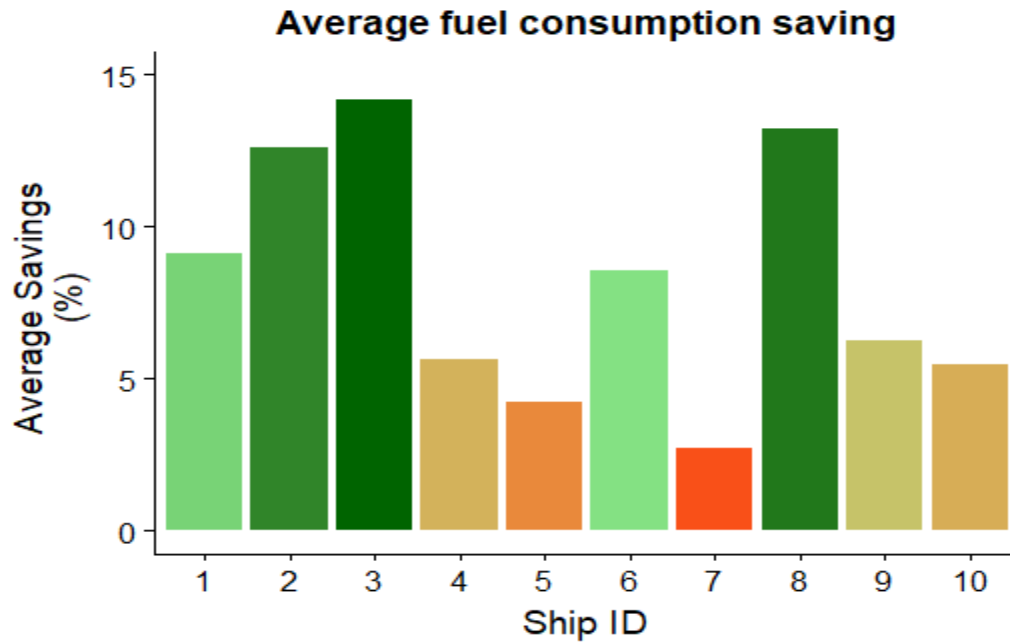
- 1) Μέσοι όροι εξοικονόμησης καυσίμου ανά πλοίο
- 2) Μέσοι όροι εξοικονόμησης καυσίμου ανά αδερφά-πλοία (sister vessels)
- 3) Μέσοι όροι εξοικονόμησης καυσίμου ανά διανυόμενη απόσταση

5.2.1. ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΝΑ ΠΛΟΙΟ

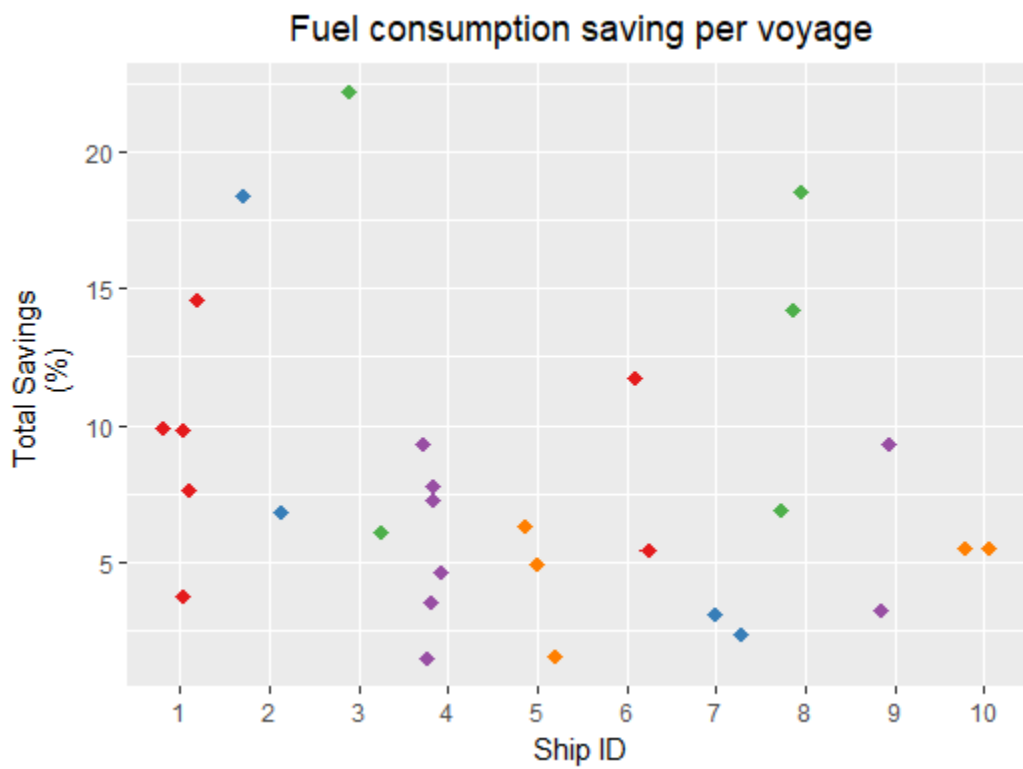
Παρακάτω παρουσιάζονται οι μέσοι όροι του ποσοστού εξοικονόμησης καυσίμου ανά πλοίο. Το πρώτο γράφημα μας δείχνει τους συνολικούς μέσους όρους και το δεύτερο γράφημα μας δείχνει την διασπορά των παρατηρήσεων ανά πλοίο.

Σημαντικό ρόλο στην διακύμανση των μέσων όρων είναι οι διαφορετικές παρατηρήσεις (ταξίδια) ανά πλοίο. Για παράδειγμα για το πλοίο 4 έγιναν 6 αναλύσεις ταξιδιών και αντίστοιχα για το πλοίο 1 έγιναν 5 αναλύσεις. Αντίθετα για τα πλοία 2,3,5,7,10 έγιναν 2 αναλύσεις. Ο λόγος που υπάρχει αυτή η ανακολουθία είναι επιλέχθηκαν ταξίδια τα οποία ήταν άξια σύγκρισης και εμπειρίχαν περιθώρια βελτίωσης.

Άξιο σχολίου αποτελεί το μέσο όρο του «πλοίου 3» το οποίο κατέγραψε το μεγαλύτερο ποσοστό εξοικονόμησης σε ένα ταξίδι (22,4%), και για αυτό τον λόγο έχει και το μεγαλύτερο μέσο όρο. Παρατηρούμε επίσης ότι τα δεδομένα του «πλοίου 7» έχουν μικρή διασπορά, το «πλοίο 10» κατέγραψε το ίδιο ποσοστό και στα δύο ταξίδια (5,4%), ενώ τα υπόλοιπα πλοία παρουσιάζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα με μεγαλύτερες διασπορές και αποκλίσεις ανά ταξίδι.



Μέσοι όροι ποσοστού εξοικονόμησης καυσίμου ανά πλοίο



Διασπορά των παρατηρήσεων του ποσοστού εξοικονόμησης ανά πλοίο

5.2.2. ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΝΑ SISTER VESSELS

Σε αυτή την ανάλυση χωρίζουμε τα πλοία ανά sister vessels, δηλαδή ανά πλοία με τα ίδια χαρακτηριστικά, τις ίδιες μηχανές και τις ίδιες καμπύλες κατανάλωσης.

Τα πλοία έχουν χωριστεί ως ακολούθως:

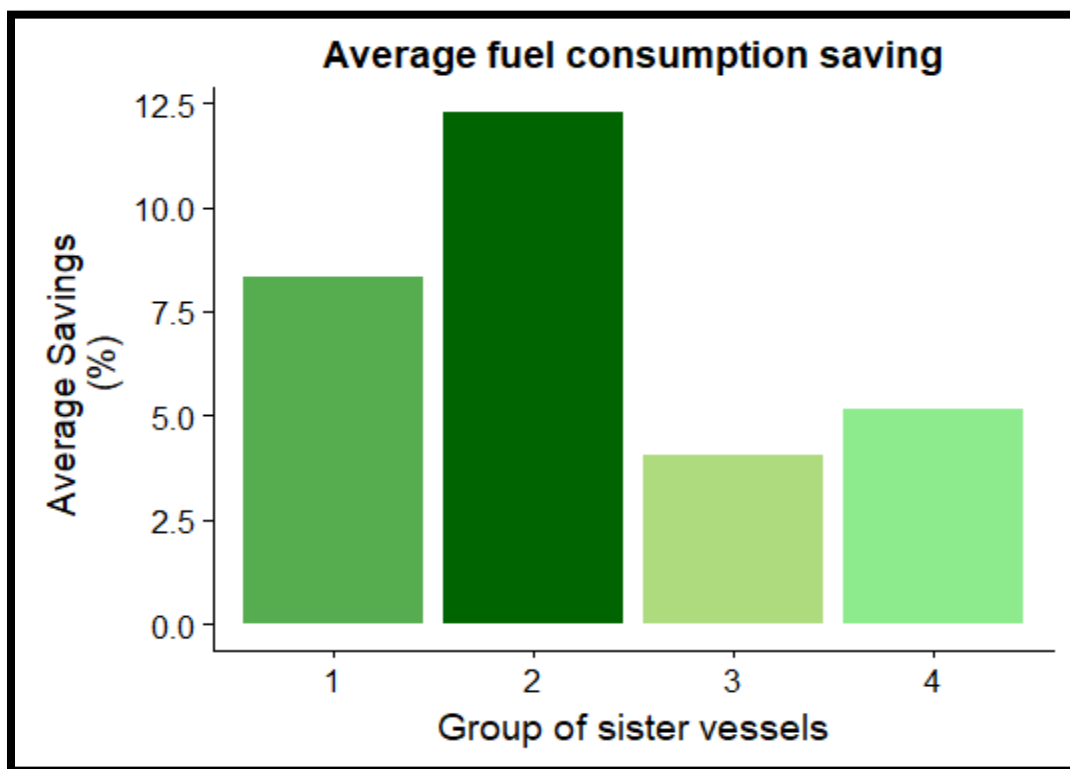
Γκρουπ 1: Πλοία 1 και 9

Γκρουπ 2: Πλοία 2, 3 και 6

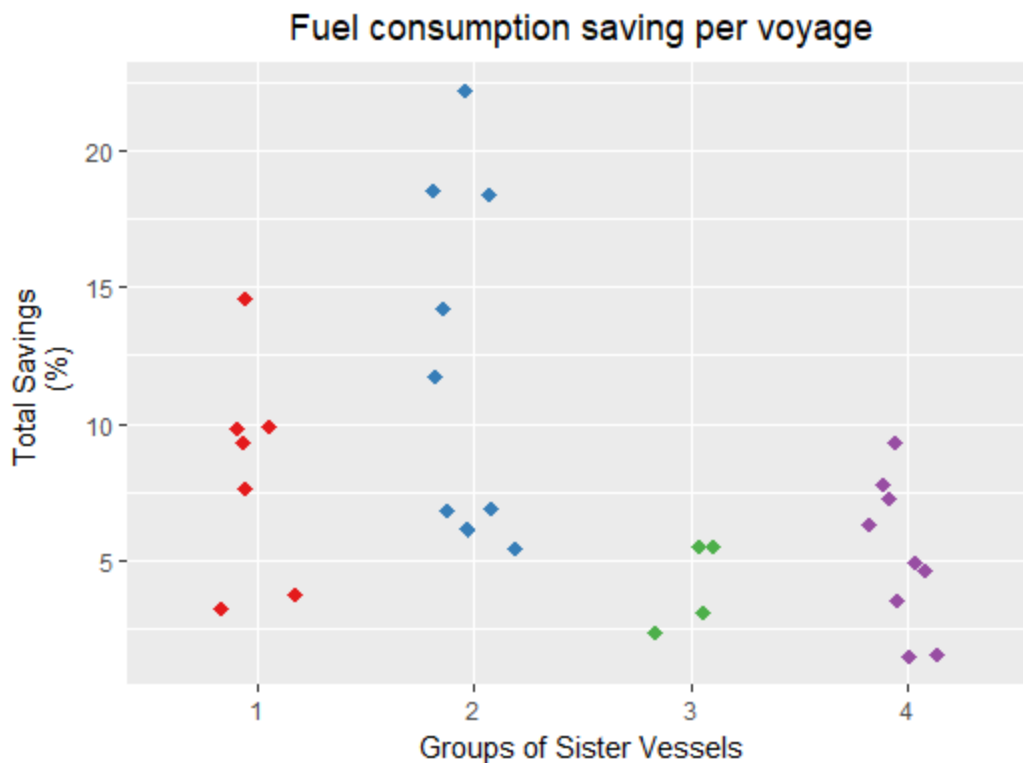
Γκρουπ 3: Πλοία 7 και 10

Γκρουπ 4: Πλοία 4,5 και 8

Δεν μπορούν να αποδοθούν ασφαλή συμπεράσματα με βάση τα ακόλουθα αποτελέσματα, αλλά είναι άξιο σχολιασμού ότι κανένα από τα 9 ταξίδια των πλοίων του τέταρτου γκρουπ δεν ξεπέρασε το ποσοστό του 10% εξοικονόμησης καυσίμου, όπως και η μικρή διασπορά και το μικρό ποσοστό των πλοίων του τρίτου Γκρουπ (2,3%-5,4%).



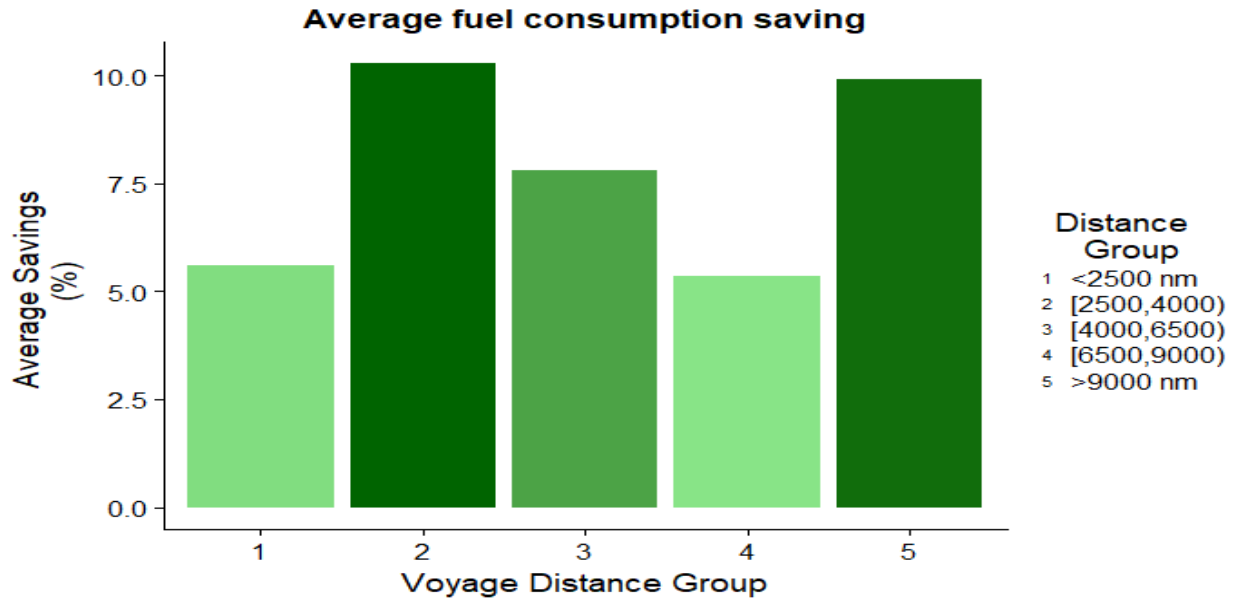
Μέσοι όροι εξοικονόμησης καυσίμου ανά γκρουπ sister vessels



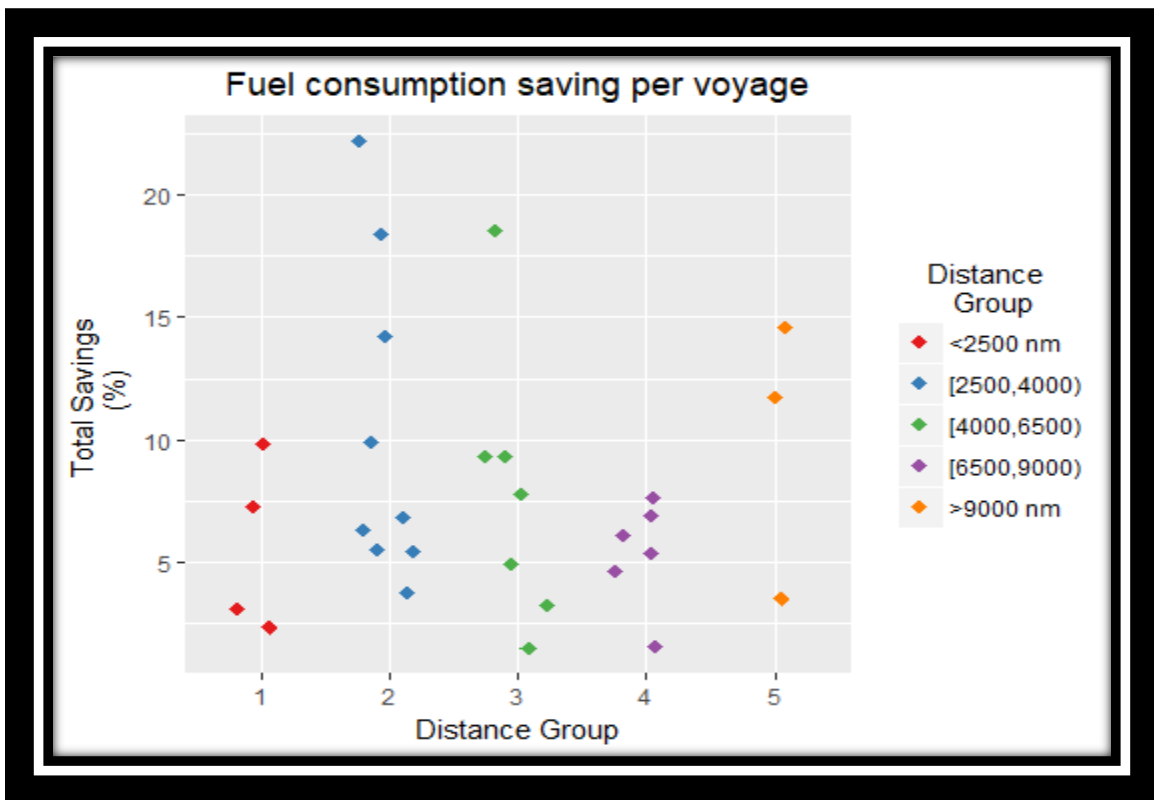
5.3.3. ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΝΑ ΔΙΑΝΥΟΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ

Τέλος, χωρίσαμε τα ταξίδια των πλοίων ανά διανυόμενη απόσταση. Ο λόγος που έγινε αυτός ο διαχωρισμός είναι για να προσπαθήσουμε να αποδώσουμε το εύρος επιρροής των συστημάτων βελτιστοποίησης ανάλογα με την διανυόμενη απόσταση. Όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες τα ποσοστά εξοικονόμησης, δεν παρουσιάζουν κάποια αλληλουχία ή συνέχεια ανά κατηγορία απόστασης.

Τα αποτελέσματα της μη ύπαρξης αλληλουχίας ανά διανυόμενη απόσταση μας αποδεικνύουν ότι η βελτιστοποίηση του ταξιδιού και η επιρροή της στη συνολική κατανάλωση δεν εξαρτάται από την απόσταση, αλλά από τον συνδυασμό όλων των παραγόντων που αναλύσαμε στο 2^ο κεφάλαιο.



Μέσοι όροι εξοικονόμησης καυσίμου ανά διανυόμενη απόσταση



Εύρος τιμών ανά διανυόμενη απόσταση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν να συμβάλει στο θέμα της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων, απαντώντας στην ερώτηση «τι πρέπει να κερδίσουμε εξετάζοντας αυτό το ζήτημα από την άποψη της βελτιστοποίησης του ταξιδιού;»

Η μελέτη χωρίστηκε σε δύο κύρια μέρη. Πρώτον, περιείχε μια περιγραφή των συστημάτων μέτρησης της αποδοτικότητας ενός πλοίου, την ανάγκη που υπάρχει που υπάρχει για βελτιστοποίηση των ταξιδιών στην σύγχρονη αγορά και τους βασικότερους παράγοντες που την επηρεάζουν.

Στην δεύτερη ενότητα, έγινε μια εις βάθος ανάλυση σε παλαιότερες μελέτες πάνω σε θέματα βελτιστοποίησης ταξιδιών, με παρουσίαση των ευρημάτων και των αποτελεσμάτων από τις έρευνες αυτές με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες. Στην συνέχεια, παρουσιάσαμε τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος VVOS (Vessel Voyage Optimization Solutions), το οποίο και αποτέλεσε το εργαλείο προσομοίωσης των ταξιδιών.

Για την έρευνα μας χρησιμοποιήθηκαν εμπιστευτικά δεδομένα από 30 ταξίδια 10 πλοίων VLCC (Very Large Crude Carriers) με σκοπό την έρευνα για το αν θα μπορούσε το ταξίδι αυτό να πραγματοποιηθεί με πιο βέλτιστο τρόπο από τον πραγματικό. Έχοντας πλέον περιγράψει τον τρόπο λειτουργίας του προγράμματος VVOS, αναδείξαμε τα βήματα που ακολουθήθηκαν προκειμένου να γίνει η προσομοίωση των υπάρχων ταξιδιών, η παραγωγή βέλτιστων ταξιδιών και η επιλογή του βέλτιστου ταξιδιού σύμφωνα με την πραγματική ώρα άφιξης του πλοίου.

Στο 5^ο κεφάλαιο περιεγράφηκαν τα βασικά σημεία που οδήγησαν στην εξοικονόμηση καυσίμου ανά ταξίδι και στην συνέχεια παρουσιάστηκαν τα συνοπτικά αποτελέσματα της έρευνας αυτής και αποδόθηκε ότι το μέσο όρο εξοικονόμησης καυσίμου για όλα τα ταξίδια που αναλύθηκαν ήταν 8%.

