

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**



ΔΠΜΣ

Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία

Διπλωματική Εργασία

**Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας και
έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.**

Κοφινάς Παναγιώτης

ΜΝΣΝΔ 22023

Επιβλέπων:

Δρ. Ιωάννης Κατσάνης

Πειραιάς

Απρίλιος 2024



*Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.*

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ΖΗΤΗΜΑΤΑ COPYRIGHT

Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας των πιθανών συνεπειών αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΜΕΛΟΣ Α΄: Ιωάννης Κατσάνης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΣΝΔ

ΜΕΛΟΣ Β΄: Θεόδωρος Ζάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΣΝΔ

ΜΕΛΟΣ Γ΄: Ευθύμιος Παριώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΣΝΔ



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή και πρόην

“Δάσκαλό Μου”

στη Σχολή Ναυτικών Δοκιμών,

Δρ. Ιωάννη Κατσάνη,

για τις οδηγίες του και την απεριόριστη κατανόησή του.

Στις τρεις γυναίκες της ζωής μου, Νένα, Βάλια και Εύχαρις



*Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.*

Περίληψη

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των σύγχρονων συστημάτων βαφής των υφάλων των πλοίων με στόχο την εξοικονόμηση καυσίμου. Εκτενείς μελέτες και πολυάριθμη αρθρογραφία υφίστανται γύρω από το παραπάνω θέμα αναλύοντας στην πλειοψηφία τους, επιστημονικά και μέσω πειραματικών δεδομένων την επίδραση των υφαλοχρωμάτων στην αποφυγή / καταπολέμηση της βιορύπανσης της γάστρας. Ο συνδυασμός των παραπάνω με την τρέχουσα τάση της αγοράς στο τομέα των υφαλοχρωμάτων, η συγκριτική οικονομοτεχνική μελέτη των διαφόρων τύπων συστημάτων βαφής και ο αντίκτυπός τους τόσο στην εξοικονόμηση πόρων / κεφαλαίων των ναυτιλιακών εταιριών, όσο και στην εναρμόνιση των πλοίων με την ισχύουσα περιβαλλοντική νομοθεσία, είναι ίσως δύο τομείς οι οποίοι χρήζουν περαιτέρω μελέτης και στους οποίους πρόκειται επικεντρωθεί η εν λόγω εργασία. Η παράθεση μια μελέτης περίπτωσης για τη σύγκριση δύο διαφορετικών συστημάτων βαφής ενός εμπορικού πλοίου, κρίθηκε αναγκαία για την κατανόηση των παραπάνω.

Abstract

The purpose of this thesis is to study the modern systems of hull paintings with the aim of saving fuel. Extensive studies and numerous articles exist around the above topic, most of them analyzing scientifically and through experimental data, the effect of hull paintings in avoiding / combating biofouling of the hull. The combination of the above with the current market trend in the field of these paints, the comparative economic and technical study of the various types of paint systems and their impact not only on the savings of resources / capital of the shipping companies, but also on the harmonization of the ships with the current environmental legislation, are perhaps two areas that need further study and on which this paper will focus. The citation of a case study for the comparison of two different painting systems of a merchant ship was deemed necessary for the understanding of the above.

Λέξεις κλειδιά:

Βιορύπανση, υφαλοχρώματα, αυτολείανση, απελευθέρωση ρύπανσης.



Πίνακας Περιεχομένων

1. Θεωρητική Προσέγγιση θέματος	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Συσχέτιση και επίδραση τραχύτητας γάστρας και έλικας στην εξοικονόμηση καυσίμου.	1
1.2.1 Συσχέτιση και επίδραση τραχύτητας γάστρας	1
1.2.2 Συσχέτιση και επίδραση τραχύτητας έλικας	11
1.3 Θαλάσσια βιορύπανση. Μία εκ των μορφών αύξησης τραχύτητας της γάστρας και της έλικας ενός πλοίου.	12
1.3.1 Γενικά περί της διαδικασίας ανάπτυξης της βιορύπανσης.....	12
1.3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη της βιορύπανσης.....	14
1.4 Μέθοδοι αντιρρύπανσης.	15
1.4.1 Γενικά	152
1.4.2 Αντιρρυπαντικά χρώματα.....	16
1.4.2.1 Βιοκτόνα αντιρρυπαντικά χρώματα.	16
1.4.2.2 Μη βιοκτόνα αντιρρυπαντικά χρώματα.....	20
1.4.2.3 Μή βιοκτόνα αντιρρυπαντικά συστήματα υπό ερευνητικό / δοκιμαστικό / πρώιμο στάδιο.....	21
1.5 Εφαρμογή αντιρρυπαντικών χρωμάτων-προετοιμασία επιφανειών- ακολουθούμενα πρότυπα.	26
1.5.1 Γενικά	26
1.5.2 Προετοιμασία επιφανειών.....	26
2. Πρακτική προσέγγιση θέματος	29
2.1 Γενικά.....	29
2.2 Δεξαμενισμοί και επιλογή συστημάτων αντιρρυπαντικής βαφής.....	30
2.2.1 Δεξαμενισμοί.....	30
2.2.2 Επιλογή συστήματος αντιρρυπαντικής βαφής.	31
2.3 Μελέτη περίπτωσης.....	32
2.3.1 Παραδοχές.....	32
2.3.2 Δεδομένα.....	33
2.3.2.1 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά πλοίου.....	33
2.3.2.2 Επιχειρησιακό προφίλ πλοίου.....	34
2.3.3 Μελέτη περίπτωσης από οικονομικοτεχνικής απόψεως.....	36
2.3.3.1 Ποσότητες και κόστος απόκτησης χρωμάτων.....	36
2.3.3.2 Κόστη και ζημίες λόγω δεξαμενισμού σχετιζόμενα αποκλειστικά με εργασίες βαφής.....	37
2.3.3.3 Κόστη εργασιών προετοιμασίας επιφανειών.....	38
2.3.3.4 Κόστος εργασιών εφαρμογής χρωμάτων.....	39
2.3.4 Μελέτη περίπτωσης αναφορικά με την κατανάλωση καυσίμου.....	39
2.3.5 Μελέτη περίπτωσης από επενδυτικής απόψεως.....	42
2.3.6 Μελέτη περίπτωσης σχετικά με τη συμμόρφωση επί των κανονισμών.....	42
2.3.6.1 Μελέτη περίπτωσης σχετικά με τον δείκτη CII.....	44



2.3.6.2 Μελέτη περίπτωσης σχετικά με τον δείκτη EEXI.....	48
3. Συμπεράσματα.....	51
Βιβλιογραφία	52

Εικόνες και Πίνακες

Εικόνες

Εικόνα 1.1: Αύξηση τραχύτητας γάστρας συναρτήσει του χρόνου.

Εικόνα 1.2 Διάγραμμα τριβής επίπεδης πλάκας

Εικόνα 1.3 Επίπεδα αύξησης αντίστασης τριβής λόγω γλίτσας.

Εικόνα 1.4 Συσχέτιση βαθμίδων ρύπανσης με ύψος τραχύτητας και μέση τραχύτητα.

Εικόνα 1.5 Μετρήσεις επίδρασης βιορύπανσης σε συνολική αντίσταση και απαιτούμενη ισχύ σε ταχύτητες 15 και 30 κόμβων.

Εικόνα 1.6 Συντελεστές αντίστασης τριβής των επιφανειών δοκιμής με τα ποσοστά να αντιστοιχούν στην κάλυψή τους.

Εικόνα 1.7 Ποσοστιαία αύξηση ισχύος containership 230m

Εικόνα 1.8 Τιμές ώσης παραγόμενης από έλικες διαφορετικών τιμών προσχώρησης.

Εικόνα 1.9 Βαθμός απόδοσης έλικας αναλόγως επιπέδου βιορύπανσης.

Εικόνα 1.10 Διαδικασία ανάπτυξης βιορύπανσης.

Εικόνα 1.11 Τρόπος λειτουργίας χρωμάτων αδιάλυτης μήτρας και χρόνος αποδοτικότητας.

Εικόνα 1.12 Τρόπος λειτουργίας χρωμάτων διαλυτής μήτρας και χρόνος αποδοτικότητας.