Οριοθετώντας τα 5 βασικότερα πλεονεκτήματα καταλήγουμε στο ότι η βελτιστοποίηση του ταξιδιού οδηγεί σε:

1. Οικονομία καυσίμων
2. Μείωση ανθρακικού αποτυπώματος
3. Μεγαλύτερη ασφάλεια-μείωση ρίσκου
4. Μείωση ζημιών είτε στο πλοίο είτε στο εμπόρευμα
5. Βελτίωση αξιοπιστίας στον χρόνο άφιξης στο λιμάνι

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ξένα Βιβλιογραφία:

1. Aaron Bowman, 2013: Environmental reporting calculations
2. Accadia C, et al., (2003): Application of a statistical methodology for limited area model intercomparison using a bootstrap technique. *Nuovo Cimento C* 026C:61–78
3. Adegeest L (2008): RESPONSE BASED WEATHER-ROUTING AND OPERATION PLANNING OF HEAVY TRANSPORT VESSELS
4. Aldous L., Smith T., Bucknall R. (2013): Noon report Data Uncertainty. London, Low Carbon Shipping Conference
5. Aldous, L., Smith, T., Bucknall, R. & Thompson, P. (2015): Uncertainty analysis in ship performance monitoring. *Ocean Engineering*
6. Bailey P.A., Hudson D.A., Price W.G., and Temarel P. 2001: Comparisons between theory and experiment in a seakeeping validation. *Royal Institute of Naval Architect* pp.45-78
7. Ballou P., Chen H., Horner J.D 2008: Advanced Methods of Optimizing Ship Operations to Reduce Emissions Detrimental to Climate Change. *Oceans 08 Conference*, 15-18 September 2008, MTS/IEEE Proceedings, Quebec City, Quebec
8. Banks, C., Turan, O., Incecik, A., Theotokatos, G., Izkan, S., Shewell, C. & Tian, X. (2013): Understanding ship operating profiles with an aim to improve energy efficient ship operations. In *Proceedings of the Low Carbon Shipping Conference(LCS)*
9. Bleick, W. & Faulkner, F. 1965: Minimal-time ship routing. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 4, pp. 217-221.
10. Carbon Trust, 2007: Carbon foot printing An introduction for organizations
11. Chen H., 2009: Voyage Optimization Supersedes Weather Routing
12. Chen Henry 2013: Weather routing vs voyage optimization. *Digital Ship* January/February 2013 page 27
13. Chen, H. 1978: A dynamic program for minimum cost routing under uncertainty. PhD thesis at the MIT
14. Crady, J. (2015) "Matthew Fontaine Maury, Father of Oceanography: A Biography, 1806-1873" Εκδόσεις McFarland
15. DNV, 2011: NEWBUILDINGS SPECIAL SERVICE AND TYPE – ADDITIONAL CLASS Ships for Navigation in Ice JULY 2011
16. Dupin, W. F. 1978: Optimization of Ship Routing, *Proceedings*, Second International Symposium on Ship Operation Automation, Washington, D.C., Aug. 30-Sept. 2, 1976, North Holland, New York

17. Endresen, Ø., Sjørgård, E., Behrens, H. L., Brett, P. O., & Isaksen, I. S. A. 2007: A historical reconstruction of ship's fuel consumption and emissions. *Journal of Geophysical Research*, 112
18. Faber, J., Nelissen, D., St Amand, D., Consulting, N., Balon, T., Baylor, M. & Kane, D. (2011): Marginal Abatement Costs and Cost Effectiveness of Energy-Efficiency Measures. Tech. rep. 6
19. Germanischer Lloyd SE. 2013: Guidelines for Determination of the Energy Efficiency Design Index.
20. Haltiner, G. et al. 1962: Minimal-time ship routing, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 1, pp. 1-7.
21. Haltiner, G. et al. 1968: A proposed method for ship routing using long range weather forecasts. *Monthly Weather Review*, Vol. 96, N° 5, pp. 319-322.
22. Hansen H, Freund M (2010): Assistance tools for operational fuel efficiency. Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT), Gubbio, Italy, 356-366
23. Henry Chen (X.X): WEATHER ROUTING: A NEW APPROACH
24. ICCT, 2013: Zero emission trucks An overview of state-of-art technologies and their potential
25. IMO Ref.T5/1.01 Guidelines for voluntary use of the ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) MEPC.1 Circ.684 17.08.2009
26. IMO: MEPC.245(66) 2014 GUIDELINES ON THE METHOD OF CALCULATION OF THE ATTAINED ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI) FOR NEW SHIPS
27. IMO: MEPC58/INF.21 MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE 58th session, 2008
28. IMO:MEPC.282(70): 2016 GUIDELINES FOR THE DEVELOPMENT OF A SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLAN (SEEMP)
29. Implementing a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), Guidance for shipowners and operators, Lloyds Register, June 2012 (version 2.0).
30. Jafarzadeh, S. & Utne, I. 2014: A framework to bridge the energy efficiency gap in shipping. *Energy*, 69, 603-612.
31. Janssen P. et. al, 2000: Diagnosis of the ECMWF ocean-wave forecasting system. ECMWF Technical Memorandum no. 318
32. Kobayashi et. al, 2011: Advanced Navigation Route Optimization for an Oceangoing Vessel TRANSAV *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* Volume 5 Number 3 September 2011
33. Kwon, Y.J., 2008: Speed loss due to added resistance in wind and waves, *14-16 Nav.Archit.* 3,14-16.
34. Lazanoff, S. M. and Stevenson N. M., 1975: "An Education of a Hemispheric Operational Wave Spectral Model," Technological Note 75-3, Fleet Numerical Weather Central, Monterey, Calif.,
35. M. Reichel, A. Minchev & N.L. Larsen (2014): Trim Optimisation - Theory and Practice TRANSAV the *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Volume 8 Number 3 September 2014

36. Majumdar P, Lee E, Patel N, Stafslieen SJ, Daniels J, Chisholm BJ 2008: Development of environmentally friendly, antifouling coatings based on tethered quaternary ammonium salts in a crosslinked polydimethylsiloxane matrix. *Journal of Coatings Technology and Research*, 5(4),
37. Maku E., Eghaghara S., Obed A. , Bright E., Malabanan M. E., 2015: Effect of Piracy in the Maritime Sector . *Asia Pacific Journal of Maritime Education*, Vol. 1, No. 2, June 2015
38. Marpol 73/78 Annex 6,2008: Regulations for the Prevention of Air Pollution for Ships
39. MEPC.1/Circ.683 17 August 2009: GUIDANCE FOR THE DEVELOPMENT OF A SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLAN (SEEMP)
40. Norstad, I., Fagerholt, K., Laporte, G., 2011: Tramp ship routing and scheduling with speed optimization. *Transp. Res. Part C* 19
41. Padhy, C. P., Sen, D., & Bhaskaran, P. K. 2008: Application of wave model for weather routing of ships in the North Indian Ocean. *Natural Hazards*
42. Panigrahi, J. K., Padhy, C. P., Sen, D., Swain, J., & Larsen, O. 2012: Optimal ship tracking on a navigation route between two ports: a hydrodynamics approach. *Journal of marine science and technology*
43. Shao & Zhou 2011: Development of a novel forward dynamic programming method for weather routing. *J Mar Sci Technol* (2012) 17:239–251
44. Sin M. και Xavier Martinez de Oses (χ.X): IMPROVEMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF VESSELS AS A MEASURE FOR THE REDUCTION OF GREENHOUSES GASES EMISSION FROM SEA SHIPPING. *JOURNAL OF MARINE TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT*
45. Skjølvsvik KO, Andersen AB, Corbett JJ, Skjelvik JM 2000: Study of greenhouse gas emissions from ships. International Maritime Organization, MARINTEK, Trondheim, Norway, Issue 2, 10-25,
46. Szlapczynska J. 2009: Multi objective Approach to Weather Routing. *TRANSNAV International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* Volume 1 Number 3
47. Szlapczynska J. 2013: Multicriteria Evolutionary Weather Routing Algorithm in Practice. *TRANSNAV International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* Volume 7 Number 1 September 2013
48. Szlapczynska J. 2014: Multi-objective Weather Routing with Customised Criteria and Constraints. *THE JOURNAL OF NAVIGATION* (2015), 68, 338–354. The Royal Institute of Navigation 2014
49. Szlapczynska J. και Smierzchalski R. (χ.X): An Analysis of MultiObjective Evolutionary Techniques Applicable to Weather Routing
50. Townsin R.L. and Kwon Y.J. 1983: Approximate formulae for the speed loss due to added resistance in wind and waves
51. UNCTAD 2016: Review of Maritime Transport
52. UNCTAD/RMT 2016: Review of Maritime Transport 2016
53. Watson, D. G. M. 1981: Designing Ships for Fuel Economy, 46th Parson's Memorial Lecture

54. Zakaria N.M.G. 2007: Effect of Ship Size, Forward Speed and Wave Direction on Relative Wave Height of Container Ships in Rough Seas

Ελληνική Βιβλιογραφία:

1. Βαρελάς Τ., Αρχοντάκη Σ. 2013: Optimizing Ship Routing to Maximize Fleet Revenue at Danaos. Interfaces: Vol. 43, No. 1, January–February 2013, pp. 37–47
2. Θεοδοσίου Δ., Γρηγορόπουλος Γ. 2005: Optimal routing decision support systems. 1st Internat. Sympos. Ship Operational Management Econom.
3. Κουλούρης Φ. 2014: Διπλωματική Εργασία: Ενεργειακή Απόδοση Φορτηγών Πλοίων

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία:

1. Καραγεώργος Λ. 2015: Πώς θα μειώσει η διεθνής ναυτιλία τους ρύπους CO2 έως το 2050. Ανακτήθηκε 15 Μαΐου 2017, από <http://www.naftemporiki.gr/finance/story/1009971/pos-tha-meiosei-i-diethnis-nautilia-tous-rupous-co2-eos-to-2050>
2. http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=26531&filename=684.pdf Ανακτήθηκε 18 Ιουλίου 2017
3. Osborn C. (2016). <https://blogs.loc.gov/maps/2016/01/charting-the-gulf-stream/> Charting the Gulf Stream. Ανακτήθηκε 25 Ιουλίου 2017
4. <https://www.safety4sea.com/dnv-impact-of-eedi-and-seemp/> Ανακτήθηκε 15 Οκτωβρίου 2017
5. <https://www.marineinsight.com/maritime-law/energy-efficiency-management-in-the-maritime-industry/> Ανακτήθηκε 12 Οκτωβρίου 2017

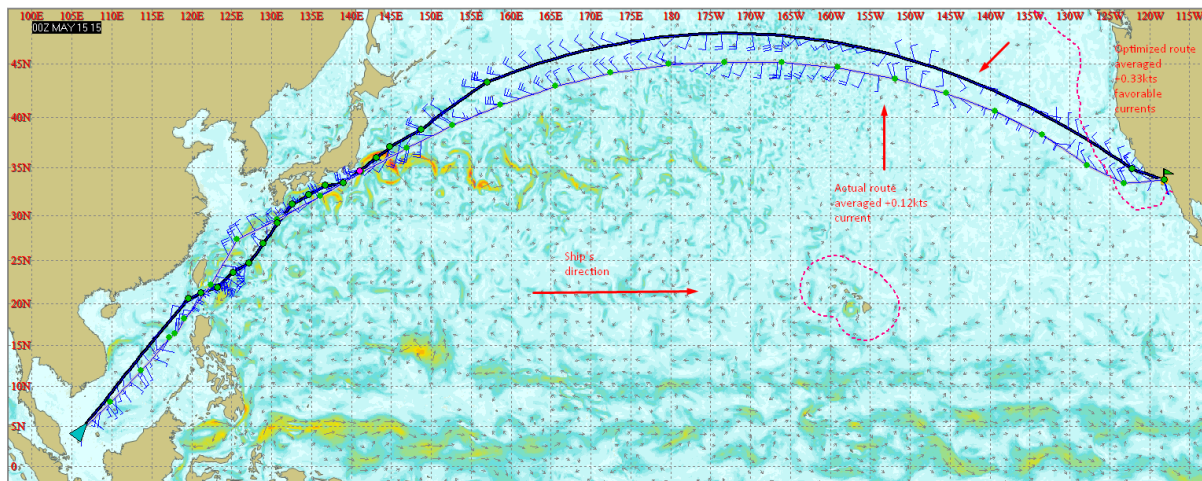
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ταξίδι 1:

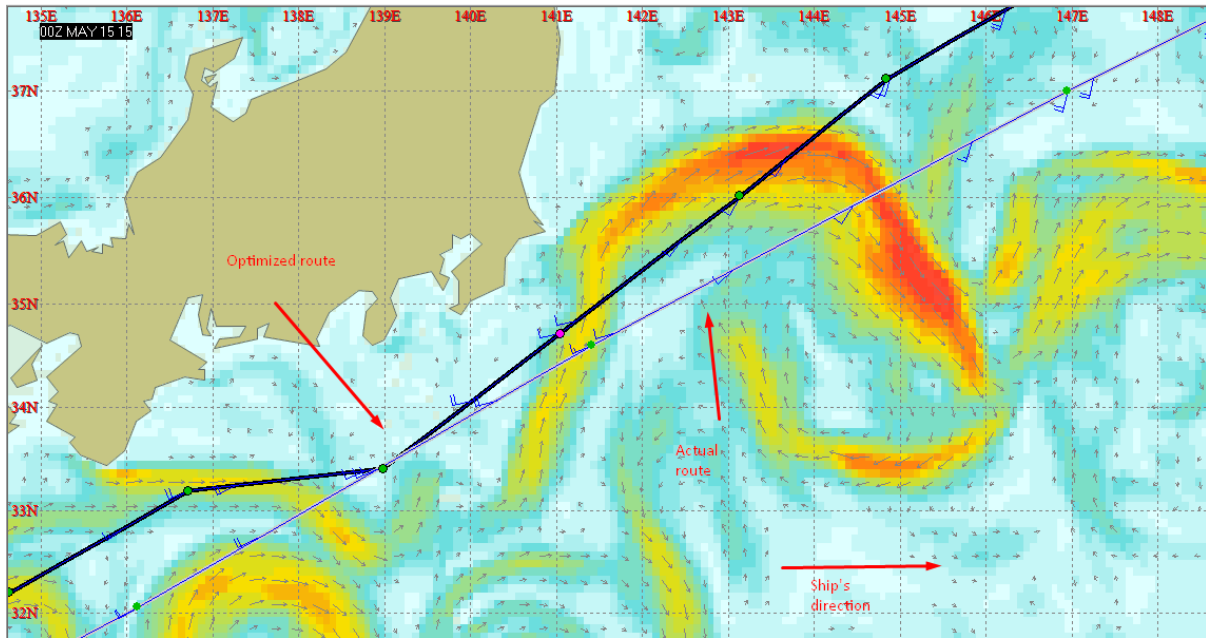
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Singapore- Long Beach

Route Comparison		27nm less		30mt more		101mt less		Better current		Better sealepping																		
Route		Set as Op Route		Sort by (Fuel)		LSMGO		consumption		advantage																		
Route Name		ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO	LSMGO	Total Bunkers	SOG	STW	Average	Power	WX	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Diff				
		dd:hh:mm	hrs	hrs	nm	No	mt	mt	mt	mt	mt	kts	kts	kts	RPM	kW	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$				
1	Optimal_51_Rv/	30-12-18	-1.7	585.8	7490.0	No	1287.6	0.0	84.3	0.0	1371.8	0.0	12.79	12.46	0.33	59.0	13.652	1.06	8%	5.5	11.7	1.3	0.1	0.3	0	443.4K	443.4K	0
2	Singapore to Long Beach MIR	30-12-28	-1.5	586.0	7517.7	No	1419.0	131.4	54.0	-30.3	1473.0	101.0	12.83	12.71	0.19	60.8	15.151	1.07	10%	6.1	14.7	1.4	0.1	0.4	0	468.2K	468.2K	24.8K

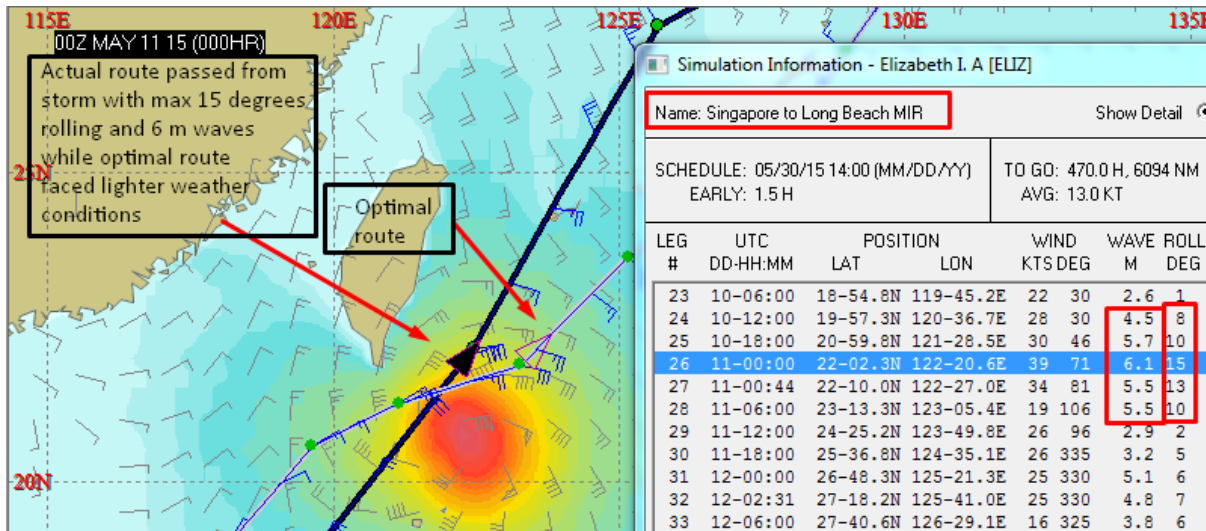
Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό



Εικόνα 4: Η συμπεριφορά πραγματικού και εικονικού πλοίου σε άσχημες καιρικές συνθήκες



Ταξίδι 2:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Algeciras-Galveston

Route Comparison

Optimal route burned 125.3mt less bunkers while route out of ECA zone burned 92.3mt less bunkers than Master's actual route

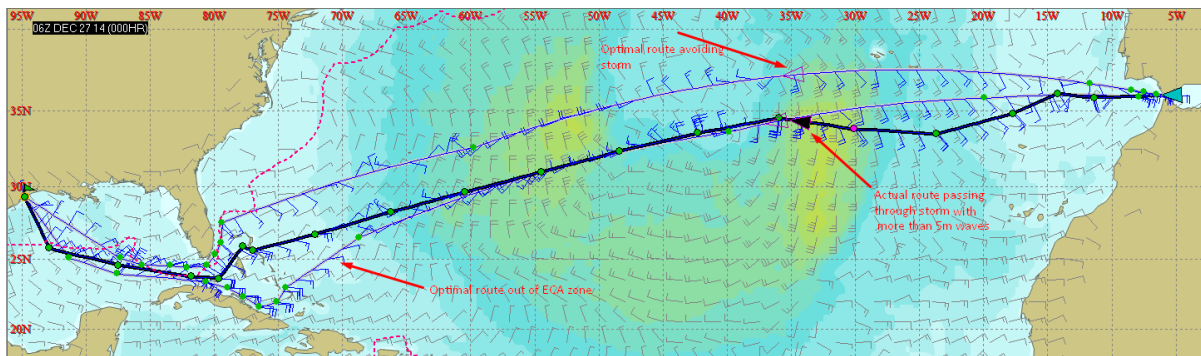
Both optimized routes(in and out of ECA zones) are avoiding storm in Atlantic Ocean and have safer performance

Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO		LSMGO		Total Bunkers		Average		Maximum													
						D/W	D/W	D/W	D/W	mt	mt	mt	mt	kt	kt	kt	RPM	Power	W/X	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker
dd:hh:mm	hrs	hrs	hrs	nm	nm	mt	mt	mt	mt	mt	mt	kt	kt	kt	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
1 Algeciras to Galveston optimized route	07-10-31	-1.5	3817	4791.3	No	1039.8	0.0	178.0	0.0	12176.5	0.0	12.55	12.64	0.03	56.7	15,974	1.08	5%	3.3	3.3	0.4	0.1	0.1	0	415.8K	415.8K	0
2 Algeciras Galveston optimized route out of ECA zone	07-11-02	-1.0	3822	4963.8	No	1295.9	215.6	54.7	-123.3	13102	92.3	12.99	12.97	0.02	58.0	17,055	1.06	4%	3.7	2.9	0.5	0.1	0.1	0	417.9K	417.9K	2.1K
3 Algeciras to Galveston MIR	07-10-36	-1.4	381.8	4930.1	No	1236.6	195.7	107.6	-70.5	13432	125.3	12.91	13.01	-0.10	58.3	17,345	1.06	5%	5.1	5.1	0.9	0.1	0.1	0	439.5K	439.5K	23.7K

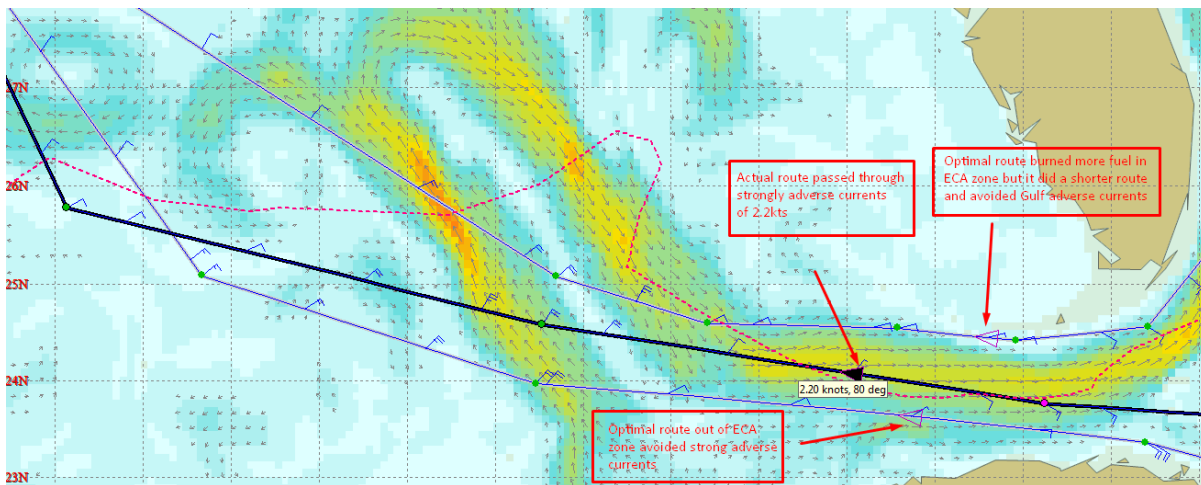
Optimal route covered 140nm less than Master's route and 173nm less than "optimal route out of ECA zone"

Route out of ECA zone has a slightly better current advantage than optimal route and Master's route

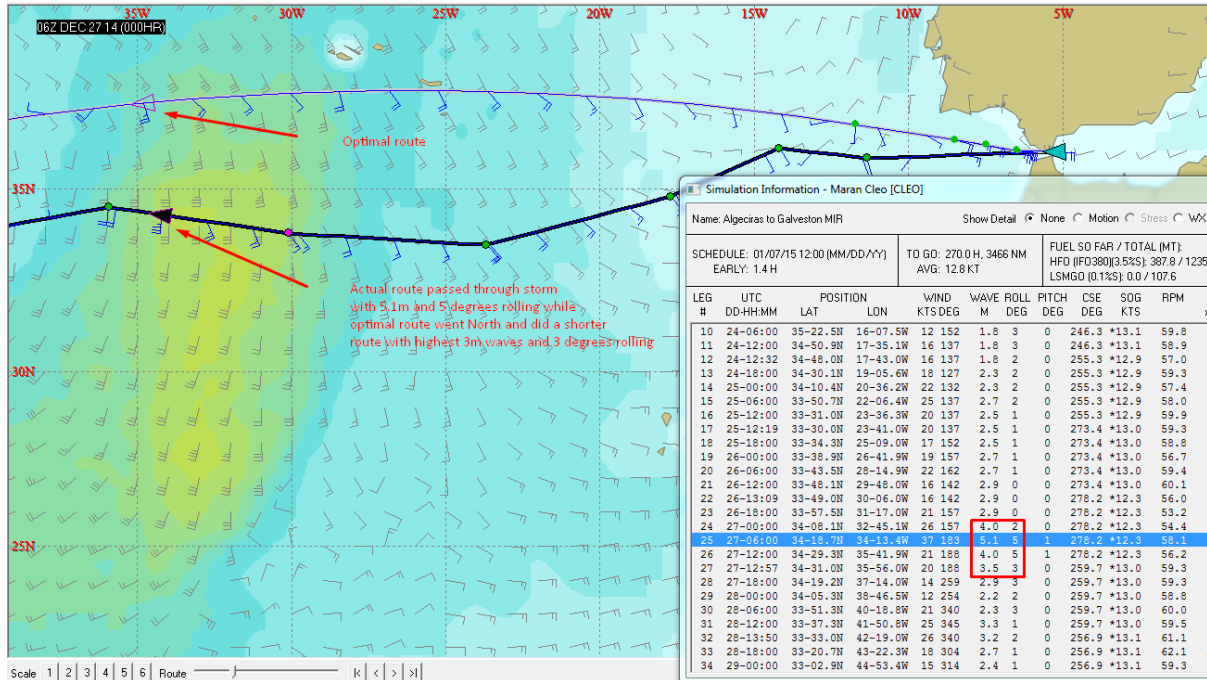
Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό



Εικόνα 4: Απεικόνιση της διέλευσης του πραγματικού πλοίου μέσα από καταιγίδα στον Ατλαντικό Ωκεανό



Ταξίδι 3:

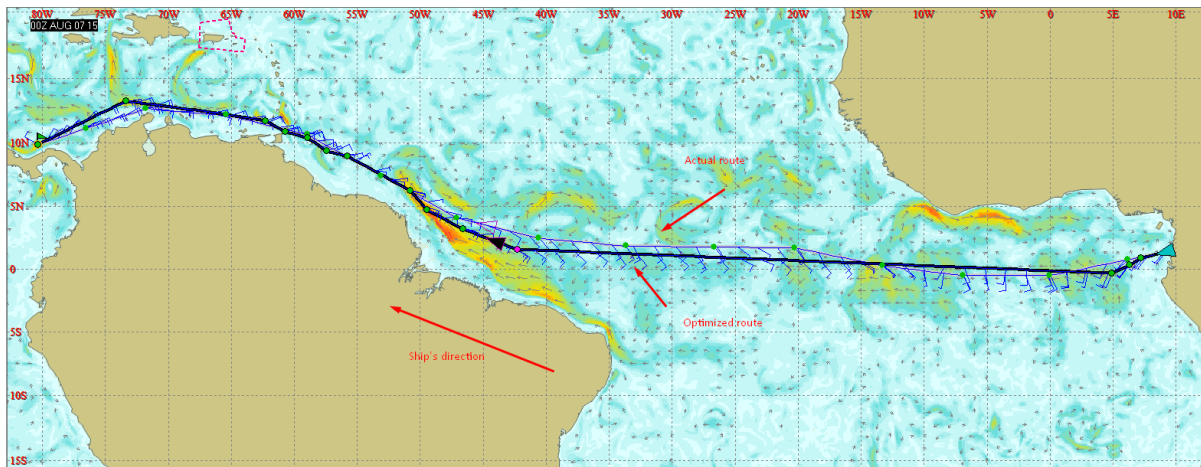
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Ceiba- Chiriqui Grande