Εικόνα 1.13 M/V Καλυψώ

Εικόνα 1.14 Υποβρύχιες εικόνες M/V Καλυψώ

Εικόνα 1.15 Dry Dock M/V Καλυψώ μετά παρέλευσης πενταετίας.

Εικόνα 1.16 Διάγραμμα απώλειας ταχύτητας M/V Καλυψώ.

Εικόνα 2.1 Αύξηση απαίτησης ισχύος / Κατανάλωσης καυσίμου αναλόγως τύπου υφαλοχρώματος.

Εικόνα 2.2 Χάρτης γεωγραφικής δραστηριότητας του υπό μελέτη πλοίου συναρτήσει θερμοκρασίας θαλασσών.



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

Εικόνα 2.3 Διάγραμμα μέσης ποσοστιαία αύξηση ισχύος / κατανάλωσης καυσίμου σε βάθος πενταετίας αναλόγως τύπου υφαλοχρωμάτων.

Εικόνα 2.4 Τάσεις λύσεων βιωσιμότητας για την κατηγορία των Tankers

Εικόνα 2.5 Τρόπος κατηγοριοποίησης πλοίου αναλόγως CII rating

Εικόνα 2.6 Τρόπος υπολογισμού $V_{ref\ avg}$ και MCR_{avg}

Εικόνα 2.7 Τρόπος υπολογισμού EEXIreq

Πίνακες

Πίνακας 1.1 Μέθοδοι προετοιμασίας επιφανειών αναλόγως προτύπων.

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου.

Πίνακας 2.2 Ποσοστιαία κατανομή ταχυτήτων του υπό μελέτη πλοίου.

Πίνακας 2.3 Απεικόνιση γεωγραφικής δραστηριότητας του υπό μελέτη πλοίου σε μορφή ραβδογραμμάτων.

Πίνακας 2.4 Risk Matrix ανάπτυξης βιορύπανσης συναρτήσει θερμοκρασίας θαλασσών.

Πίνακας 2.5 Ποσότητες και κόστος απόκτησης SPC υφαλοχρωμάτων.

Πίνακας 2.6 Ποσότητες και κόστος απόκτησης FRC υφαλοχρωμάτων.

Πίνακας 2.7 Απαιτούμενες ημέρες δεξαμενισμού και κόστος ενοικίασης αναλόγως τύπου υφαλοχρωμάτων.

Πίνακας 2.8 Απώλειες εσόδων αναλόγως τύπου υφαλοχρωμάτων.

Πίνακας 2.9 Κόστος εφαρμογής αναλόγως τύπου υφαλοχρωμάτων.

Πίνακας 2.10 Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων / ποσών αναλόγως τύπου υφαλοχρωμάτων.

Πίνακας 2.11 Ανά έτος εξοικονόμηση καυσίμου αναλόγως τύπου υφαλοχρωμάτων.

Πίνακας 2.12 Κόστη και εξοικονομήσεις ανά έτος εφαρμογής.

Πίνακας 2.13 Ετήσια % διαφοροποίηση CII σε σχέση με το CII *ref*

Πίνακας 2.14 Μεταβλητότητα του CII



*Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.*

Συντμήσεις

PNA: Principles of Naval Architecture

ATTC: American Towing Tank Conference

ITTC: International Towing Tank Conference

AHR: Average Hull Roughness

NSTM: Naval Ship's Technical Manual

CFD: Computational Fluid Dynamics

FR: Fouling Rate

PSU: Practical Salinity Unit (1gr αλάτι / 1 kgr νερού)

CDP: Controlled Depletion Polymers

SPC: Self Polishing Copolymers

TBT: Tributyltin

FRC: Foul Release Coatings

IMO: International Maritime Organisation

NACE: National Association of Corrosion Engineers

CIP: Coating Inspection Program

SSPC: Society for Protective Coatings

AMPP: Materials Protection and Performance

DFT: Dry Film Thickness

G.D.P.R: General Data Protection Regulation

ABS: American Bureau of Shipping

EEXI: Energy Efficiency Existing Index

CII: Carbon Intensity Indicator

EPL: Engine Power Limitation



1.Θεωρητική προσέγγιση θέματος.

1.1 Εισαγωγή

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει ο οποιοσδήποτε διαχειριστής ενός σκάφους, είτε αυτός είναι ο εφοπλιστής, ιδιοκτήτης ενός εμπορικού πλοίου, είτε είναι ο αρμόδιος φορέας συντονισμού των κινήσεων ενός πολεμικού πλοίου, είναι η εξεύρεση μεθόδων εξοικονόμησης καυσίμου, γεγονός το οποίο θα έχει άμεσο αντίκτυπο στην αύξηση των εσόδων αλλά και στην εξασφάλιση μεγαλύτερης αυτονομίας αντίστοιχα. Η ορθολογική επιχειρησιακή αξιοποίηση των πλοίων, η σωστή συντήρηση των υφιστάμενων μηχανών καθώς και η επιλογή διαφορετικού τύπου καυσίμου αναλόγως απαιτήσεων, είναι κάποιοι από τους τρόπους επίτευξης της μέγιστης δυνατής αποδοτικότητας του προωστήριου και ηλεκτροπαραγωγού σκεύους ενός πλοίου. Τίποτα όμως από τα παραπάνω δε θα μπορούσε να επιτευχθεί εάν πρωτίστως δεν είχε εξασφαλισθεί η κατά το δυνατό μείωση της αντίστασης τριβής της γάστρας ενός πλοίου (Rf) η οποία ναι μεν εξαρτάται πρωτίστως από το μέγεθος της βρεχόμενης επιφάνειας της γάστρας (As), πλην όμως αυξάνεται με τη ρύπανσή της. Το παραπάνω, σε συνδυασμό με την ενδεχόμενη επιδείνωση του βαθμού απόδοσης της έλικας από οποιαδήποτε μορφή ρύπανσης, αποτελούν τα "θεμελιώδη προβλήματα προς λύση", τα οποία οφείλει να αντιμετωπίσει ο διαχειριστής ενός πλοίου. Ένας από τους τρόπους αντιμετώπισης των ανωτέρω προβλημάτων είναι η εφαρμογή κατάλληλων συστημάτων βαφής γάστρας και έλικας. Σκοπός λοιπόν της παρούσας διπλωματικής, είναι η μελέτη των συστημάτων βαφής και πώς αυτά συντελούν στη βελτίωση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του σκάφους, γεγονός το οποίο θα έχει άμεσο αντίκτυπο στην επίτευξη της επιθυμητής ταχύτητας με τη χαμηλότερη δυνατή φόρτιση του προωστήριου σκεύους. Κατ' επέκταση θα γίνει λόγος για την επίδραση στην εξοικονόμηση καυσίμου καθώς και στους δείκτες ενεργειακής απόδοσης (EEXI) και παραγωγής άνθρακα (CII) υφιστάμενου, εν λειτουργία πλοίου. Επίσης θα παρατεθούν οικονομικοτεχνικά στοιχεία, προερχόμενα από εταιρείες διαχείρισης εμπορικών πλοίων αλλά και εταιρείες εμπορίας συστημάτων βαφής, με σκοπό τη σκιαγράφηση της παρούσης κατάστασης στη "αγορά", επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον στο πώς οι ναυτιλιακές προσεγγίζουν το εν λόγω θέμα.

1.2 Συσχέτιση και επίδραση τραχύτητας γάστρας και έλικας στην εξοικονόμηση καυσίμου.

1.2.1 Συσχέτιση και επίδραση τραχύτητας γάστρας

Για να μπορέσει να γίνει πλήρως αντιληπτή η αναγκαιότητα διατήρησης μιας καθαρής γάστρας ενός πλοίου, ανεξαρτήτως εκτοπίσματος, εκτιμάται ως αναγκαίο να διασαφηνισθεί η σχέση μεταξύ ταχύτητας, ισχύος πρόωσης και αντίστασης πρόωσης. Να γίνει δηλαδή απολύτως κατανοητό ότι αν για παράδειγμα αυξηθεί η ισχύς πρόωσης ενός πλοίου κατά 100%, θα έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της ταχύτητας του συγκεκριμένου πλοίου κατά 25% το μέγιστο. Αυτό οφείλεται στην ολική αντίσταση πρόωσης ενός πλοίου, η οποία αποτελείται από τη συνεκτική αντίσταση, την