Route Comparison 62nm more 58mt less

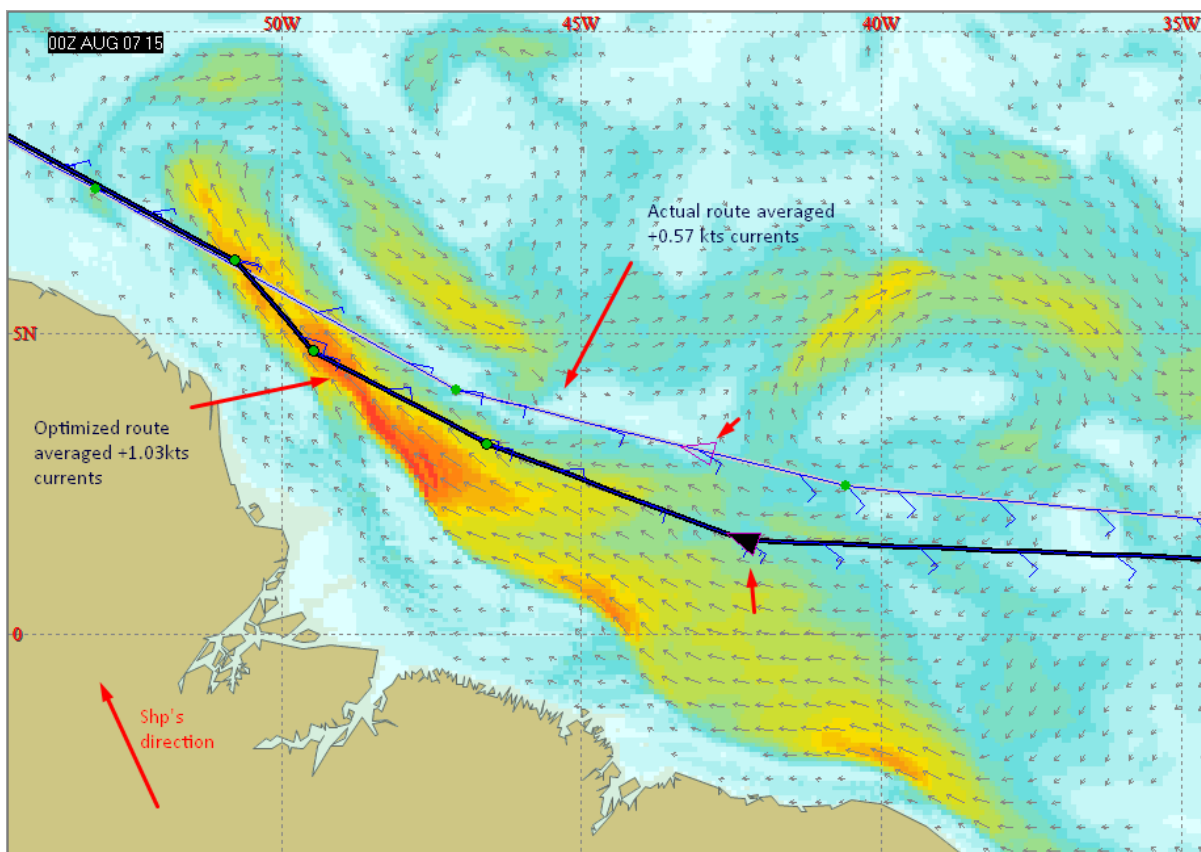
Route: Ceiba to Chiriqui Grande Set as Op Route Sort by: Fuel Cost consumption Better current advantage Better seakeeping performance

Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO		LSMG0		Total Bunkers		SOG		STW		Current		Average		Maximum		Cost					
						mt	Dif	mt	Dif	mt	Dif	mt	Dif	mt	Dif	mt	Dif	mt	Dif	mt	Dif	mt	Dif	mt	Dif	mt	Dif
1 Optimal_38_Rw	13:16:19	-2.7	352.8	5587.4	No	1130.2	0.0	0.0	0.0	1130.2	0.0	15.84	14.81	1.03	61.6	15.677	1.03	---	2.2	3.2	0.4	0.1	0.1	0	350.4K	350.4K	0
2 Ceiba to Chiriqui Grande	13:16:15	-2.7	352.8	5525.4	No	1188.3	58.1	0.0	0.0	1188.3	58.1	15.66	15.10	0.57	62.8	16.728	1.03	---	2.8	4.8	0.4	0.1	0.1	0	368.4K	368.4K	18.0K

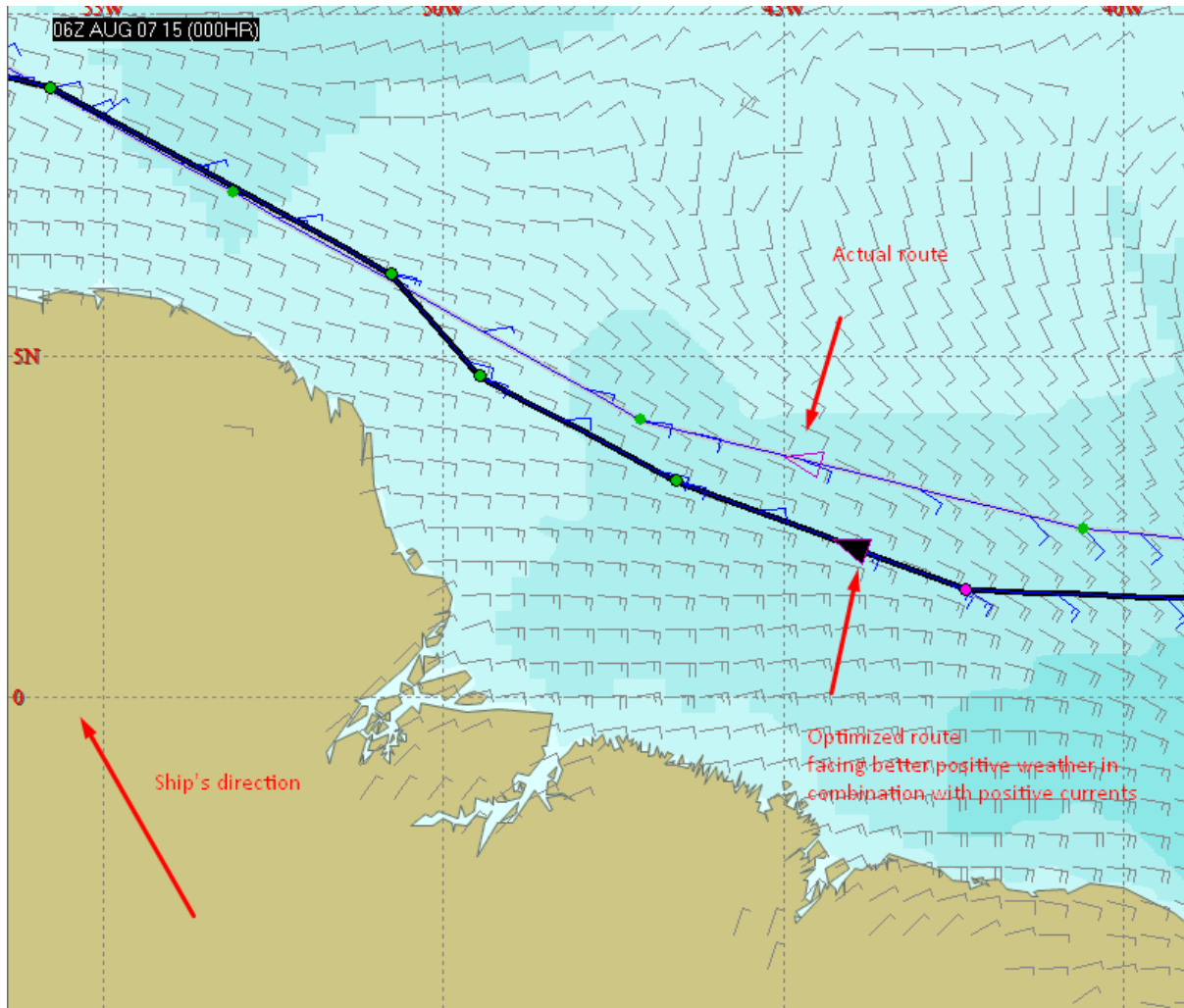
Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό



Εικόνα 4: Απεικόνιση της επίδοσης του εικονικού και του πραγματικού πλοίου στις ευνοϊκές καιρικές συνθήκες

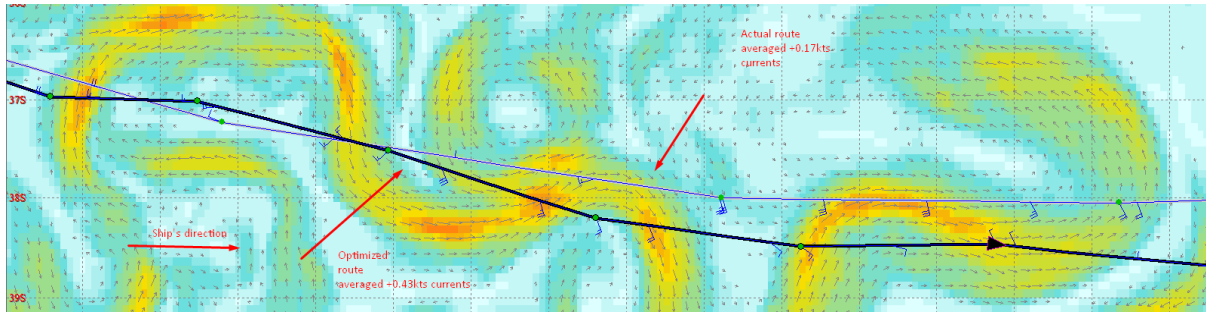


Ταξίδι 4:

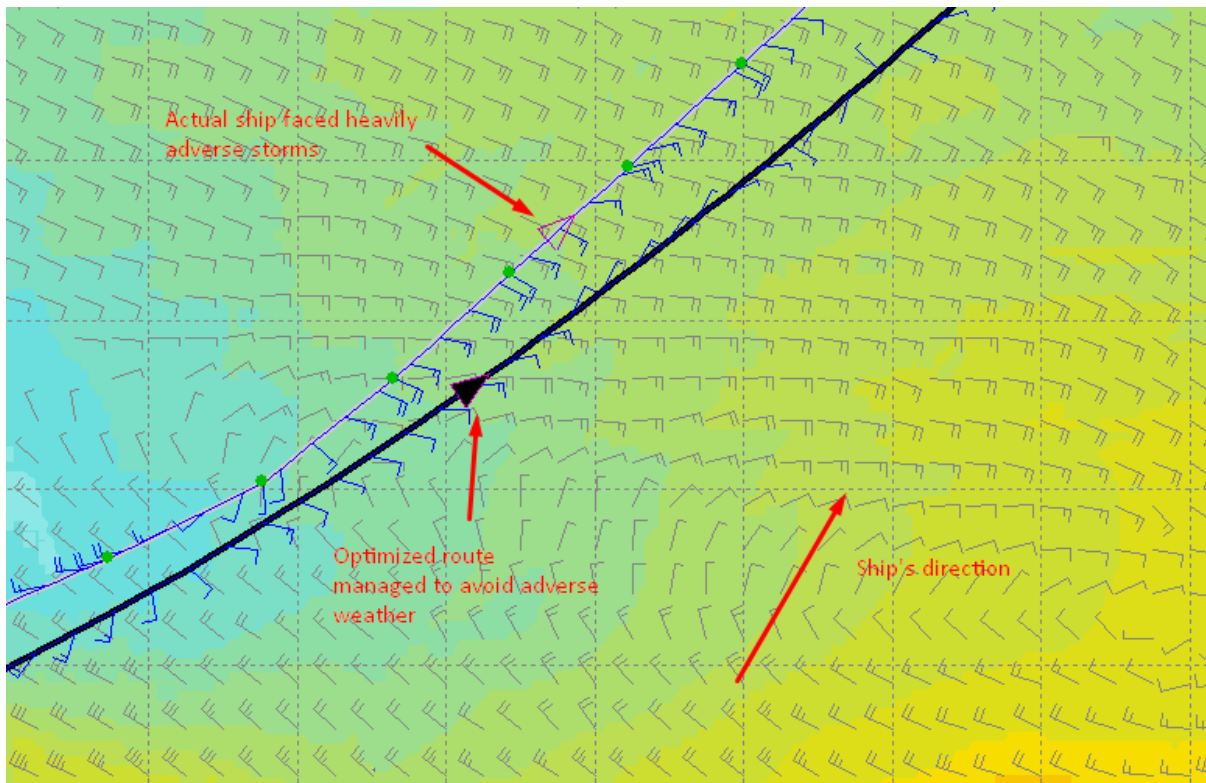
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής La Paloma- Rizhao

Route Name		ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO	LSMGQ	Total Bunkers	SGQ	STW	Average	Power	W/C	Slip	Maximum				Cost								
		dHhmm	hrs	hrs	nm	No	mt	mt	mt	mt	mt	kts	kts	kts	%	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Dif				
																m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$				
1	Optimized route	14-10-16	-673.2	273.3	3524.1	No	666.6	0.0	0.0	0.0	666.6	0.0	12.90	12.68	0.22	60.2	14.314	1.08	9%	6.2	3.1	1.0	0.1	0.2	0	206.6K	206.6K	0
2	La Paloma to Rizhao Optimized	12-09-17	-303.8	177.2	1195.0	No	2270.0	1603.4	0.0	0.0	2270.0	1603.4	12.55	12.38	0.17	59.4	13.987	1.13	10%	10.3	35.2	2.2	0.3	0.8	0	703.7K	703.7K	497.1K
3	La Paloma to Rizhao MIRI	12-09-17	-2.2	944.3	11950.0	Yes	2270.0	1603.4	0.0	0.0	2270.0	1603.4	12.55	12.38	0.17	59.4	13.987	1.13	10%	10.3	35.2	2.2	0.3	0.8	0	703.7K	703.7K	497.1K

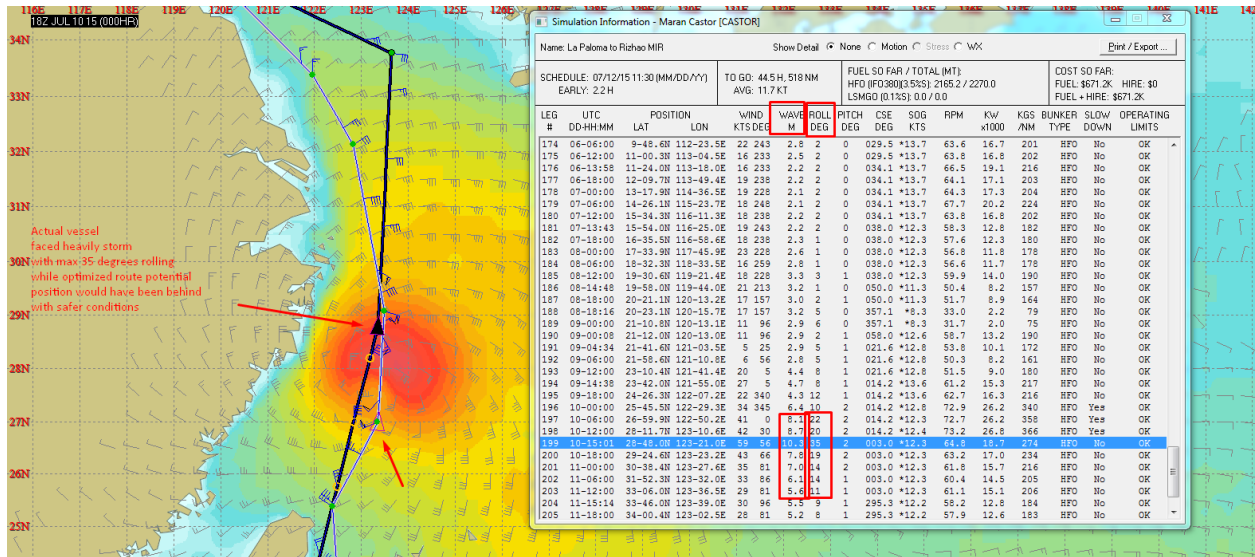
Εικόνα 2: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό



Εικόνα 3: Η συμπεριφορά πραγματικού και εικονικού πλοίου σε άσχημες καιρικές συνθήκες



Εικόνα 4: Η συμπεριφορά πραγματικού και εικονικού πλοίου σε άσχημες καιρικές συνθήκες



Ταξίδι 5:

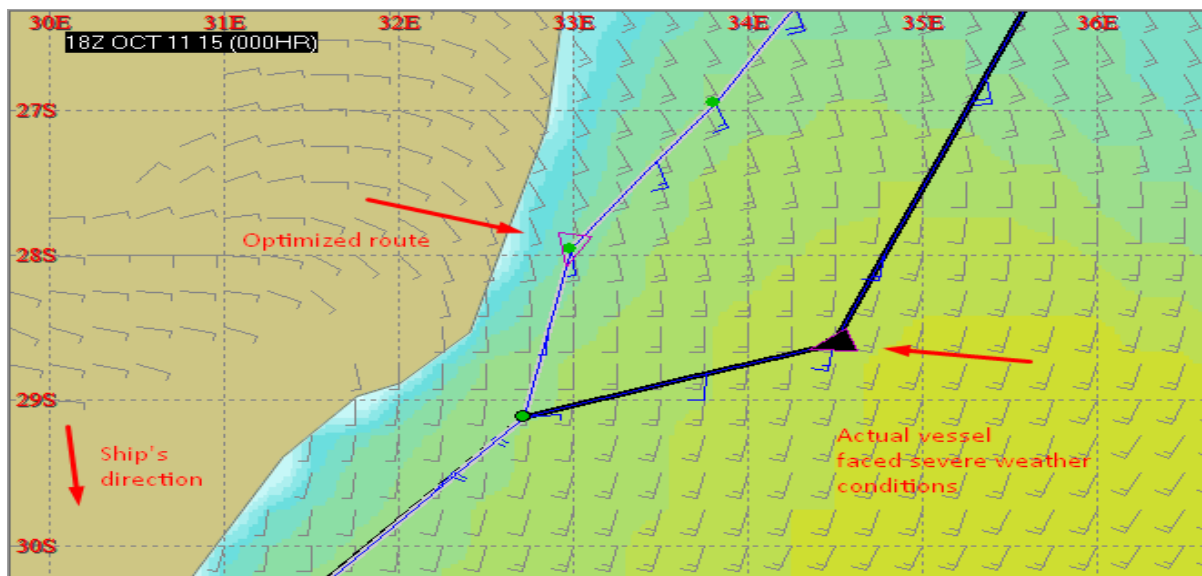
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Moroni-Antifer

Route Comparison

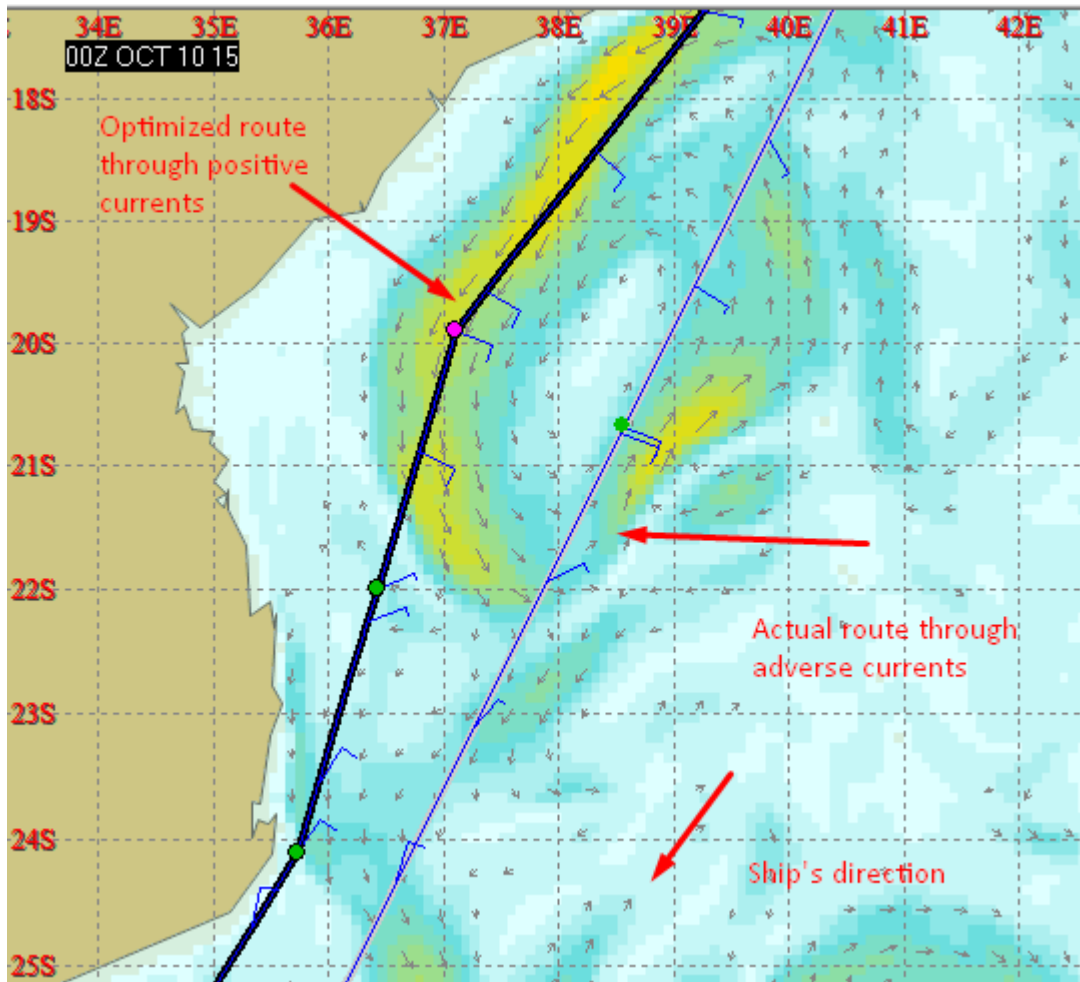
Route: Moroni to Antifer optimal route Set as Op Route Sort by Fuel Time Cost

Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	Total Bunkers				Average				Maximum				Cost										
						HFO	LSMGO	Total	Diff	Current	RPM	Power	W/C	Slip	Wave	Roll	Pitch	V.Acc.	L.Acc.	Hire	Bunker	Total	Diff					
	dd:hh:mm	hrs	hrs	mm	No	mt	mt	mt	mt	mt	mt	kts	kts	kts	kw	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$			
1 Moroni to Antifer optimal route	03:03:11	-1:3	620.7	8308.4	No	2183.7	0.0	26.6	0.0	23138	0.00	13.22	13.05	0.26	68.7	17.545	1.07	24	5.0	11.8	1.1	0.2	0.3	0	732.1K	632.1K	0	0
2 Moroni to Antifer Master's actual route	03:03:31	-1:0	621.0	8308.2	No	2262.8	82.1	56.9	24.3	2319.8	106.4	13.38	13.21	0.16	59.4	18.358	1.08	4%	5.3	13.1	1.1	0.2	0.3	0	731.4K	731.4K	38.2K	0

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικής με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το ει-
κονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό



Ταξίδι 6:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα της διαδρομής Chiba-Singapore