αντίσταση κυματισμού και τις λοιπές μορφές αντίστασης [Principles of Naval Architecture Series(PNA 2010)]:

$$R_t = R_f + R_w + R_r$$

R_t : Ολική αντίσταση

R_f : Αντίσταση τριβής η οποία αναλύεται στις παρακάτω συνιστώσες: i) αντίσταση τριβής επίπεδης πλάκας, ii) τραχύτητα, iii) αντίσταση τριβής λόγω σχήματος και iv) αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας

R_w : Αντίσταση κυματισμού η οποία αναλύεται στις παρακάτω συνιστώσες: i) δημιουργίας κύματος, ii) θραύσης κύματος

R_r : Υπόλοιπη αντίσταση η οποία αναλύεται στις παρακάτω συνιστώσες: i) αντίσταση αέρα, ii) αντίσταση προεξοχών, iii) αντίσταση σε περιορισμένα ύδατα, iv) πρόσθετη αντίσταση κυματισμού και v) επαγόμενη αντίσταση.

Στην παρούσα φάση και αφού εντάξουμε την αντίσταση κυματισμού στις λοιπές μορφές αντίστασης προς διευκόλυνσή μας, θα επικεντρωθούμε στη συνεκτική αντίσταση η οποία επηρεάζεται από τους παρακάτω παράγοντες:

- α. Το είδος της βρεχόμενης επιφάνειας (λειότητα / τραχύτητα)
- β. Την έκταση της βρεχόμενης επιφάνειας
- γ. Την ταχύτητα του πλοίου
- δ. Την πυκνότητα και το ιζώδες του υγρού μέσα στο οποίο κινείται το πλοίο
- ε. Το είδος της ροής (στρωτή, στροβιλώδης ή μικτή)
- στ. Το μήκος της βρεχόμενης επιφάνειας.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν ορισμένα στοιχεία τα οποία θα επιδείξουν τη σημαντικότητα της τραχύτητας της επιφάνειας της γάστρας ενός πλοίου ιδιαίτερα στην αντίσταση τριβής τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό-μαθηματικό επίπεδο.

Η τραχύτητα της γάστρας διακρίνεται σε δύο τύπους. Στη φυσική τραχύτητα και στη βιολογική τραχύτητα (λόγω ρύπανσης). Η κάθε μία από τις παραπάνω υποδιαιρείται σε δύο υποκατηγορίες, αναλόγως της κλίμακας των χαρακτηριστικών που τη διακρίνουν (μακροσκοπικό ή μικροσκοπικό επίπεδο). Η φυσική τραχύτητα σε μακροσκοπικό επίπεδο αποτελείται από τη δομική τραχύτητα η οποία δημιουργείται από τη διαδικασία της κατασκευής του πλοίου (συγκολλήσεις, μορφή χαλύβδινων ελασμάτων κτλ), από μεγάλης εκτάσεως διάβρωση, από μηχανική καταπόνηση (π.χ λόγω πρόσκρουσης) ενώ σε μικροσκοπικό επίπεδο από μικρής εκτάσεως διάβρωση, το προφίλ του χρησιμοποιούμενου χάλυβα και από την κατάσταση των χρωμάτων της (π.χ λόγω γδαρσιμάτων από καδένες αγκυρών, σχοινιών αλλά κυρίως από αποφλοιώσεις των υφαλοχρωμάτων εξαιτίας μή ορθής εφαρμογής τους ή του



διαχρονικού φαινομένου της "τοπικής επιδιόρθωσης" έναντι της ολικής απομάκρυνσης παλαιών και εφαρμογής νέων). Έχει αποδειχθεί ότι η φυσική τραχύτητα των πλοίων αυξάνεται μαζί με την ηλικία τους. Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει μια πειραματική αντιστοιχία αύξησης τραχύτητας γάστρας, και κατ' επέκταση αύξηση αναγκών ισχύος, κατά την διάρκεια ζωής ενός πλοίου.



Εικόνα 1.1: Αύξηση τραχύτητας γάστρας συναρτήσει του χρόνου.

Πηγή: The effects of corrosion and fouling on the performance of ocean-going vessels: a naval architecture perspective, T. Munk, D. Kane και D. M. Yebra.