Route Comparison

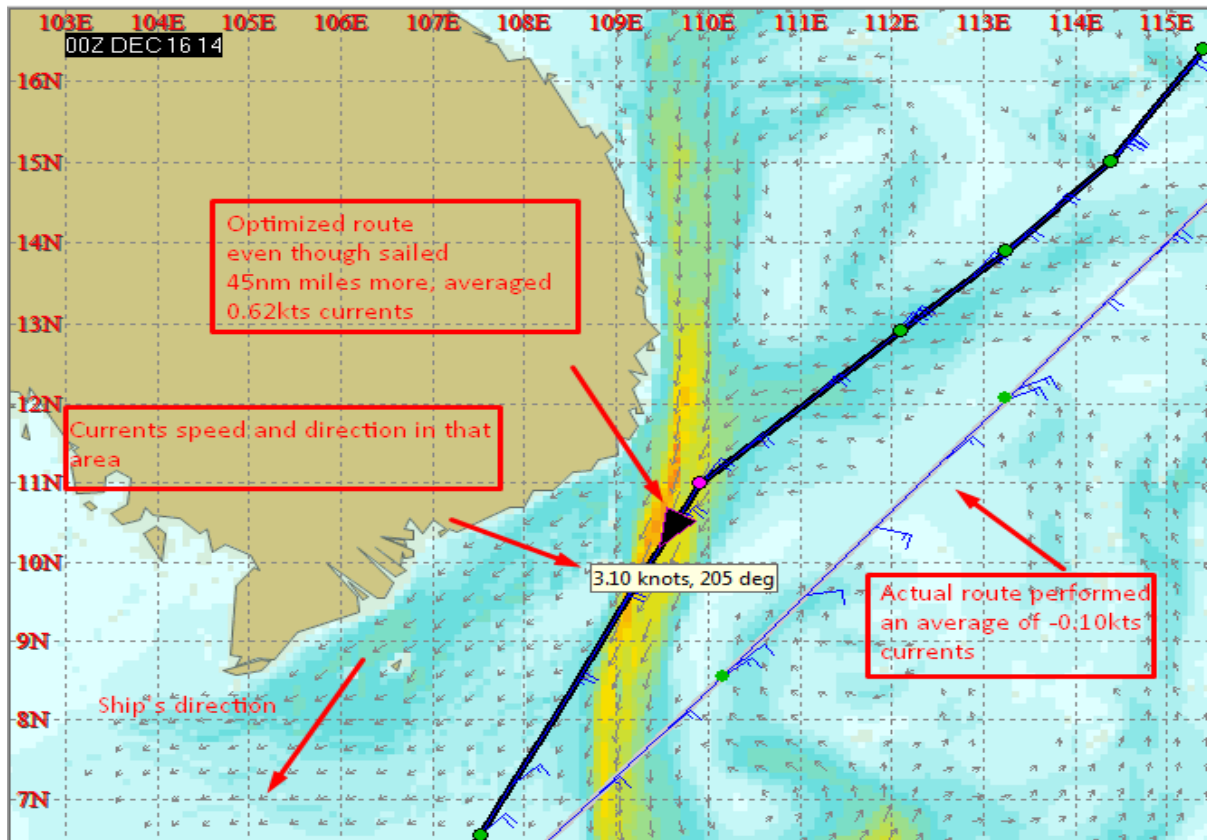
47nm more 71mt less consumption

Sort by Fuel Time Cost

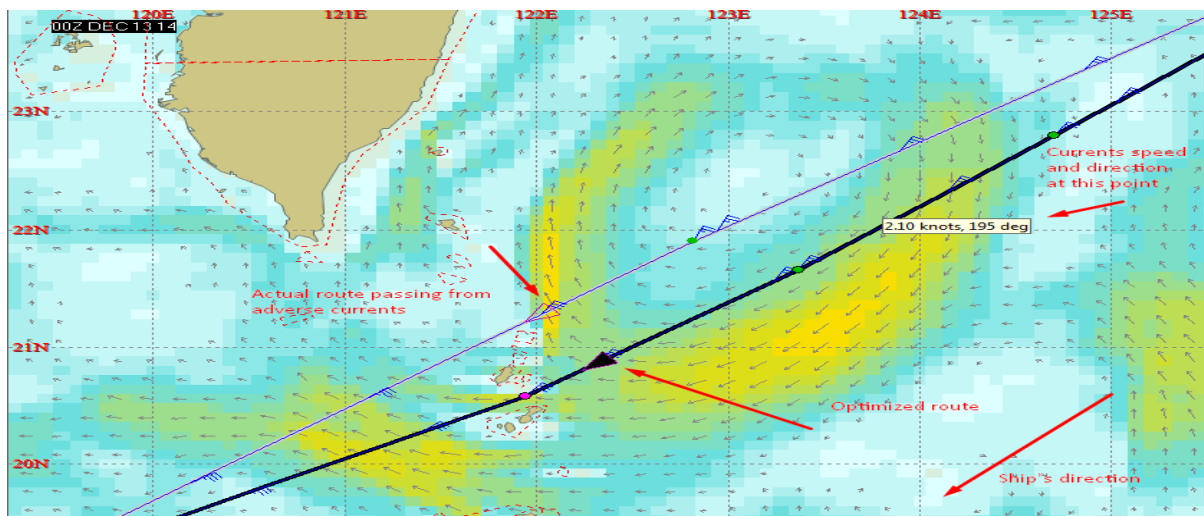
Much better current advantage

Route Name	ETA	Delay	Time	Dist	Slow Down	HFO	LSMGO	Total Bunkers	SOG	STW	Average Current	RPM	Power	W/S	Slip	Maximum				Cost							
	dd-hh:mm	hrs	hrs	nm	No	mt	mt	mt	mt	kts	kts	kts	kw	%	m	deg	deg	g	g	Hire	Bunker	Total	Diff				
1 Optimal_31_RW	18-14:14	-0.3	250.2	2302.3	No	315.2	0.0	0.0	0.0	315.2	0.0	11.60	10.98	0.62	43.3	5,724	0.98	...	5.4	2.3	0.7	0.1	0.1	0	97.7k	97.7k	0
2 Chiba to Singapore Master's route	18-13:59	-0.5	250.0	2359.2	No	386.1	71.0	0.0	0.0	386.1	71.0	11.42	11.53	0.10	47.6	7,184	1.01	...	5.4	2.2	0.7	0.1	0.1	0	113.7k	113.7k	22.0k

Εικόνα 2: Εκμετάλλευση ρευμάτων



Εικόνα 3: Εκμετάλλευση ρευμάτων νότια της Ταϊβάν



Ταξίδι 7:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Antifer-Bonaire

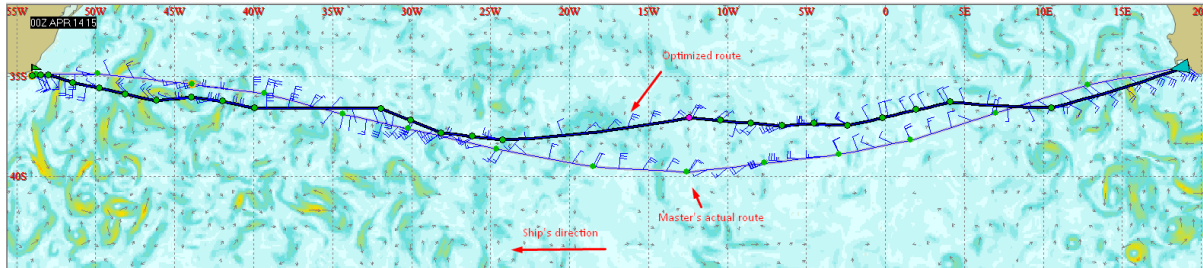
Route Name		ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFD	LSMGD	Total Bunkers	Average	Maximum	Cost																
		dd-hh:mm	hrs	hrs	nm		mt	Dif	mt	Current	RPM	Power	W/X	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Dif					
1	Optimized route 1	02:14:47	-1.2	369.3	4084.6	Yes	564.1	0.0	39.9	0.0	604.0	0.0	11.06	10.93	0.13	44.2	7.583	1.10	...	3.1	4.6	0.1	0.2	0	195.6K	195.6K	0	
2	Antifer to Bonaire Terminal MIR	02:15:05	-0.9	369.6	4043.4	Yes	570.7	6.6	42.2	2.3	612.6	8.8	10.94	10.98	-0.04	44.3	7.739	1.10	...	3.1	4.7	0.7	0.1	0.2	0	199.1K	199.1K	3.2K

Ταξίδι 8:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Cape Town-La Paloma

Route Name		ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFD	LSMGD	Total Bunkers	Average	Maximum	Cost																
		dd-hh:mm	hrs	hrs	nm		mt	Dif	mt	Current	RPM	Power	W/X	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Dif					
1	Optimal_69_Rw	21:15:18	-0.2	341.3	3583.2	No	429.6	0.0	0.0	429.6	0.0	10.50	10.18	0.32	49.0	6.869	1.20	...	5.6	8.2	1.0	0.2	0.3	0	133.2K	133.2K	0	
2	Cape Town La Paloma MIR	21:16:14	0.7	342.2	3544.4	Yes	476.9	47.3	0.0	0.0	476.9	47.3	10.36	10.39	-0.02	50.2	7.614	1.20	...	5.4	8.0	1.0	0.2	0.3	0	147.8K	147.8K	14.7K

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου

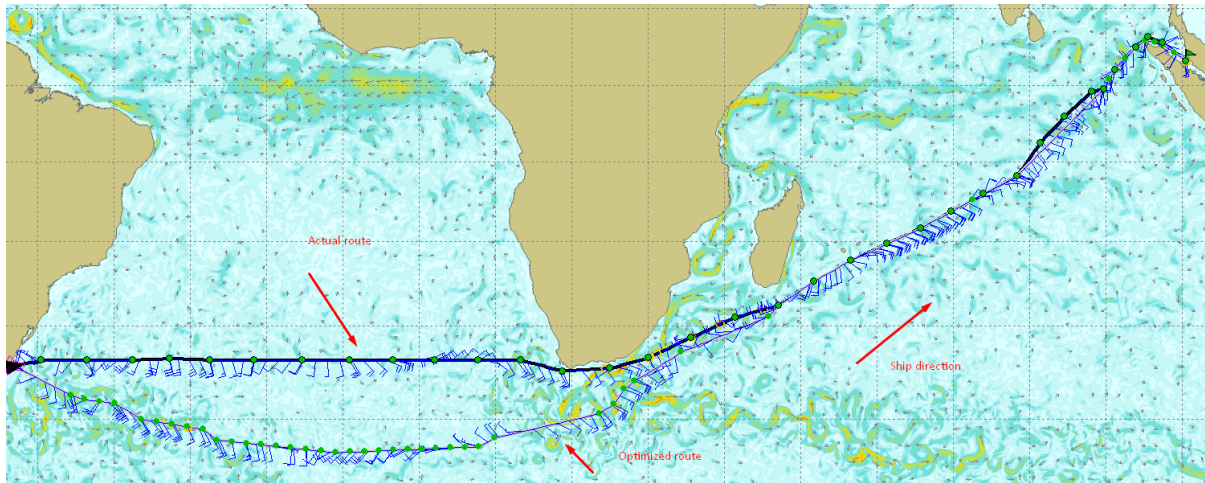


Ταξίδι 9:

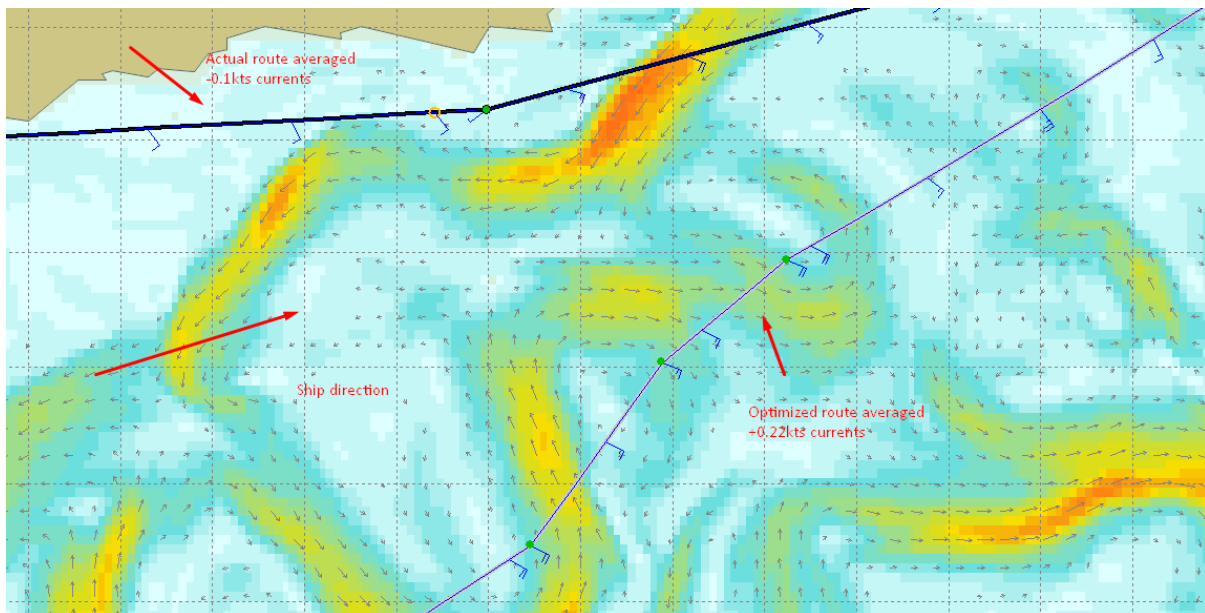
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής La Paloma-Singapore

Route Name		ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFD	LSMGD	Total Bunkers	Average	Maximum	Cost																
		dd-hh:mm	hrs	hrs	nm		mt	Dif	mt	Current	RPM	Power	W/X	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Dif					
1	Optimal_91_FW	28:01:24	-2.6	746.9	6853.9	Yes	1846.0	0.0	0.0	1846.0	0.0	11.85	11.64	0.22	61.4	13.569	1.12	6%	4.4	6.1	0.6	0.1	0.1	0	572.2K	572.2K	0	
2	La Paloma to Singapore MIR	28:02:36	-1.4	748.1	9007.6	Yes	2151.2	315.2	0.0	0.0	2151.2	315.2	12.04	12.15	-0.11	64.5	15.300	1.11	3%	5.0	5.2	0.7	0.1	0.1	0	670.0K	670.0K	97.7K

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό

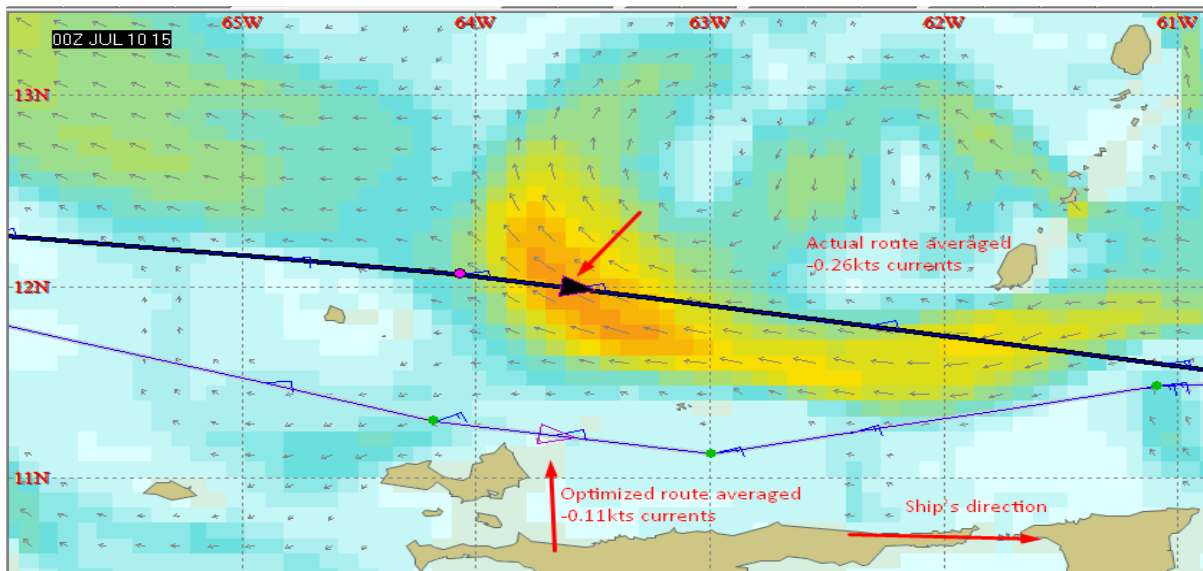


Ταξίδι 10:

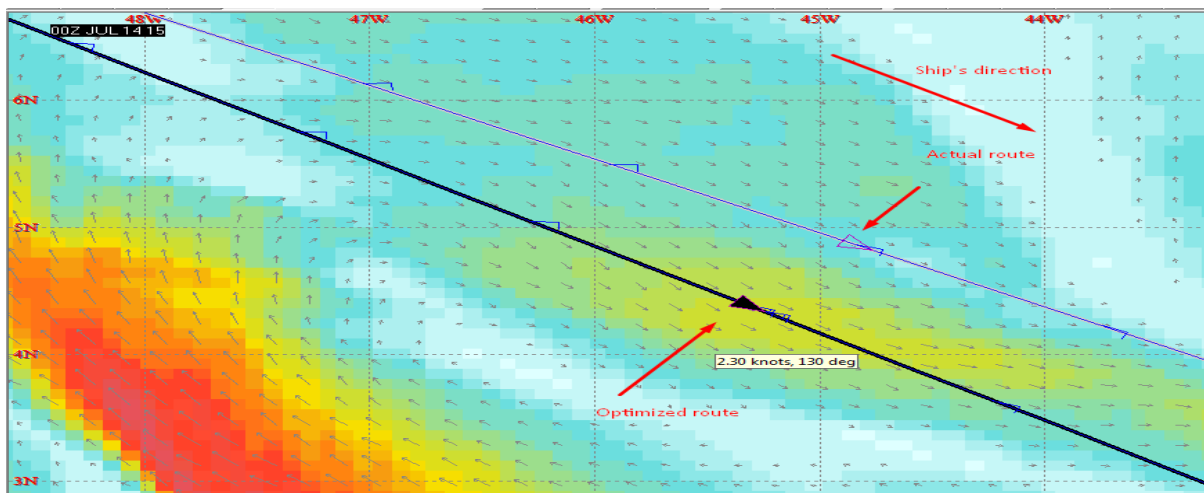
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Bonaire- Nipah

Route Name		ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO	LSMGO	Total Bunkers	Average	Maximum	Cost																
		dd:hh:mm	hrs	hrs	nm	No	mt	Dif	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt					
1	Optimized route on arrival	15-03:18	-0.7	897.8	1313.7	No	3122.1	0.0	0.0	0.0	3122.1	0.0	12.60	12.71	-0.11	58.1	17.200	1.14	7%	8.0	9.4	1.4	0.1	0.2	0	967.9K	967.9K	
2	Masters Actual Route on time arrival	15-04:12	0.2	898.7	1182.6	Yes	3234.4	112.2	0.0	0.0	3234.4	112.2	12.44	12.71	-0.26	58.5	17.645	1.17	9%	7.4	10.1	1.5	0.1	0.2	0	1,003M	1,003M	3

Εικόνα 2: Απεικόνιση της παρουσίας του πραγματικού πλοίου σε περιοχή με ισχυρά αντίθετα ωκεάνια ρεύματα σε αντίθεση με το εικονικό πλοίο



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό

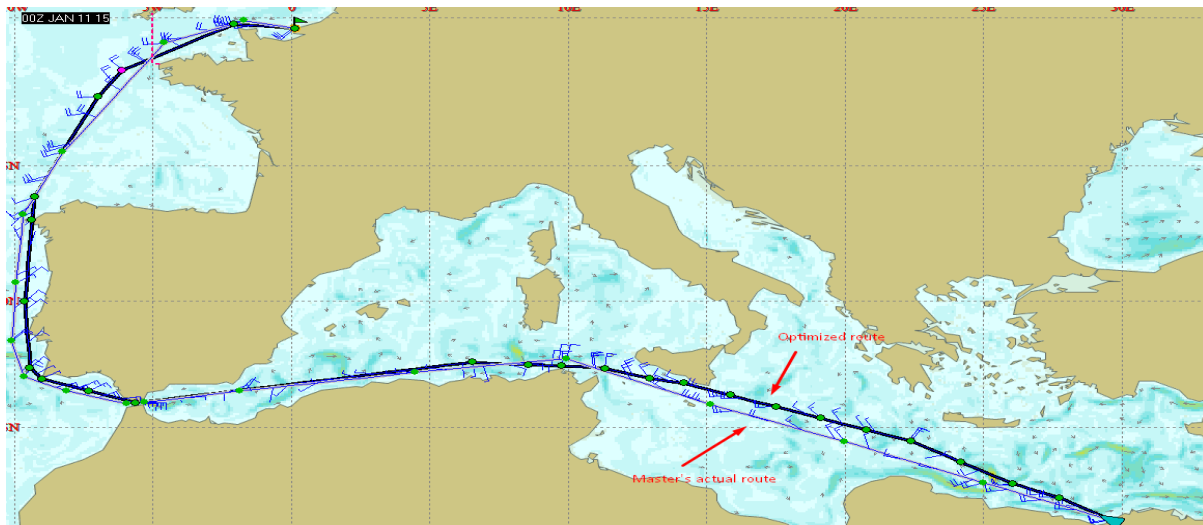


Ταξίδι 11:

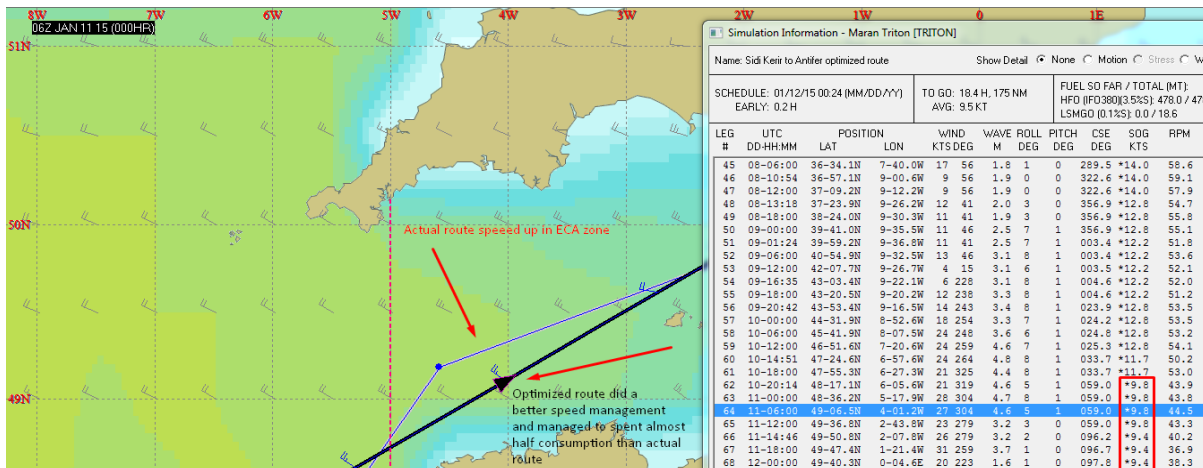
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Sidi Kerir-Antifer

Route		ETA	Delay	Time	Dist	Slow Down	HFO	Dif	LSMGO	Total Bunkers	Dif	SOG	STW	Current	RPM	Power	Wx	Slip	Wave	Roll	Maximum	VAcc	LAcc	Hire	Bunker	Total	Dif	
Route Name		dd:hh:mm	hrs	hrs	nm	No	mt	mt	mt	mt	mt	kts	kts	kts	kW	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$			
1	Optimal_41_RW	12:00:00	-0.4	252.2	2970.2	No	478.0	0.0	17.9	0.0	495.9	0.0	11.78	11.68	0.09	50.9	8.979	1.12	---	4.8	8.4	1.0	0.1	0.2	0	157.6K	157.6K	0
2	Sidi Kerir to Antifer Master's route	12:00:15	-0.1	252.6	3000.0	No	492.2	14.2	36.9	19.0	529.1	33.0	11.89	11.32	-0.03	52.2	9.635	1.14	---	4.6	8.2	0.8	0.1	0.2	0	172.0K	172.0K	14.4K

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Διαχείριση ταχύτητας μέσα στην περιοχή ελέγχου (ECA)



Ταξίδι 12:

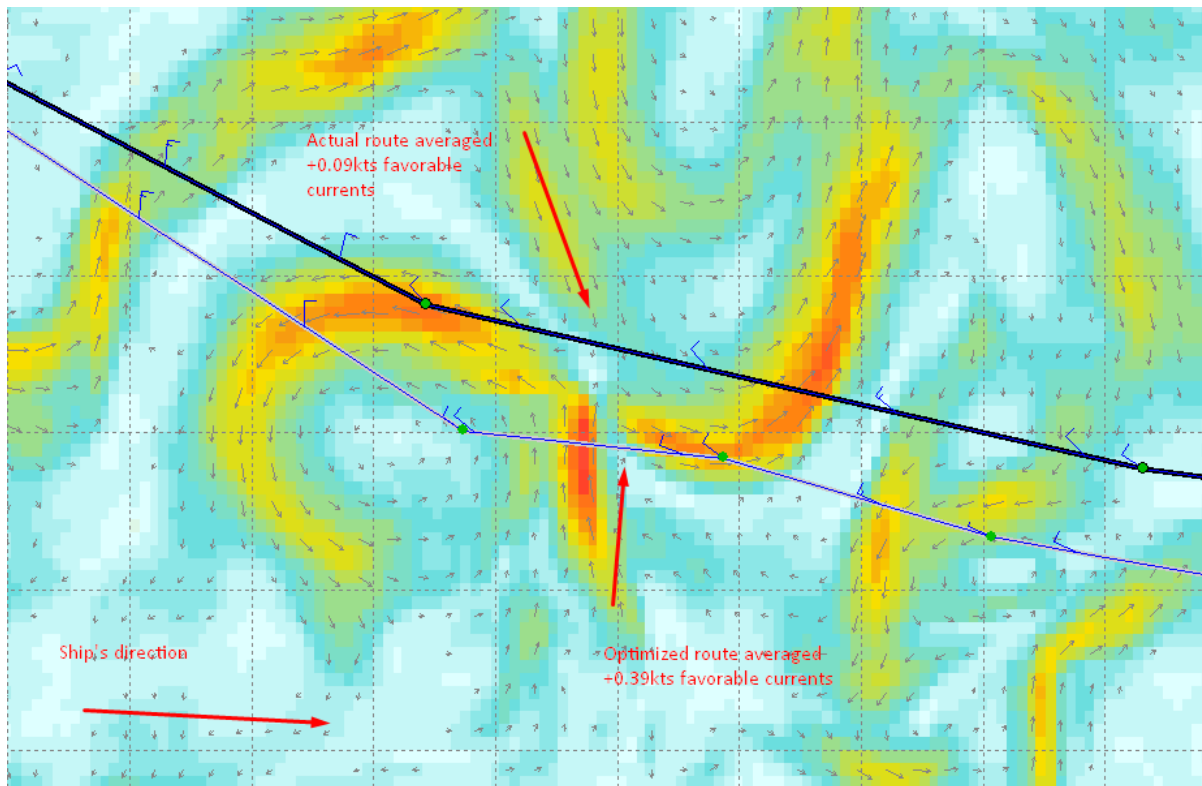
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Cape Town-Daxie Dao

Route Comparison Same arrival time 76.2mt less Better current advantage

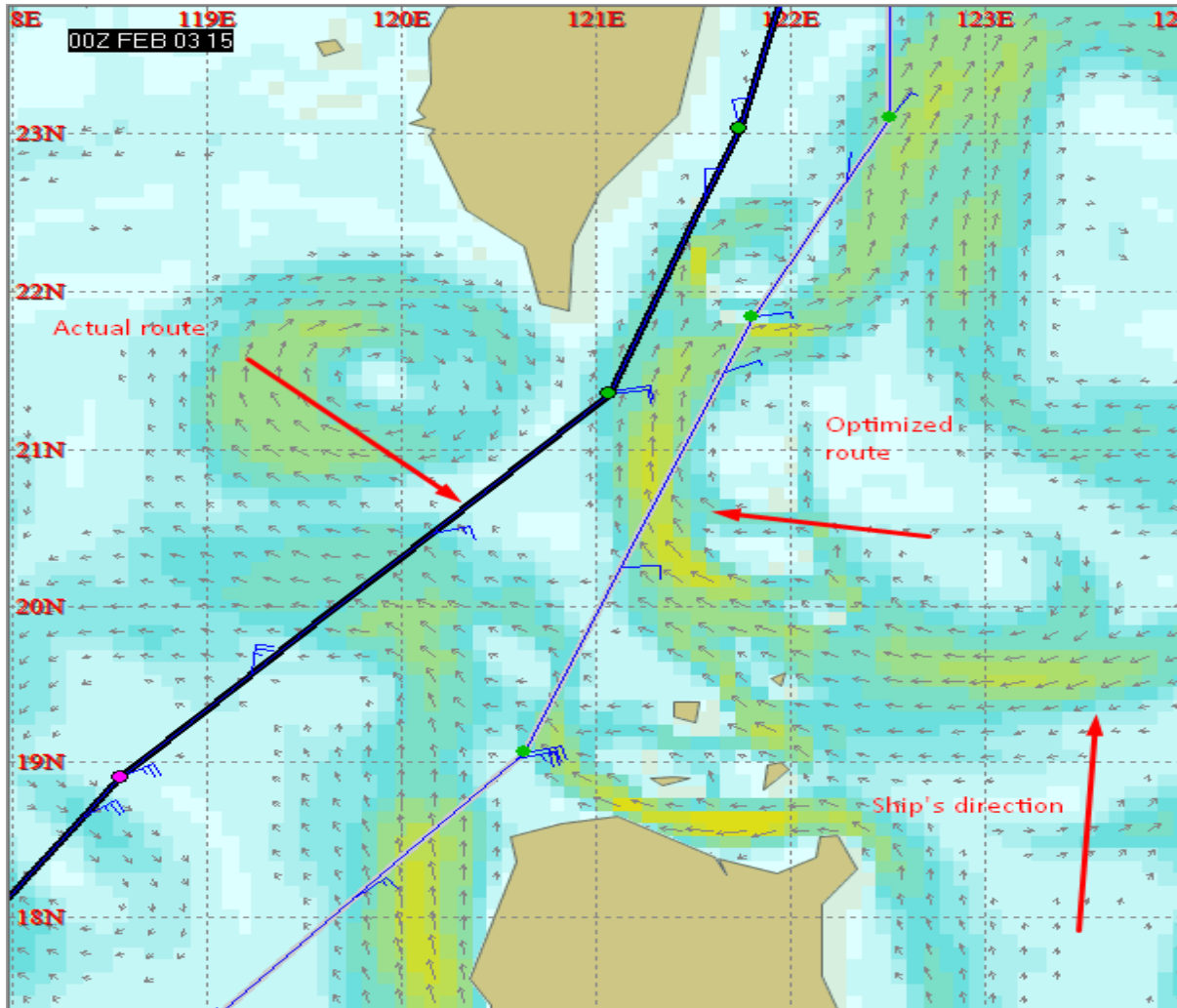
Route Cape Town to Daxingji MIR Set as Op Route Sort by Fuel Time Cost consumption

Route Name	ETA dd:hh:mm	Delay hrs	Time hrs	Dist. nm	Slow Down	HFO		LSMGO		Total Bunkers		Average					Maximum					Cost					
						mt	Dif	mt	Dif	mt	Dif	SGD	STW	Current	RPM	Power	Wx	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Dif
1 Optimal_111_RW	05-11:47	-0.4	668.8	8007.0	No	1340.0	0.0	0.0	0.0	1340.0	0.0	11.95	11.62	0.33	54.2	10.579	1.15	6%	5.7	7.1	1.0	0.1	0.2	0	415.4K	415.4K	
2 Cape Town to Daxingji MIR	05-11:47	-0.4	668.8	8003.7	No	1416.2	76.2	0.0	0.0	1416.2	76.2	11.95	11.87	0.08	55.7	11.465	1.15	9%	5.5	7.7	1.1	0.1	0.2	0	439.0K	439.0K	23

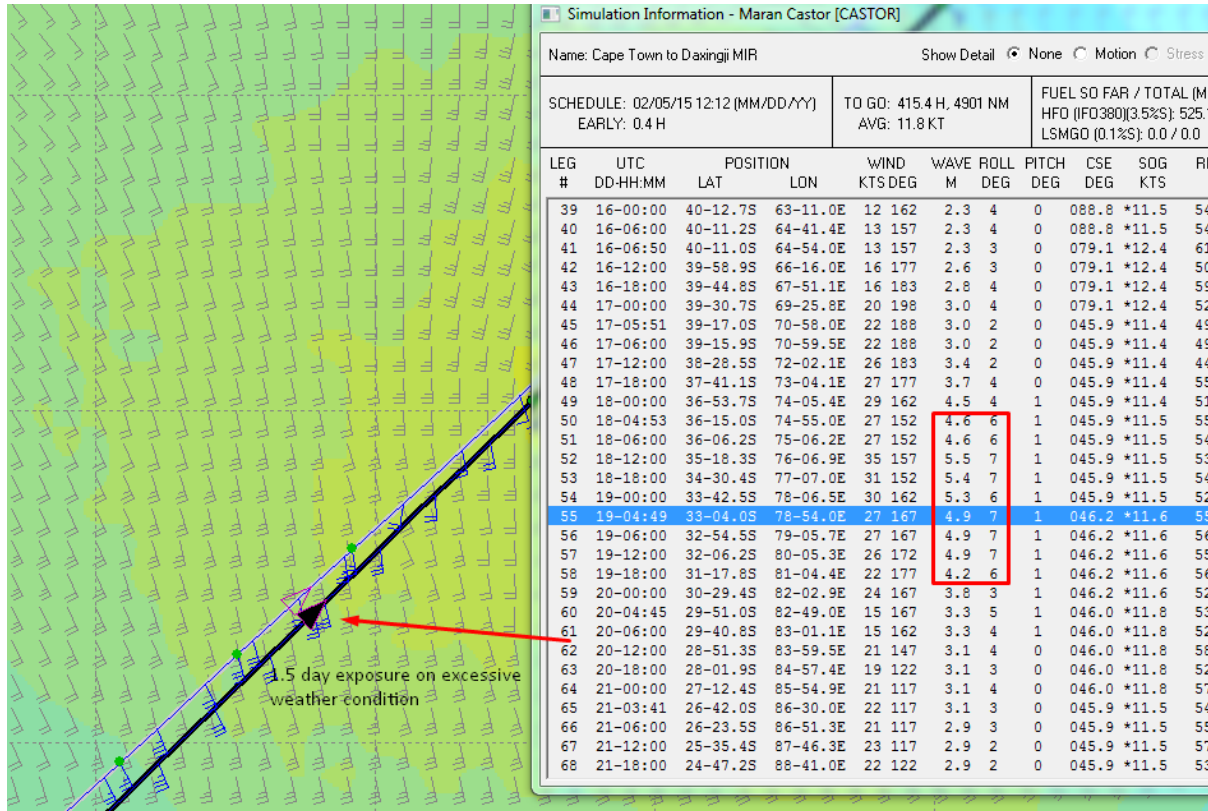
Εικόνα 2: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό



Εικόνα 4: Απεικόνιση της διέλευσης του πραγματικού πλοίου μέσα από καταιγίδα στον Ινδικό Ωκεανό

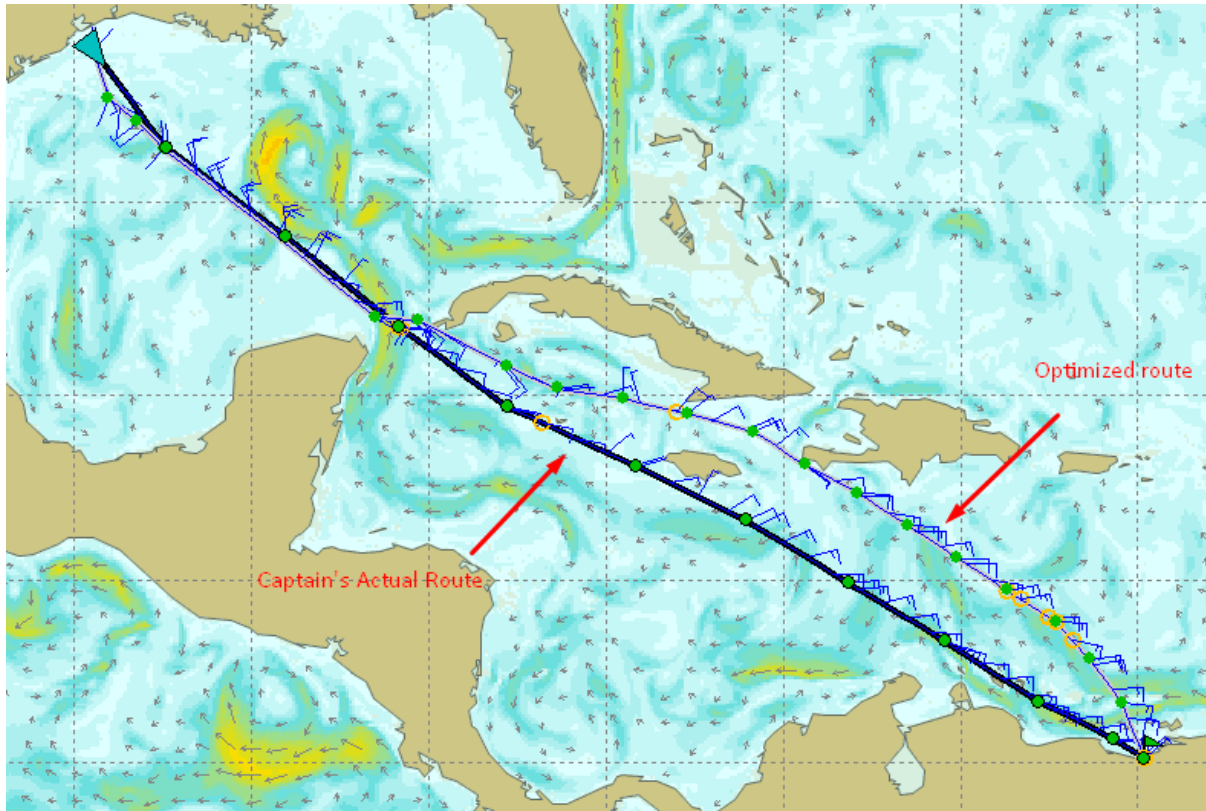


Ταξίδι 13:

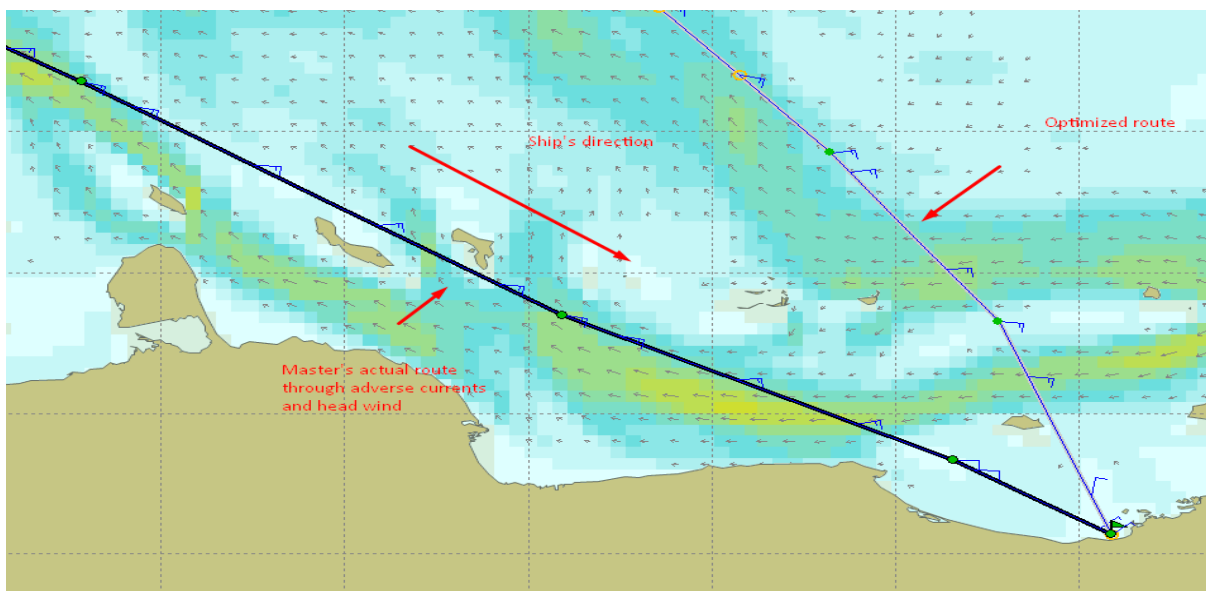
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Galveston-Jose

Route Name		ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO		LSMGO		Total Bunkers		Average					Maximum					Cost						
		dd-hh:mm	hrs	hrs	nm		mt	Diff	mt	Diff	mt	Diff	SOG	STW	Current	RPM	Power	wX	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Diff	
						Yes							kts	kts	kts		kW	%	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$	
1	Optimal_68_RW	26-19:54	0.4	236.8	2085.8	Yes	206.6	0.0	18.2	0.0	224.7	0.0	8.80	8.67	0.14	35.8	4,041	1.19	---	1.7	0.6	0.1	0.0	0.0	0	73.6K	73.6K	0	
2	Galveston to Jose MIR	26-18:37	-0.9	236.6	2035.3	Yes	212.3	5.6	29.9	11.7	242.2	17.5	8.64	8.92	-0.29	37.0	4,426	1.18	0%	1.7	0.9	0.1	0.0	0.0	0	81.5K	81.5K	7.9K	
							50nm less		11.7mt less LSMGO				Better current advantage																

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Διέλευση του πραγματικού πλοίου από περιοχή με αντίθετα ρεύματα και αντίθετο καιρό



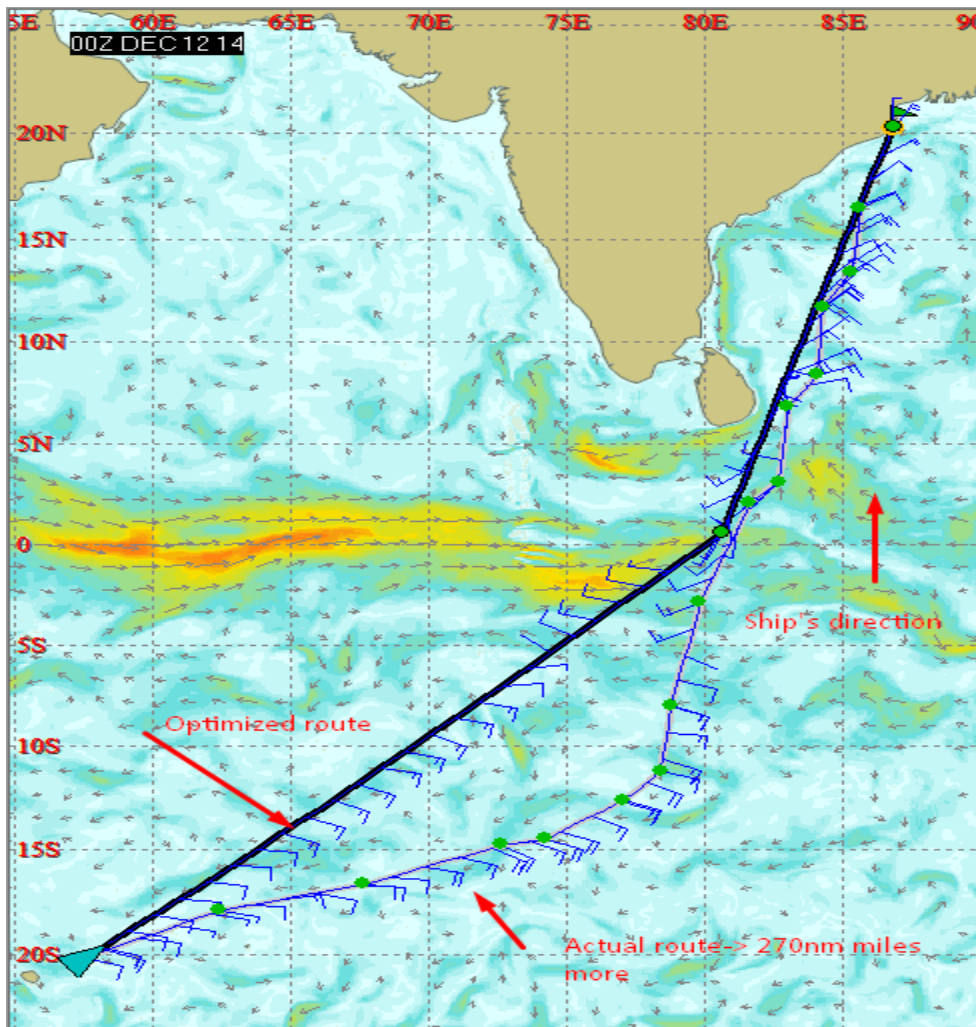
Ταξίδι 14:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Port Louis-Paradip

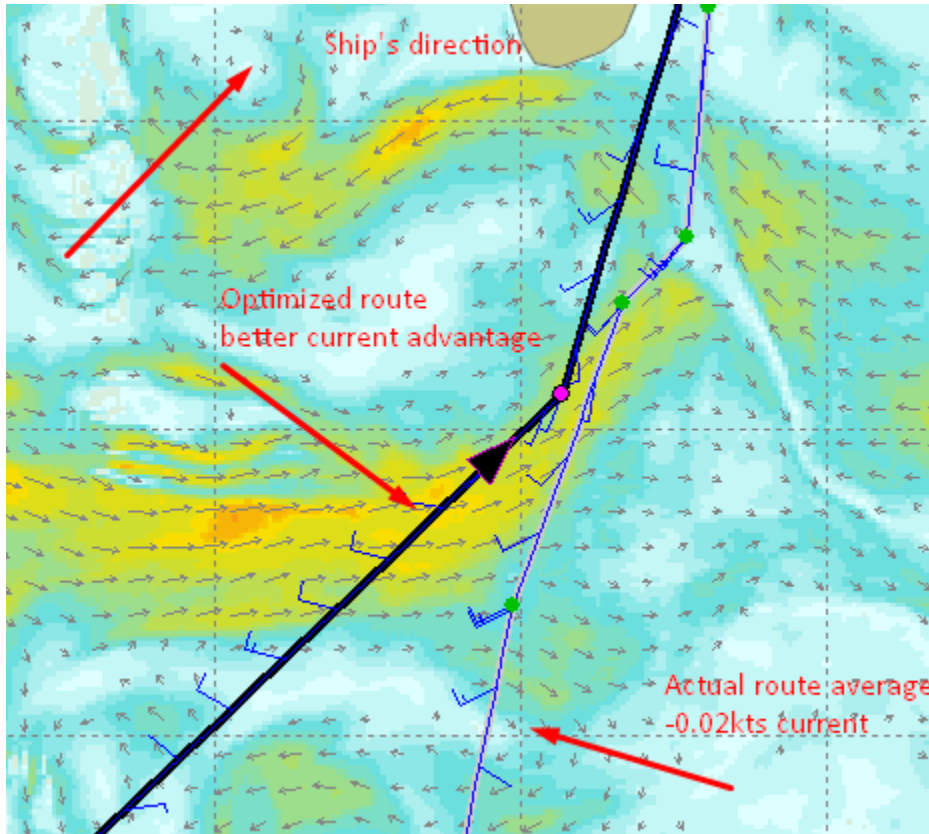
Route		Set as Op Route		Sort by		Fuel		Time		CA50mt less consumption		Better seakeeping response		Print		Close											
Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO	LSMGO	Total Bunkers	Average				Maximum				Cost										
	dd:hh:mm	hrs	hrs	nm	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	kg	kg	kg	kW	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$		
1 Port Louis to Paradip Optimized route	23:01:01	-0.8	256.7	3324.9	No	678.3	150.9	0.0	0.0	678.3	150.9	11.85	11.83	-0.02	62.5	16.124	1.11	12%	2.8	2.9	0.3	0.1	0.1	0	210.3K	210.3K	46.8K
2 Port Louis to Paradip Master's route	23:00:39	-0.8	256.7	3324.9	No	678.3	150.9	0.0	0.0	678.3	150.9	12.95	12.97	-0.02	62.5	16.124	1.11	12%	2.8	2.9	0.3	0.1	0.1	0	210.3K	210.3K	46.8K

250nm less than actual route Better current advantage

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το ει-
κονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό

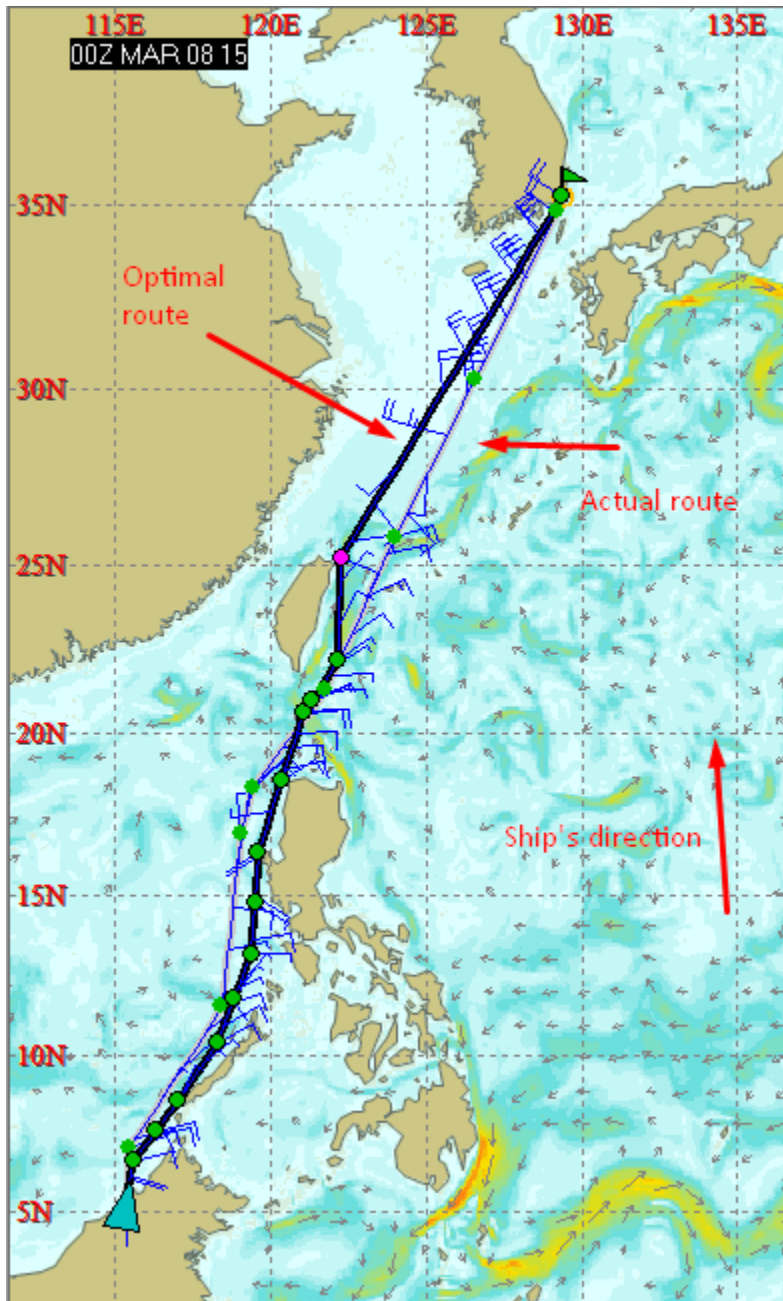


Ταξίδι 15:

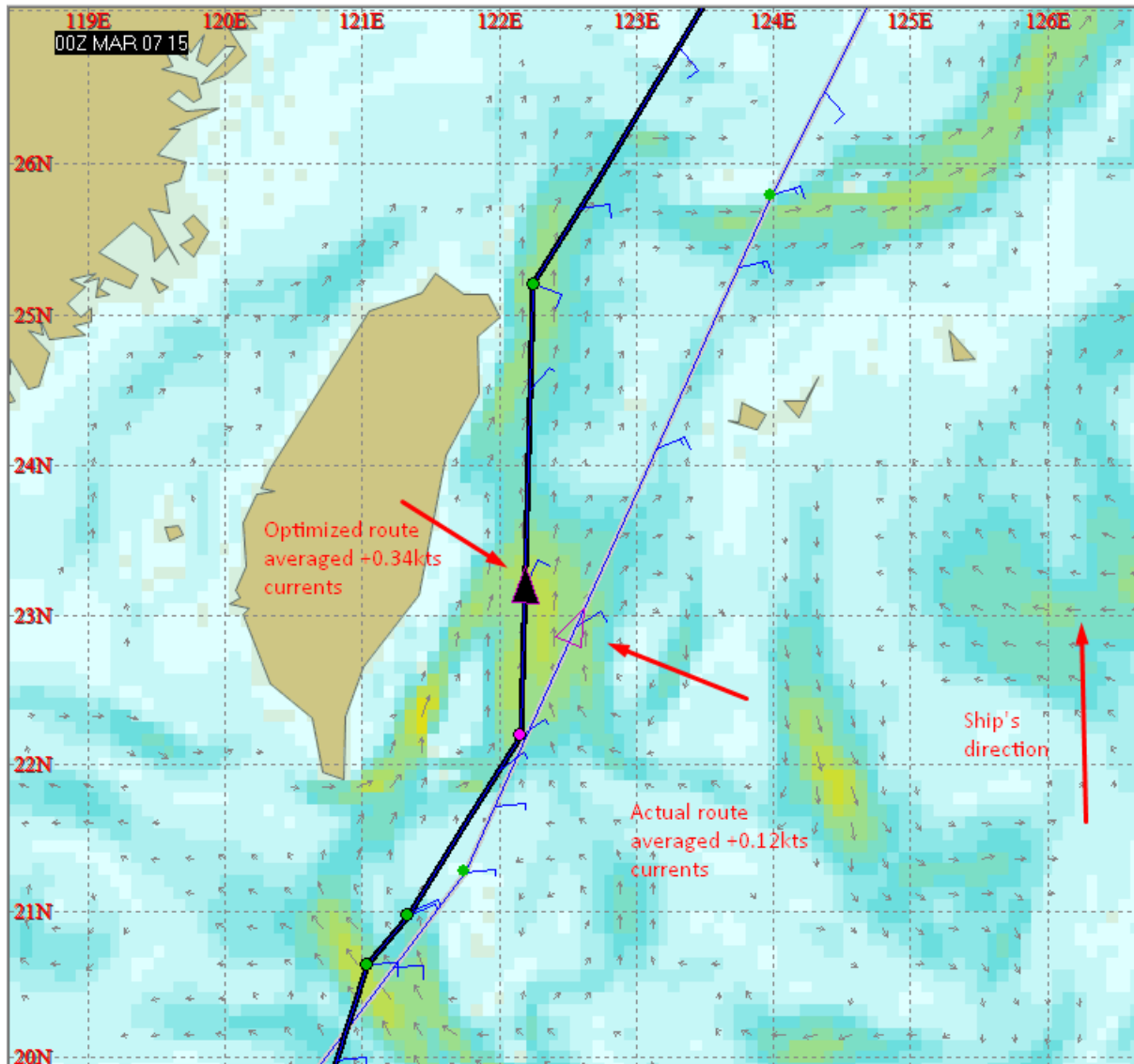
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Labuan-Ulsan

Route		ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO		LSMGO		Total Bunkers		Average				Maximum				Cost					
Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO	LSMGO	Total Bunkers	SOG	STW	Current	Average	Power	Wx	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Diff		
	dd-hh:mm	hrs	hrs	nm	No	mt	mt	mt	mt	mt	mt	kts	RPM	kW	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$		
1 Optimal_13_RW	10-05:47	-1.0	154.3	2000.5	No	415.9	0.0	0.0	415.9	0.0	12.97	12.63	0.34	63.1	13.203	1.10	4%	4.6	0.8	0.5	0.1	0.1	0	128.9K	128.9K	0
2 Labuan to Ulsan	10-05:29	-1.3	154.0	1992.4	No	429.1	13.2	0.0	429.1	13.2	12.94	12.82	0.12	64.1	13.623	1.11	6%	4.6	0.8	0.3	0.0	0.0	0	133.0K	133.0K	4.1K

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό



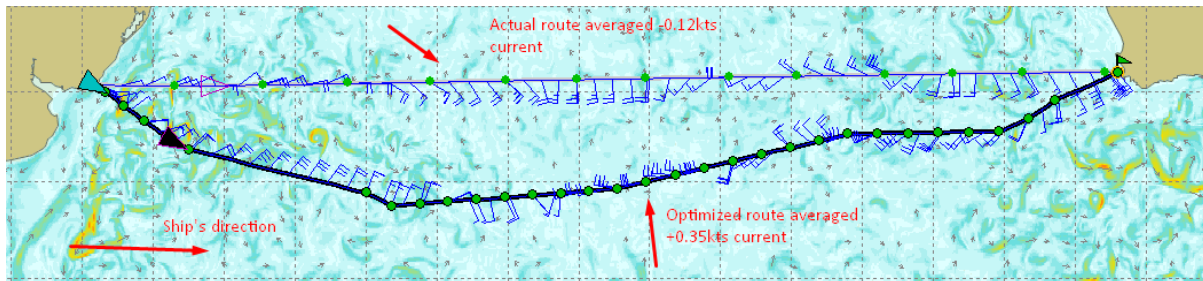
Ταξίδι 16:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής La Paloma- Cape Town

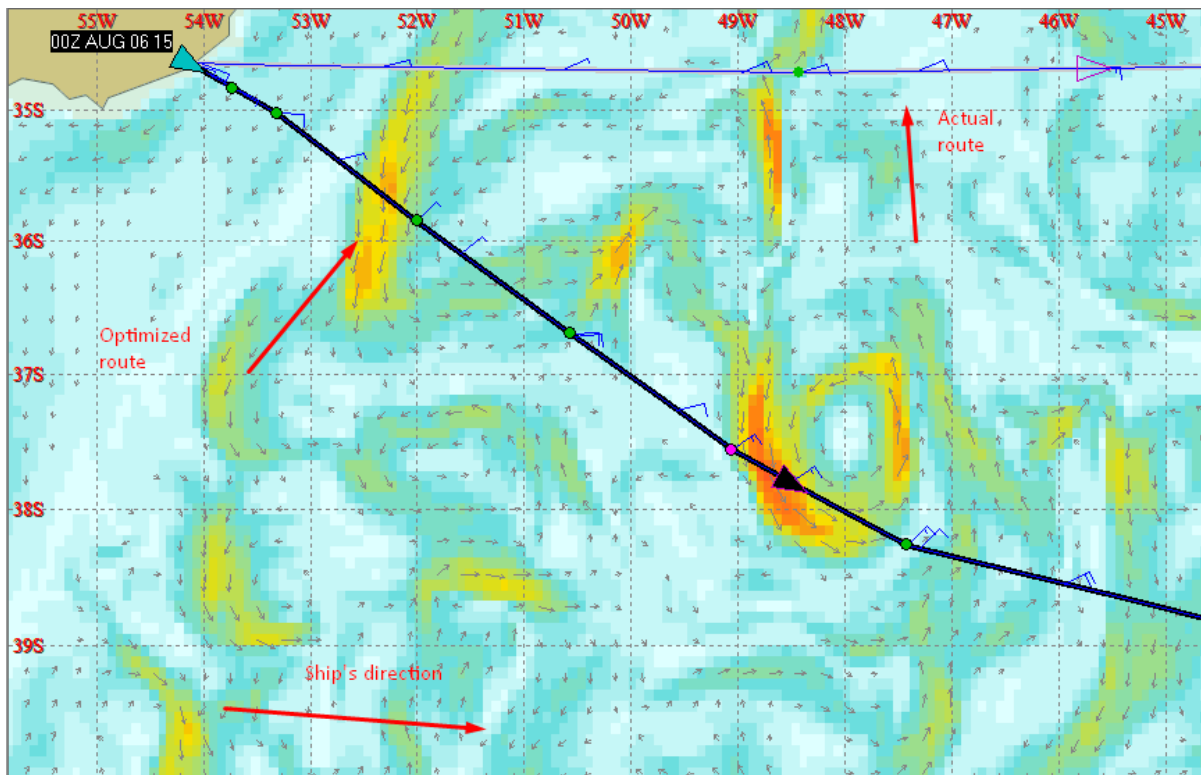
Route Comparison 31nm less 97mt less consumption Much better current advantage

Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFD	LSMGO	Total Bunkers	Average				Maximum				Cost									
	dd-hh:mm	hrs	hrs	nm	No	mt	mt	mt	SOG	STW	Current	RPM	Power	Wx	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Diff		
1 La Paloma to Cape Town optimized route	17-14:36	0.6	309.1	3554.1	No	594.9	0.0	0.0	594.9	0.0	11.50	11.15	0.35	52.5	9.766	1.15	7%	5.3	9.5	1.1	0.1	0.2	0	181.3K	181.3K	0
2 La Paloma to Cape Town MIR	17-14:36	0.6	309.1	3585.8	No	681.8	97.0	0.0	681.8	97.0	11.60	11.72	-0.12	56.5	12.337	1.19	13%	5.6	9.5	1.1	0.1	0.2	0	211.4K	211.4K	30.1K

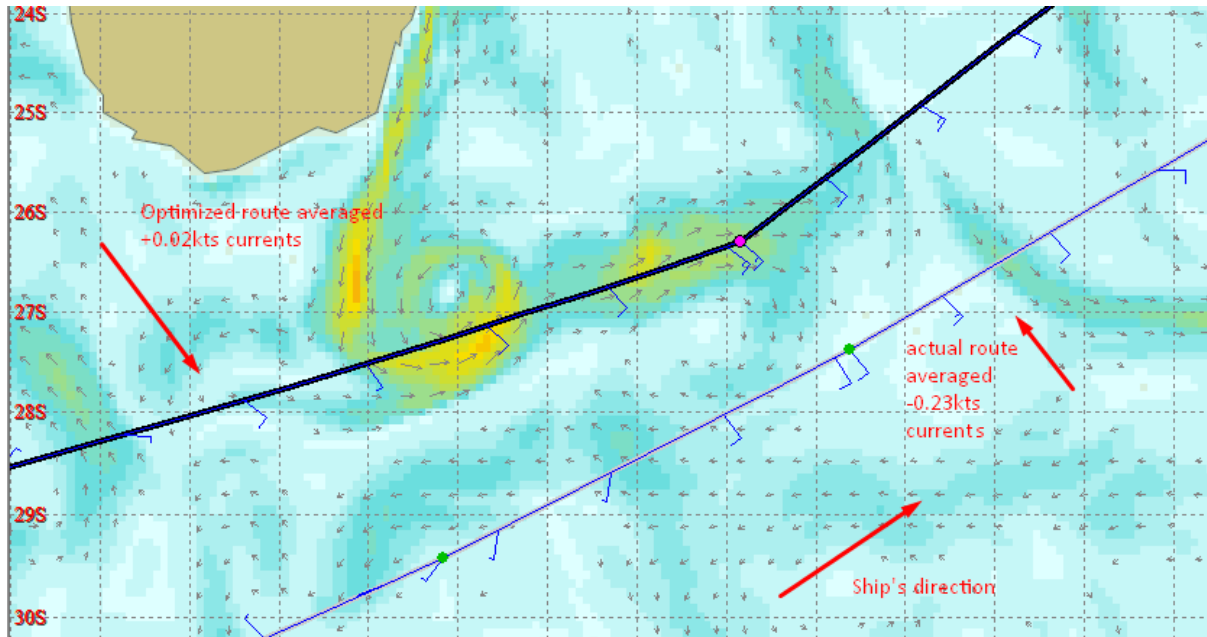
Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το ει-
κονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό

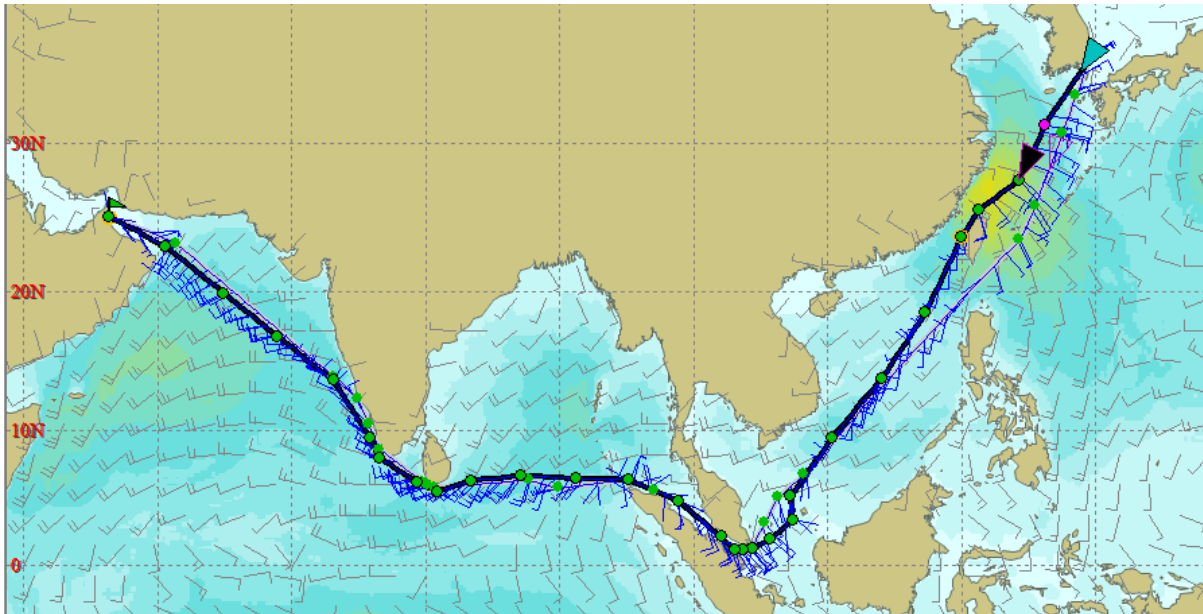


Ταξίδι 18:

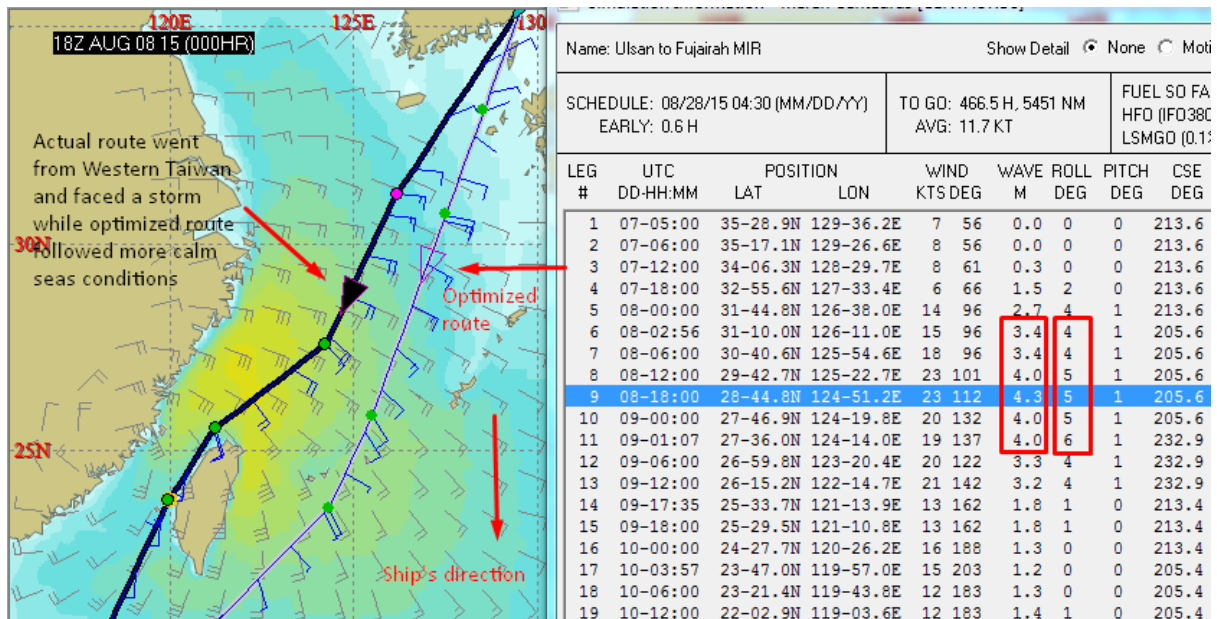
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Ulsan- Fujairah

Route		ETA		Delay		Time		Dist.		Slow Down		HFO		LSMGO		Total Bunkers		Average		Maximum		Cost						
Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO	LSMGO	Total Bunkers	Average	Maximum	Cost	Dif	Dif	Dif	Dif	Dif	Dif	Dif	Dif	Dif	Dif	Dif	Dif					
	dd:hh:mm	hrs	hrs	nm		mt	mt	mt	RPM	Power	Wx	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Dif	Dif						
1	Optimal_83_RW	28-03:42	-0:8	502.7	5834.8	No	834.5	0.0	0.0	884.5	0.0	11.73	11.64	0.03	95.0	9.625	1.12	---	4.0	4.6	0.9	0.1	0.2	0	274.2K	274.2K	0	
2	Ulsan to Fujairah MIR	28-03:55	-0:6	502.9	5321.9	Yes	975.3	90.8	0.0	0.0	975.3	90.8	11.77	11.76	0.01	55.6	10.636	1.13	---	4.3	5.5	0.9	0.2	0.2	0	302.4K	302.4K	28.2K

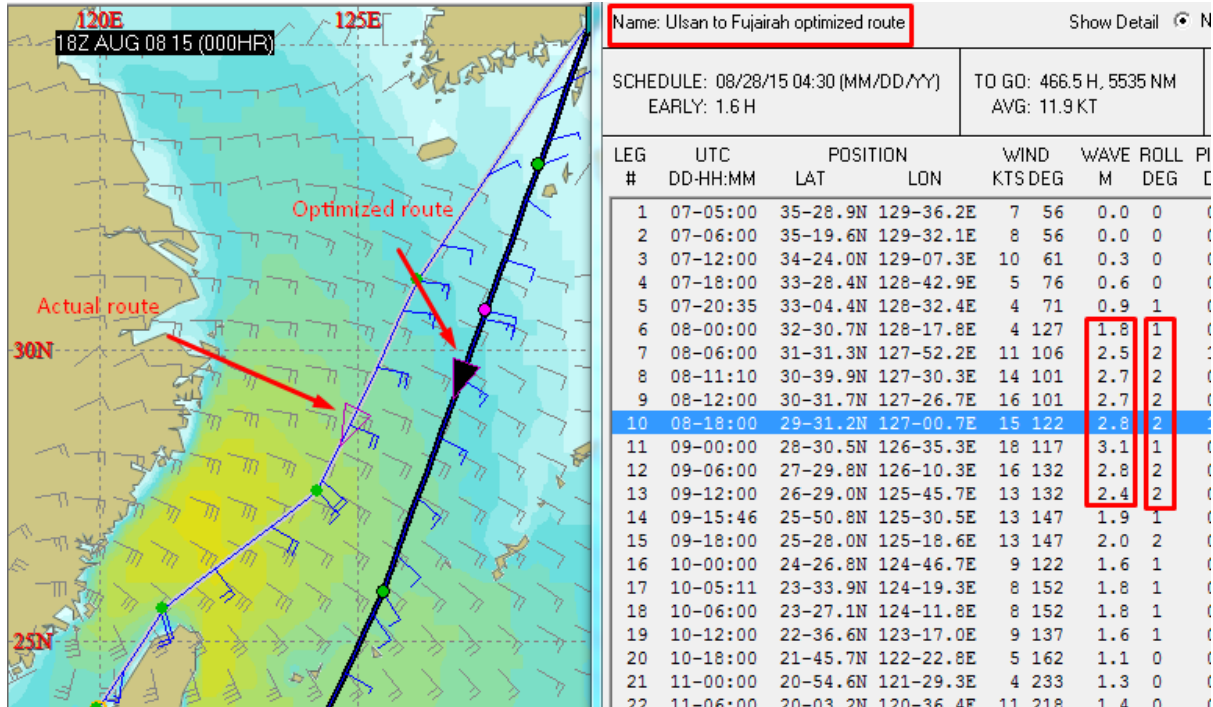
Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της επιλογής του καπετάνιου να περάσει μέσα από δυσμενείς καιρικές συνθήκες σε αντίθεση με την εικονική προσομοίωση



Εικόνα 4: Απεικόνιση της επιλογής του καπετάνιου να περάσει μέσα από δυσμενείς καιρικές συνθήκες σε αντίθεση με την εικονική προσομοίωση

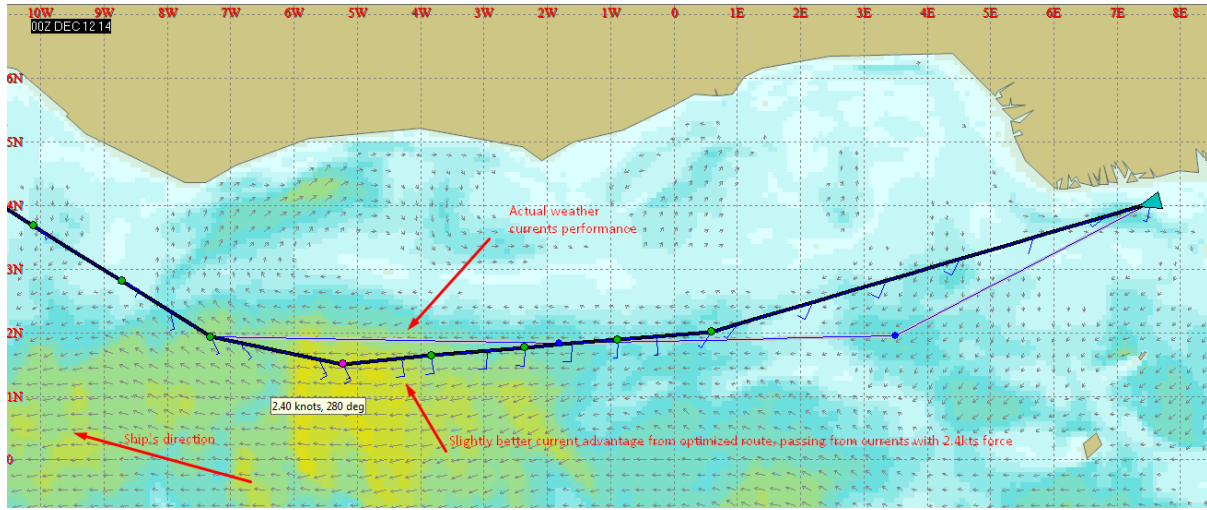


Ταξίδι 19:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα της διαδρομής Bonny- Santa Cruz de Tenerife

Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO	LSMGO	Total Bunkers	Average	Maximum	Cost													
	dd-hh:mm	hrs	hrs	nm	mt	mt	mt	mt	SOG	STW	Current	Power	Wx	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Diff	
1 Optimal_25_RW	19-06-11	-0.8	231.8	2815.3	No	576.7	0.0	0.0	576.7	12.15	11.79	0.36	61.8	13.667	1.10	4%	2.8	1.0	0.3	0.0	0	178.8K	178.8K	0
2 Bonny to Santa Cruz de Tenerife Master's Actual Route	19-06-15	-0.7	231.8	2839.1	No	599.1	22.4	0.0	599.1	12.25	11.92	0.33	62.3	14.200	1.10	4%	2.8	0.9	0.3	0.0	0	185.7K	185.7K	6.9K

Εικόνα 2: Σύγκριση εκμετάλλευσης ωκεάνιων ρευμάτων από την πραγματική διαδρομή και την εικονική

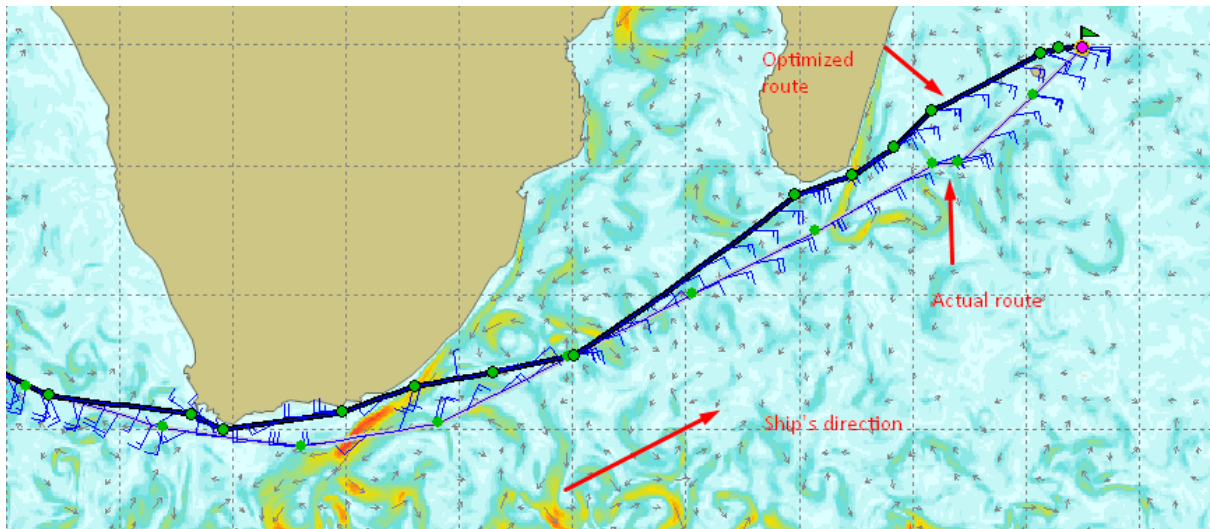


Ταξίδι 20:

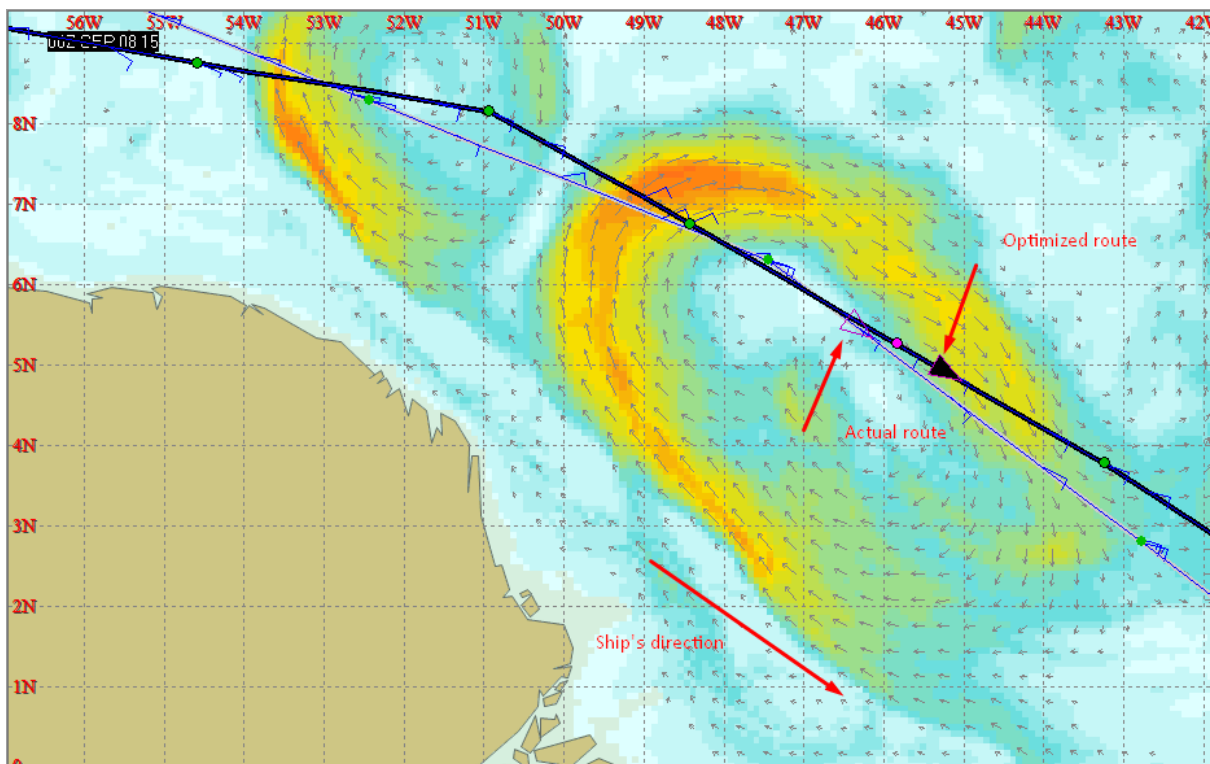
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Aruba- Port Louis

Route Comparison		50nm more		26mt less consumption		Better current advantage		Better seakeeping performance																				
Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO	Dif	LSMGO	Total Bunkers	SDG	STW	Current	Average	Power	Wx	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Dif			
	dd-hh:mm	hrs	hrs	nm	No	mt	mt	mt	mt	mt	kts	kts	kts	RPM	kW	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$			
1	Optimal_50_RW	28-18:02	-2.5	614.0	8211.9	No	1711.8	0.0	0.0	1711.8	0.0	13.37	13.25	0.12	58.2	13.264	1.18	---	3.2	6.2	0.7	0.1	0.2	0	530.7K	530.7K	0	
2	Aruba to Port Louis	28-18:38	-1.9	614.6	8161.2	No	1738.2	26.4	0.0	0.0	1738.2	26.4	13.28	13.33	4.04	58.6	13.444	1.19	---	3.6	7.2	0.8	0.1	0.2	0	538.9K	538.9K	8.2K

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό



Ταξίδι 21:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Ras Al Khaimah- Ain Sukhna

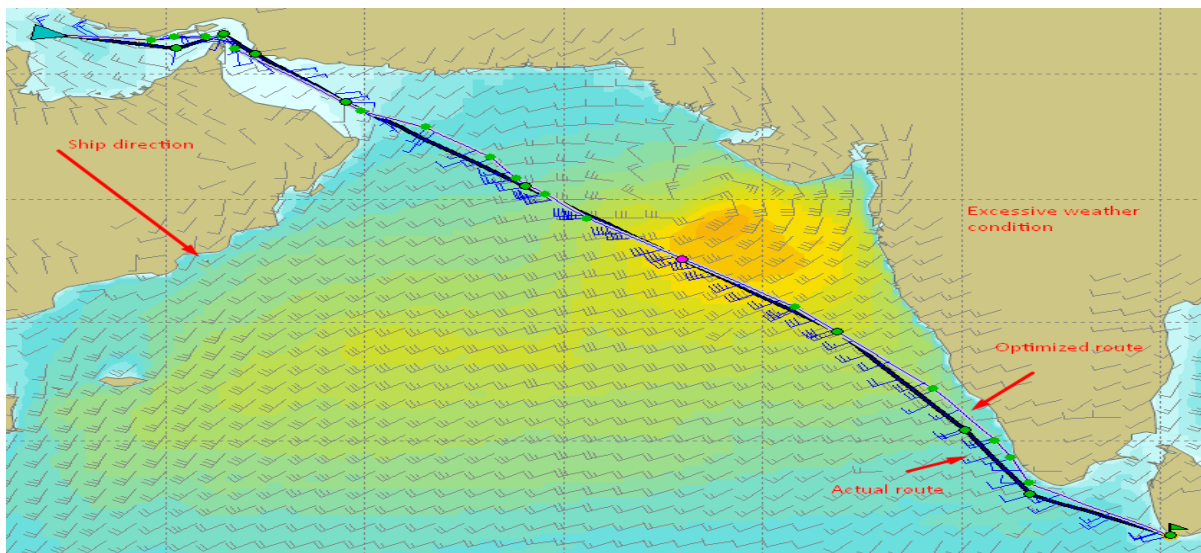
Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO				LSMGO				Total Bunkers				Average				Maximum				Cost					
						mt	Diff	mt	Diff	mt	Diff	mt	Diff	SOG	STW	Current	RPM	Power	Wx	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Diff		
ddd:hh:mm	hrs	hrs	hrs	nmi	No	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	kts	kts	kts	kts	kts	kw	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$
1 Optimal_16_FW	28-19:28	-0.5	233.5	2826.8	No	514.9	0.0	0.0	0.0	514.9	0.0	0.0	12.11	11.83	0.28	58.4	10.413	1.02	3%	1.8	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0	159.6K	159.6K	0	0	
2 Captain's route	28-19:31	-0.5	233.5	2868.9	No	544.6	29.7	0.0	0.0	544.6	29.7	0.0	12.29	12.18	0.10	59.9	11.031	1.02	4%	2.2	0.8	0.1	0.0	0.0	0	168.8K	168.8K	9.2K	0		

Ταξίδι 22:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Al Shaheen-Galle

Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO				LSMGO				Total Bunkers				Average				Maximum				Cost					
						mt	Diff	mt	Diff	mt	Diff	mt	Diff	SOG	STW	Current	RPM	Power	Wx	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Diff		
ddd:hh:mm	hrs	hrs	hrs	nmi	No	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	kts	kts	kts	kts	kts	kw	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$
1 Optimal_23_FW	25-12:47	-1.7	161.8	2091.8	No	429.4	0.0	0.0	0.0	429.4	0.0	0.0	12.93	12.50	0.43	62.7	12.981	1.07	4%	7.4	12.1	1.7	0.1	0.3	0	133.1K	133.1K	0	0		
2 Al Shaheen to Galle Master's route	25-13:08	-1.4	162.1	2107.4	No	439.4	10.1	0.0	0.0	439.4	10.1	0.0	13.00	12.63	0.37	63.3	13.197	1.08	4%	7.4	13.4	1.7	0.1	0.3	0	136.2K	136.2K	3.1K	0		

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου

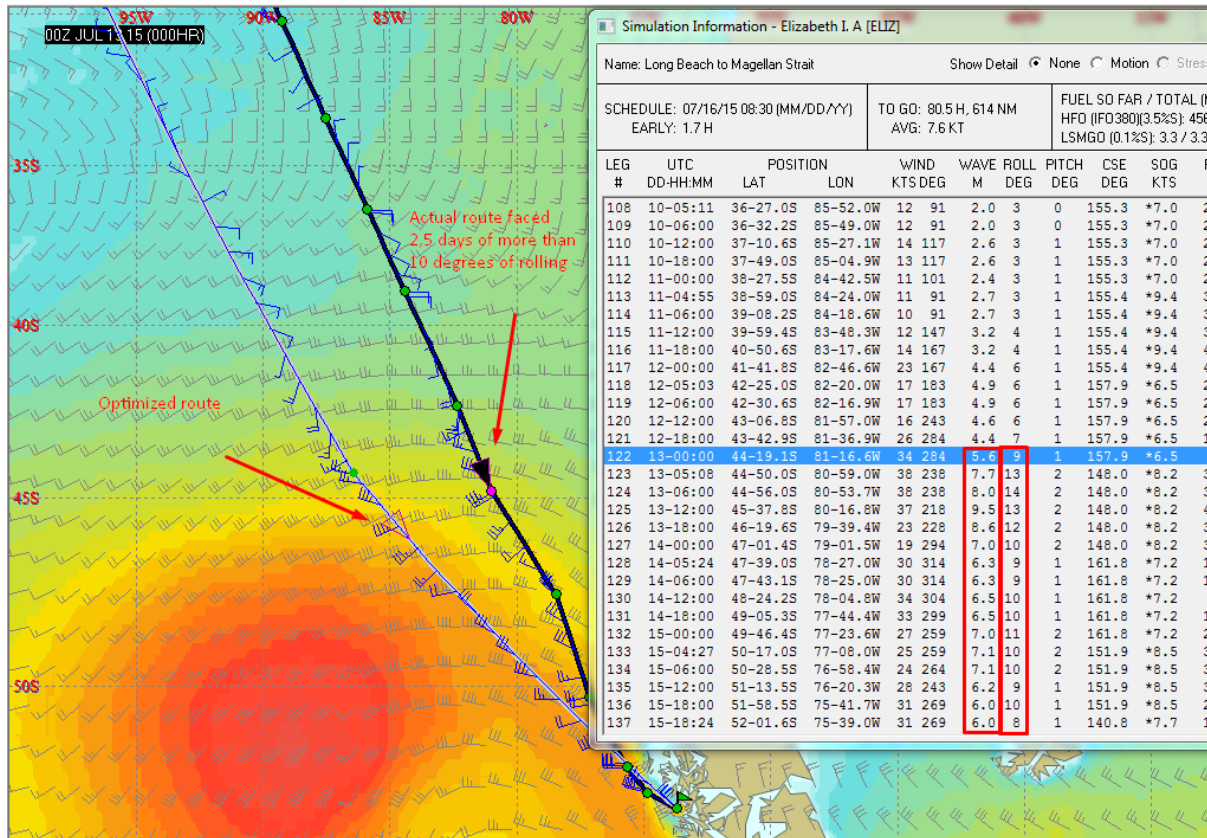


Ταξίδι 23:

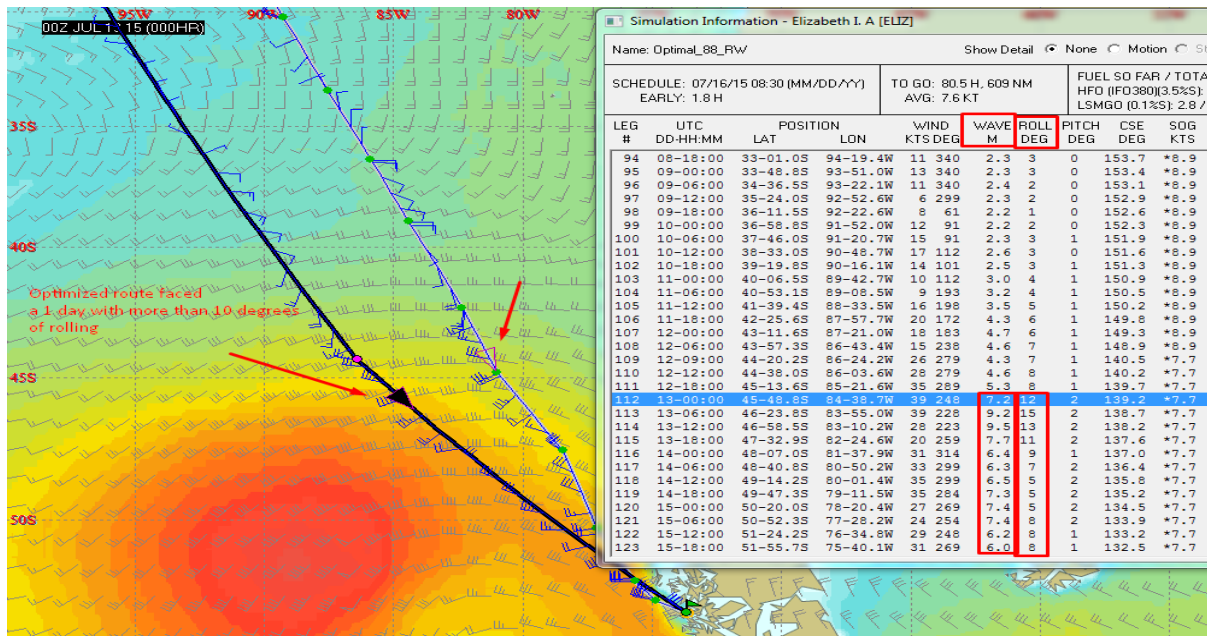
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Long Beach- Magellan Straits

Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO				LSMGO				Total Bunkers				Average				Maximum				Cost					
						mt	Diff	mt	Diff	mt	Diff	mt	Diff	SOG	STW	Current	RPM	Power	Wx	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Diff		
ddd:hh:mm	hrs	hrs	hrs	nmi	No	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	kts	kts	kts	kts	kts	kw	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$
1 Optimal_88_FW	16:06:42	-1.8	657.7	5761.8	No	377.5	0.0	2.8	0.0	400.3	0.0	0.0	8.76	8.64	0.22	32.2	2.203	1.25	---	3.5	15.0	2.0	0.3	0.5	0	124.7K	124.7K	0	0		
2 Long Beach to Magellan Strait	16:06:50	-1.7	657.8	5698.2	No	488.1	90.6	3.3	0.5	491.4	91.1	0.0	8.66	8.64	0.02	34.0	2.982	1.27	---	9.5	13.7	2.1	0.3	0.5	0	153.1K	153.1K	28.3K	0		

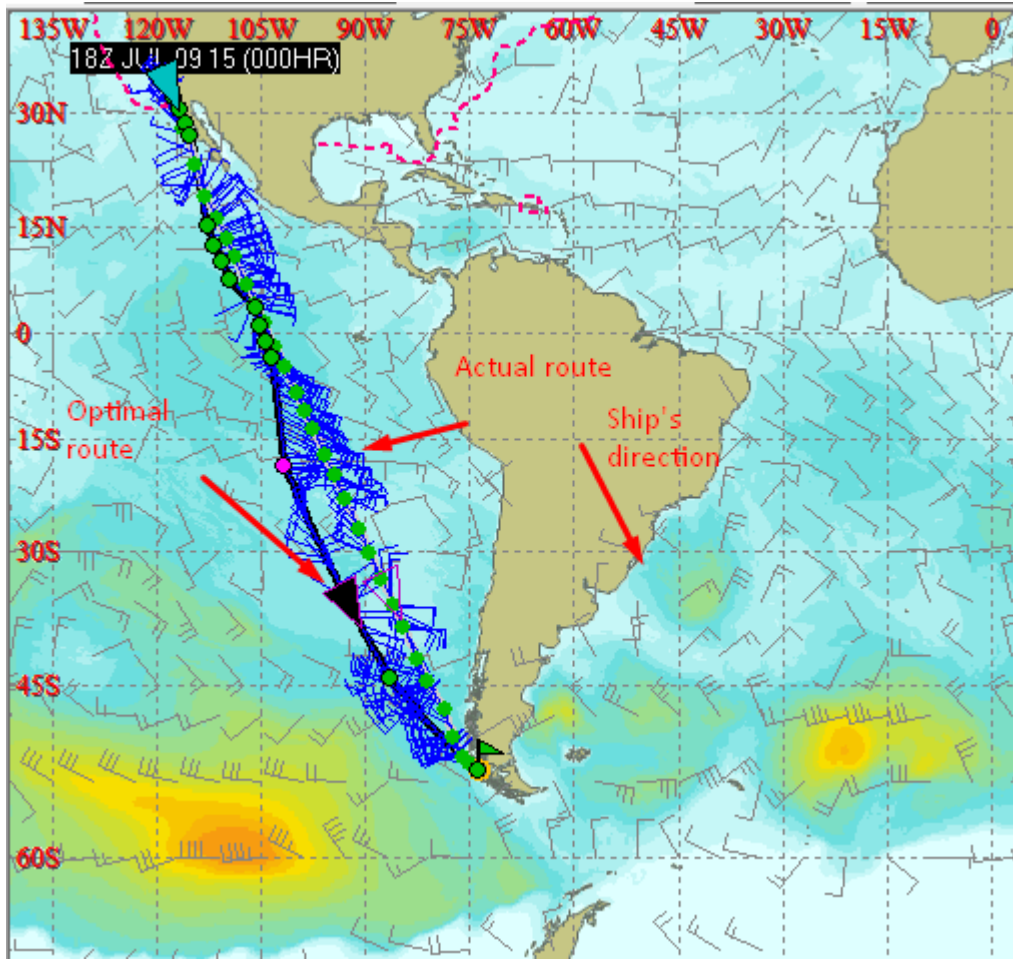
Εικόνα 2: Απεικόνιση της πορείας και της επίδοσης του πραγματικού πλοίου σε καταιγίδα πριν τα στενά του Μαγγελάνου στην Νότια Αμερική



Εικόνα 3: Απεικόνιση της πορείας και της επίδοσης του εικονικού πλοίου σε καταιγίδα πριν τα στενά του Μαγγελάνου στην Νότια Αμερική



Εικόνα 4: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου

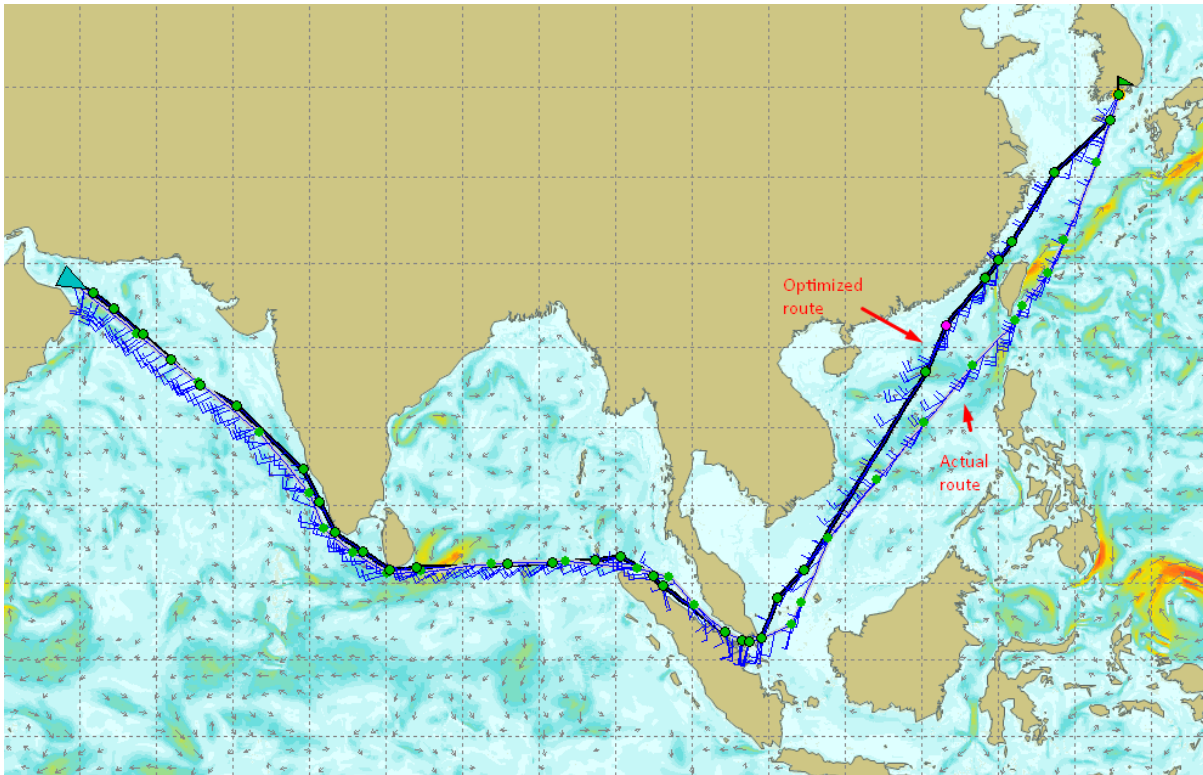


Ταξίδι 24:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Ras Al Khaimah- Yosu