Η βιολογική ρύπανση, η οποία πρόκειται επί του παρόντος να μας απασχολήσει, αποτελείται σε μακροσκοπικό επίπεδο από ρύπανση η οποία είναι σε πιο ορατή μορφή όπως είναι οι πεταλίδες και τα φύκια (animal and weed fouling), ενώ σε μικροσκοπικό επίπεδο από μιας μορφής γλίτσα (slime fouling). Οι μηχανισμοί ανάπτυξης της βιολογικής ρύπανσης καθώς και τα είδη αυτής, πρόκειται αναπτυχθούν παρακάτω.

Αρκετές πειραματικές μελέτες έχουν αφιερωθεί στη διερεύνηση της επίδρασης της τραχύτητας της γάστρας στην αντίσταση τριβής με πρώτη αυτή του Froude το 1872. Ακολούθησαν και άλλοι όπως οι Monty, Schultz και Swain κ.α με όλους να έχουν ως σκοπό τον κατά το δυνατό ακριβέστερο ποσοτικό προσδιορισμό της εν λόγω επίδρασης. Η αντίσταση ενός πλοίου εκτιμάται αρχικά με υπολογιστικές μεθόδους οι οποίες όμως δεν έχουν ακόμη φθάσει την αξιοπιστία των πειραματικών μεθόδων. Σε πρώτο επίπεδο λοιπόν – υπολογιστικό- ο συνολικός συντελεστής τριβής C_t προκύπτει χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$R_t = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot C_t \cdot V^2$$

ρ : πυκνότητα του νερού

S : η βρεχόμενη επιφάνεια

C_t : ο συνολικός συντελεστής αντίστασης

V : η ταχύτητα

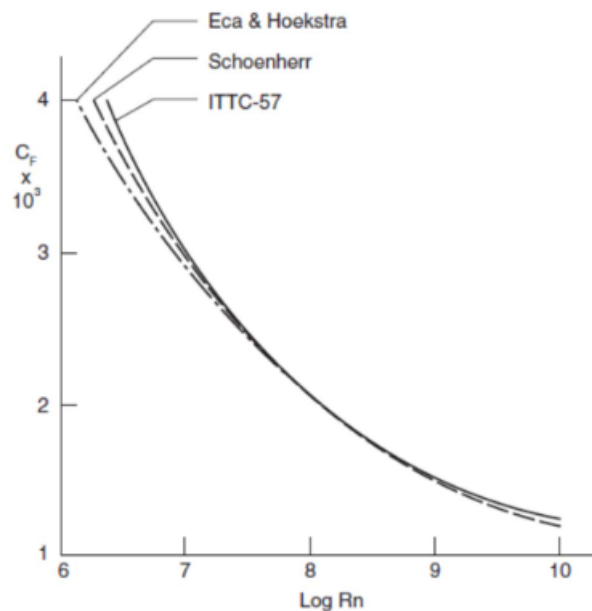


Κατά αντιστοιχία λοιπόν με την Εξίσωση 1 (η οποία απλοποιείται όπως είπαμε στη μορφή $R_t = R_f + R_r$) έχουμε ότι ο συντελεστής συνολικής αντίστασης C_t , αποτελείται από τον αντίστοιχο συντελεστή συνεκτικής αντίστασης C_f και το συντελεστή υπολειπόμενης αντίστασης C_r . Θεωρώντας ότι η υπολειπόμενη αντίσταση συναρτάται του αριθμού Froude (σύμφωνα και με την υπόθεση του Froude όπου $Fr = \frac{U}{\sqrt{g \cdot L}}$ με g την επιτάχυνση της βαρύτητας και L το μήκος του πλοίου) και η συνεκτική αντίσταση συναρτάται του αριθμού Reynolds ($Re = \frac{U \cdot L}{\nu}$ με ν το κινηματικό ιξώδες του υγρού) προκύπτει ότι:

$$C_t = C_f(Re) + C_r(Fr)$$

Η εξίσωση Schoenherr ή αλλιώς ATTC 1947 $\frac{0,242}{\sqrt{C_f}} = \log(Rn C_f)$ και ITTC 1957