Route Comparison		49nm less										35mt less																
Route: Ras Al Khaimah to Yosu MIR		Set as Op Route										Sort by Fuel Time Cost consumption										Print	Close					
Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO		LSMGO		Total Bunkers		Average				Maximum												
	ddhh:mm	hrs	hrs	nm	No	mt	mt	mt	mt	mt	mt	SOG	STW	Current	RPM	Power	WX	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Diff	
												kts	kts	kts		kW		%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$	
1	Optimal_53_FW	22:19:53	-21	467.9	5596.5	No	1043.9	0.0	0.0	0.0	1043.9	0.0	11.96	11.60	0.36	59.3	12,236	1.03	2%	4.3	4.2	0.7	0.1	0.1	0	323.6K	323.6K	0
2	Ras Al Khaimah to Yosu MIR	22:19:18	-2.7	457.2	5644.8	No	1078.9	35.0	0.0	0.0	1078.9	35.0	12.08	11.73	0.35	60.0	12,666	1.03	2%	4.0	4.2	0.8	0.1	0.1	0	334.5K	334.5K	10.8K

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Ταξίδι 25:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Magellan-La Paloma

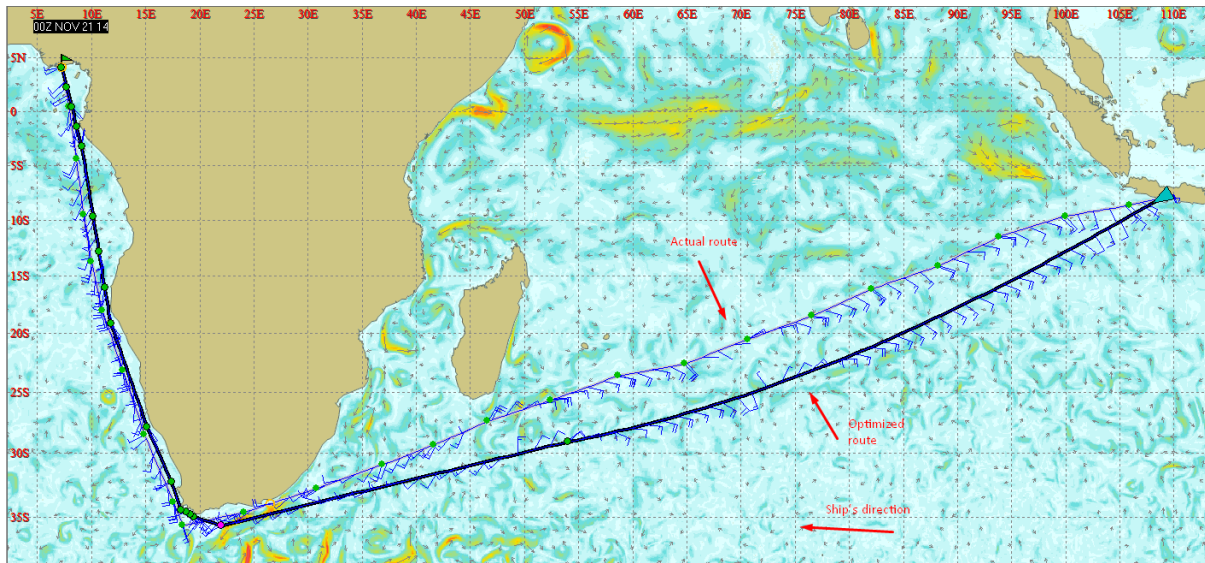
Route Comparison		24mt less consumption		Better current advantage																								
Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO	LSMGO	Total Bunkers	SOG	STW	Current	RPM	Power	WX	Slip	Wave	Roll	Pitch	V.Acc.	L.Acc.	Hire	Bunker	Total	Diff				
	dd-hh:mm	hrs	hrs	nm		mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	kw	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$					
1	Optimal_79_RW	27-06:08	-0.9	207.1	1167.5	No	16.1	0.0	0.0	0.0	16.1	0.0	5.64	515	0.49	15.4	253	0.39	---	6.2	3.4	0.9	0.1	0.1	0	5.0K	5.0K	0
2	Magellan to La Paloma MIR	27-07:18	0.3	208.3	1164.1	No	40.3	24.2	0.0	0.0	40.3	24.2	5.99	950	0.08	18.5	660	1.08	---	5.3	3.4	0.8	0.1	0.1	0	12.5K	12.5K	7.5K

Ταξίδι 26:

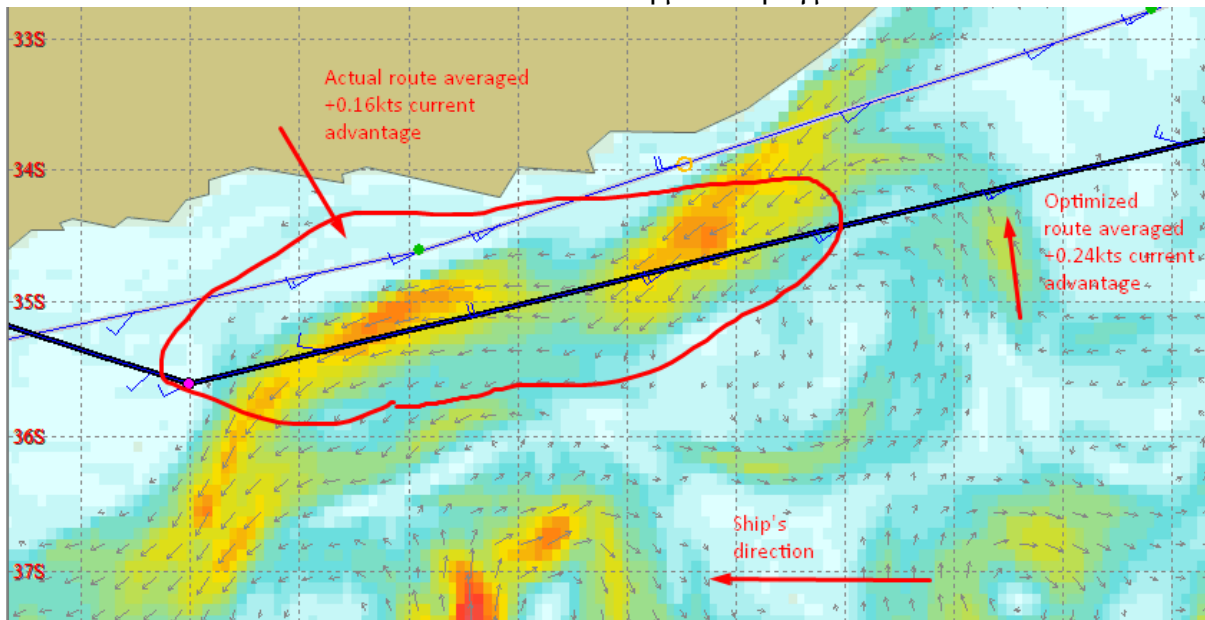
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα της διαδρομής από το Cilacap-Bonny

Route Comparison		130nm less		115mt less		Better current advantage																						
Route Name	ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO	LSMGO	Total Bunkers	SOG	STW	Current	RPM	Power	WX	Slip	Wave	Roll	Pitch	V.Acc.	L.Acc.	Hire	Bunker	Total	Diff				
	dd-hh:mm	hrs	hrs	nm		mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	kw	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$					
1	Optimal_79_RW	29-06:02	1.0	566.0	7606.6	No	1402.3	0.0	0.0	0.0	1402.3	0.0	13.44	13.20	0.24	61.7	13600	1.08	---	4.4	3.5	1.1	0.1	0.1	0	434.7K	434.7K	0
2	Cilacap to Bonny MIR	29-06:05	1.1	566.1	7736.9	Yes	1517.7	115.3	0.0	0.0	1517.7	115.3	13.67	13.50	0.16	62.9	14.742	1.07	---	4.5	3.5	1.0	0.1	0.1	0	470.5K	470.5K	35.8K

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό

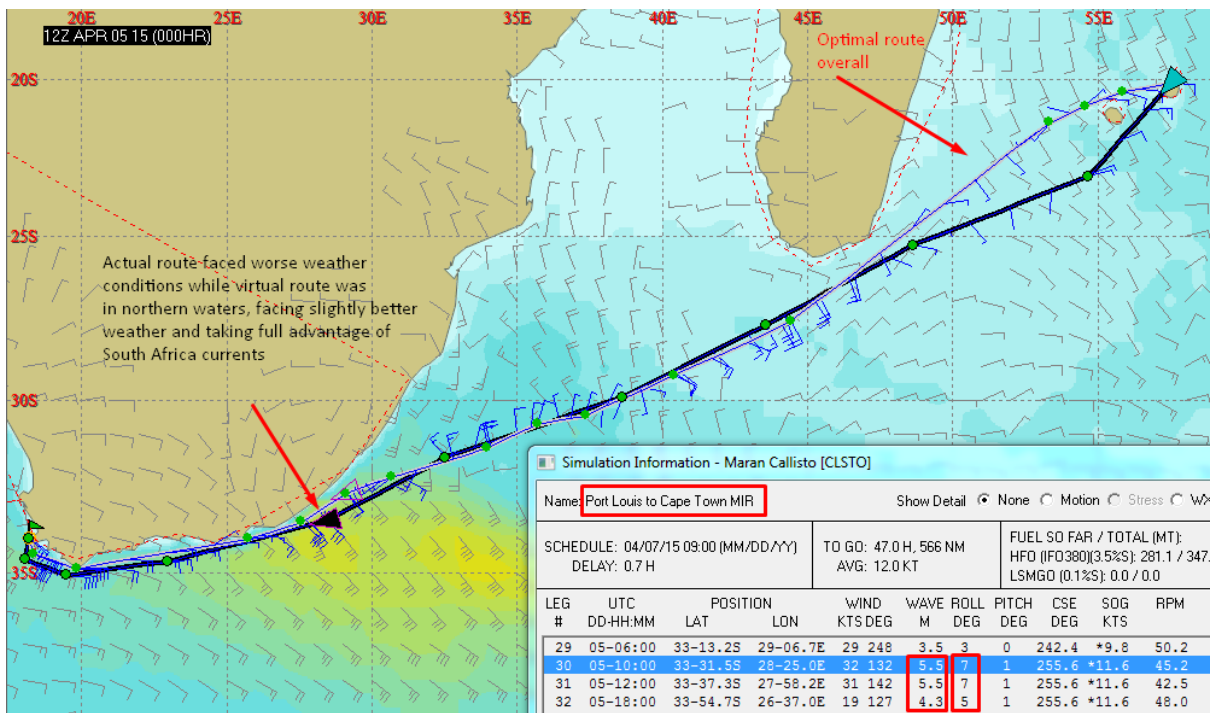


Ταξίδι 27:

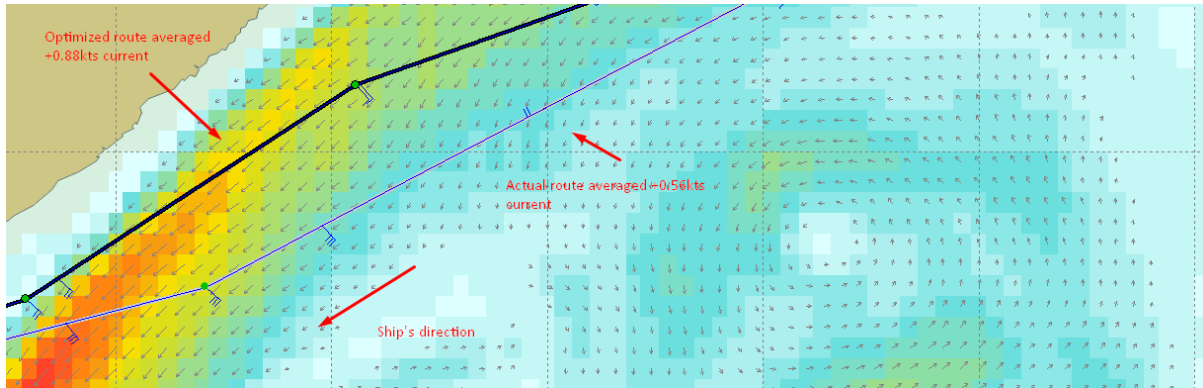
Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Port Louis- Cape Town

Route		Optimal_22_RW	Set as Op Route		Sort by	Fuel	Time	Cost	33.4mt less consumption		Better current advantage		Safer seakeeping responses		Print	Close													
Route Name		ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO		LSMGO		Total Bunkers		Average				Maximum				Cost								
		ddHhmm	hrs	hrs	nm		mt	Diff	mt	Diff	mt	Diff	SOG	STW	Current	RPM	Power	WX	Slp	Wave	Roll	Pitch	VAcc.	LAcc.	Hire	Bunker	Total	Diff	
							mt	mt	mt	mt	mt	mt	kts	kts	kts		KW		%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$	
1	Optimal_22_RW	07:03:46	-0.2	187.8	2315.4	No	333.4	0.0	0.0	0.0	333.4	0.0	12.33	11.76	0.56	54.8	9,908	1.07	...	5.5	7.3	1.2	0.2	0.3	0	105.3K	105.3K	10.4K	
2	Port Louis to Cape Town MIR	07:08:49																											

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το ει-
κονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό

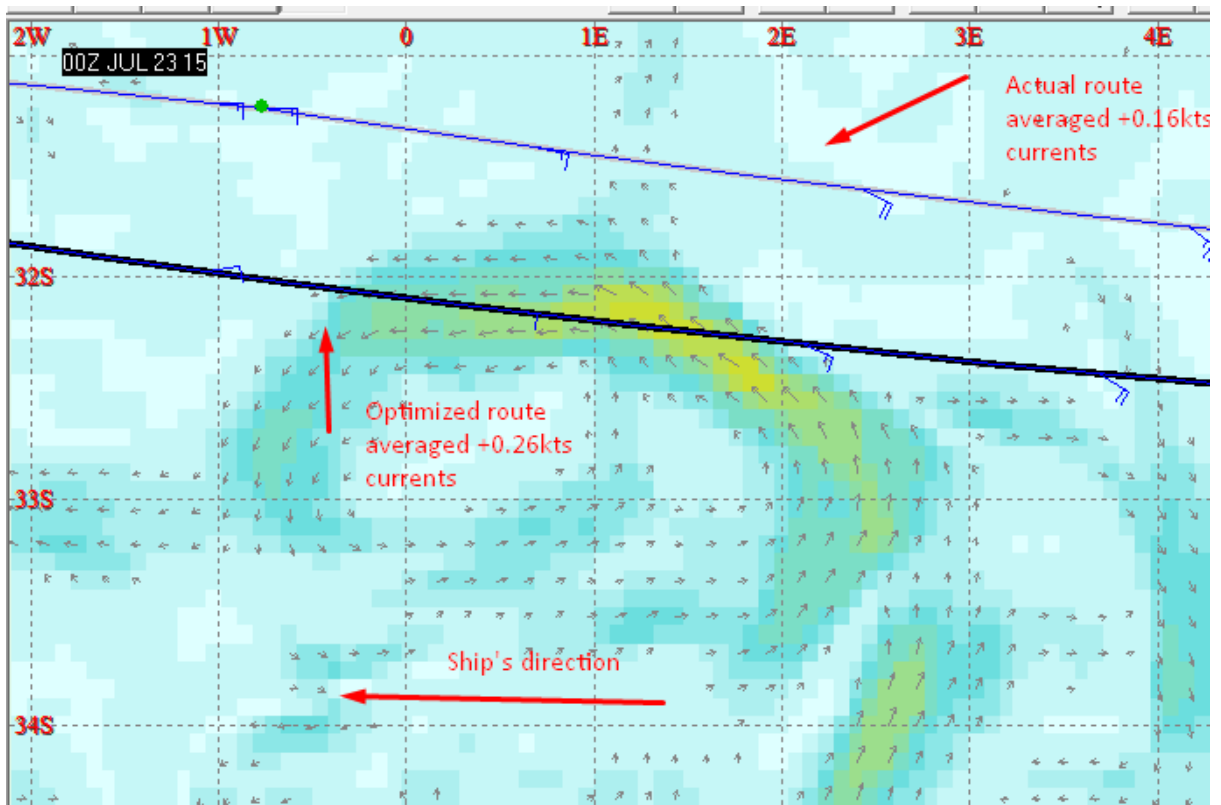


Ταξίδι 28:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Cape Town-Angra Dos Reis

Route		Set as Op Route		Sort by		Fuel		Time		Cost																		
Route Name		ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO	LSMGO	Total Bunkers	SOG	STW	Current	RPM	Power	WX	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc	LAcc	Hire	Bunker	Total	Dif			
		dd-hh:mm	hrs	hrs	nm		mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	kW	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$	\$			
1	Optimal_36_FW	31:21:51	-1.1	244.8	3329.0	No	540.2	0.0	0.0	0.0	540.2	0.0	13.60	13.34	0.26	59.2	10.375	1.07	---	5.4	6.9	0.9	0.1	0.2	0	167.5K	167.5K	0
2	Cape Town to Angra Dos Reis MIR	31:21:41	-1.3	244.7	3340.6	No	571.4	31.2	0.0	0.0	571.4	31.2	13.65	13.49	0.16	60.0	11.162	1.07	---	5.3	6.3	0.9	0.1	0.2	0	177.1K	177.1K	9.7K

Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το ει-
κονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό

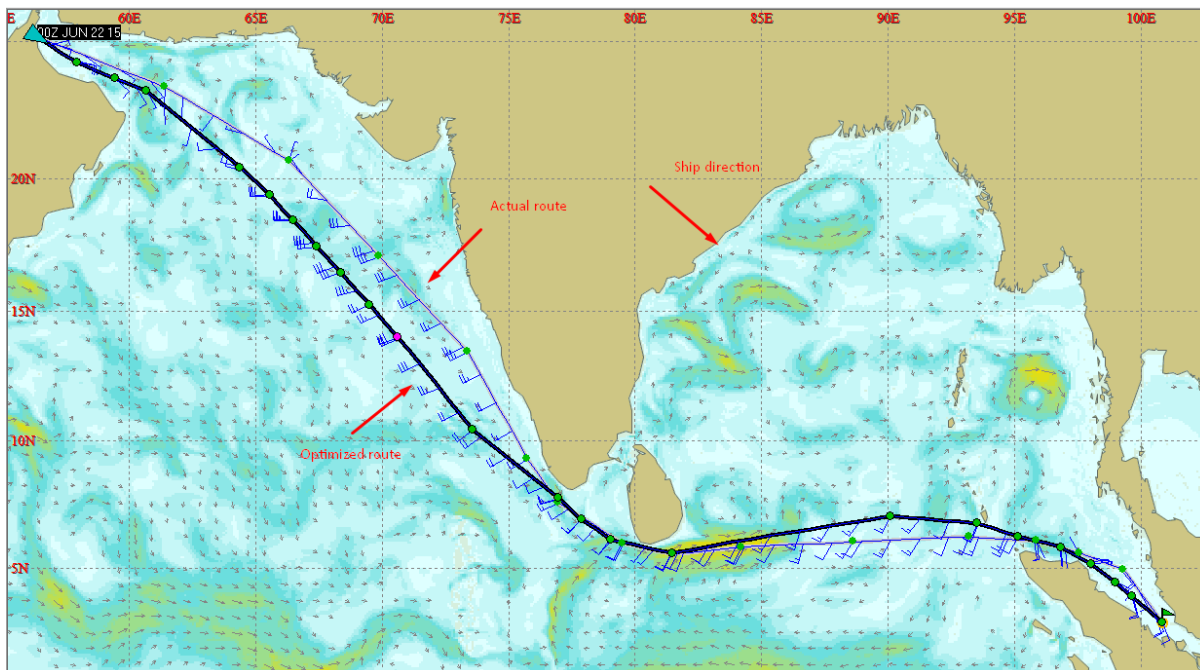


Ταξίδι 29:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Fujairah-Singapore

Route		35.5mt less consumption															Better current advantage														
Route Name		ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO			LSMGO			Total Bunkers			Average			Maximum							Cost					
		dd-Hh:mm	hrs	hrs	nm	No	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	mt	SDG	STW	Current	RPM	Power	Wx	Slip	Wave	Roll	Pitch	VAcc	LAcc	Hire	Bunker	Total	Diff
1	Optimal_35_RW	28-02-13	-1.8	257.2	3127.1	No	485.9	0.0	0.0	0.0	485.9	0.0	12.16	11.44	0.72	52.5	9.665	1.12	2%	6.7	8.8	1.5	0.1	0.2	0	150.6K	150.6K	11.0K			
2	Fujairah to Singapore Master's route	28-02-20	-1.7	257.3	3150.3	No	521.3	35.5	0.0	0.0	521.3	35.5	12.24	11.75	0.49	54.5	10.852	1.12	4%	6.1	9.0	1.4	0.1	0.2	0	161.6K	161.6K	11.0K			

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



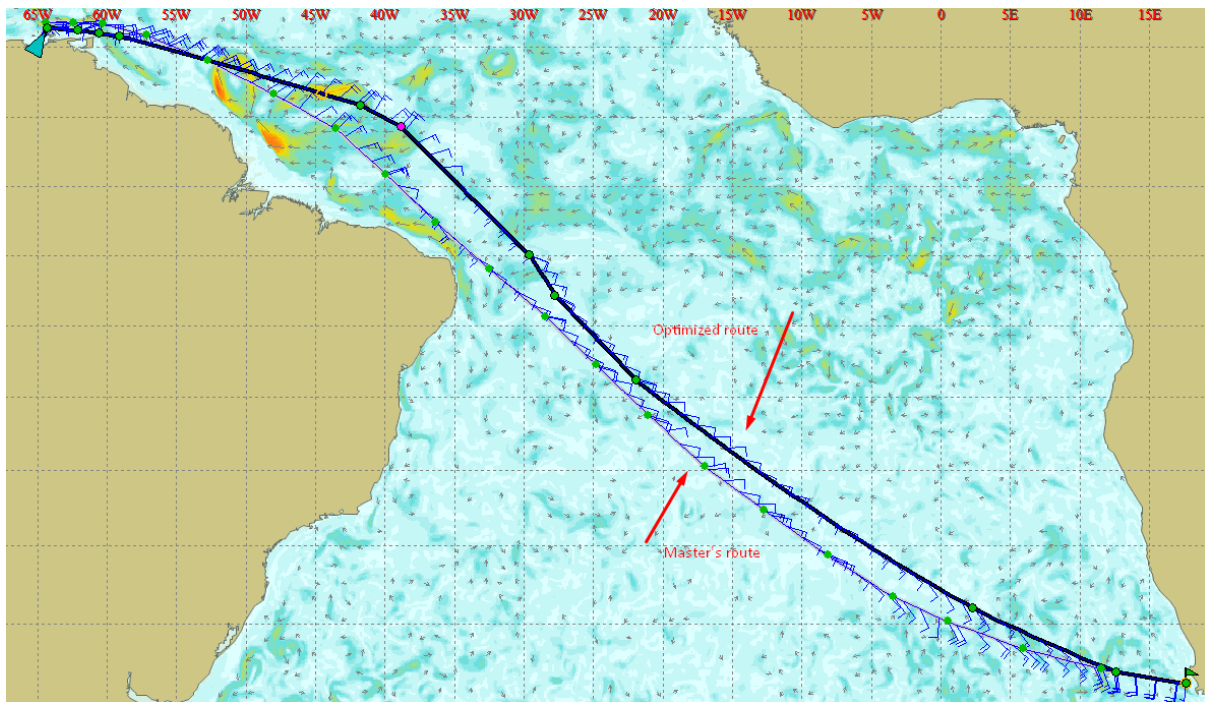
Ταξίδι 30:

Εικόνα 1: Συνολικά νούμερα σύγκρισης της διαδρομής Jose- Cape Town

Route		ETA	Delay	Time	Dist.	Slow Down	HFO		LSMGO		Total Bunkers		Average					Maximum					Cost						
Route Name	dd-hh:mm	hrs	hrs	nmi	Yes	mt	Diff	mt	Diff	mt	Diff	mt	Diff	SOG	STW	Current	RPM	Power	WC	Slip	Wave	Roll	Pitch	V.Acc.	L.Acc.	Hire	Bunker	Total	Diff
														kts	kts	kts		kW	%	%	m	deg	deg	g	g	\$	\$	\$	\$
1	Optimal 78 RW	21-02-39	-2.3	435.2	5604.0	Yes	1494.5	0.0	0.0	0.0	1494.5	126.2	12.88	12.72	-0.16	57.9	17.045	1.13	5%	2.9	3.9	0.4	0.0	0.1	0	463.3K	463.3K		
2	Jose to Cape Town MIR	21-02-32	-2.5	435.0	5589.4	No	1620.7	126.2	0.0	0.0	1620.7	126.2	12.85	13.04	-0.18	59.4	18.320	1.12	7%	2.9	3.8	0.4	0.0	0.1	0	502.4K	502.4K	39.1	

126mt less Better current advantage

Εικόνα 2: Συνολική απεικόνιση της πορείας και σύγκριση πραγματικού με εικονικού πλοίου



Εικόνα 3: Απεικόνιση της εκμετάλλευσης των ωκεάνιων θαλάσσιων ρευμάτων από το εικονικό πλοίο σε αντίθεση με το πραγματικό