$C_f = \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2}$, σε συνδυασμό με το παρακάτω διάγραμμα τριβής επίπεδης πλάκας,



Εικόνα 1.2 Διάγραμμα τριβής επίπεδης πλάκας

Πηγή: Απαίτηση ταχύτητας, Υπολογισμός απαιτούμενης ισχύος, Υπολογισμός αντίστασης, Πλωτάρχης (Μ) Γ. Γκουγκουλίδης Π.Ν

μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της αντίστασης τριβής των επίπεδων πλακών όπως απέδειξαν οι Candries και Schultz το 2001 και 2004 αντίστοιχα. Η διαφορά λοιπόν των τιμών του συντελεστή συνολικής αντίστασης (C_t) που θα προκύψουν από πειραματικά δεδομένα και των τιμών του συντελεστή συνεκτικής αντίστασης (C_f) που θα προκύψουν από την εξίσωση Schoenherr ή ITTC 1957, είναι οι τιμές του συντελεστή υπολειπόμενης αντίστασης (C_r), δηλαδή $C_r = C_t - C_f$. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τιμές του συντελεστή υπολειπόμενης αντίστασης που θα προκύψουν, είναι ίδιες με αυτές των επιφανειών των πειραμάτων – καθόσον σύμφωνα με τη μελέτη του Schultz 2007, δεν υπάρχει εξάρτηση από το βαθμό



τραχύτητας της γάστρας - και θέτοντας ως δείκτες S την ομαλή γάστρα (χωρίς ρύπανση) και ως R την τραχιά γάστρα, τότε προκύπτουν:

$C_{f_s} = C_{t_s} - C_{f_s}$ και αφού όπως προαναφέρθηκε $C_{f_s} = C_{f_r}$ (συντελεστής υπολειπόμενης αντίστασης ανεξάρτητος από την τραχύτητα), τότε οι τιμές του συντελεστή αντίστασης των ρυπαρών επιφανειών προκύπτουν από την αφαίρεση του συντελεστή υπολειπόμενης αντίστασης από το συντελεστή ολικής αντίστασης, δηλαδή

$$C_{f_r} = C_{t_r} - C_{f_r}$$

Οι τιμές των αριθμών τραχύτητας Reynolds (k^+) και των συντελεστών συνάρτησης τραχύτητας (ΔU^+), λαμβάνονται από τις παρακάτω εξισώσεις που έχουν προκύψει από τη μελέτη Granville 1987. Η εν λόγω μελέτη αφορά σε μια διαδικασία πειραμάτων ρυμούλκησης επίπεδων πλακών καλυμμένων με διάφορα επίπεδα τραχύτητας και κατά την οποία όταν υπολογιζόταν ο συντελεστής τριβής για μια γκάμα ταχυτήτων, τότε ήταν εφικτός ο υπολογισμός των συντελεστών τραχύτητας. Οι εν λόγω εξισώσεις έχουν ως εξής:

$$k^+ = \left(\frac{k}{L}\right) \left(\frac{Re Cf}{2}\right) \left(\sqrt{\frac{2}{Cf}}\right)_R \left[1 - \frac{1}{\kappa} \left(\sqrt{\frac{Cf}{2}}\right)_R + \frac{1}{\kappa} \left(\frac{3}{2\kappa} - \Delta U^{+'}\right) \left(\frac{Cf}{2}\right)_R \right]$$

$$\Delta U^+ = \left(\sqrt{\frac{2}{Cf}}\right)_S - \left(\sqrt{\frac{2}{Cf}}\right)_R - 19,7 \left[\left(\sqrt{\frac{Cf}{2}}\right)_S - \left(\sqrt{\frac{Cf}{2}}\right)_R \right] - \frac{1}{\kappa} \Delta U^{+'} \left(\sqrt{\frac{Cf}{2}}\right)_R$$

L: είναι το μήκος της πλάκας

Re: ο αριθμός Reynolds

Cf :ο συντελεστής τριβής

k: ύψος τραχύτητας

ΔU^+ : συνάρτηση τραχύτητας

ΔU : η διαφορά μεταξύ της ταχύτητας τριβής σε λεία επιφάνεια (S) και της ταχύτητας σε ρυπαρή επιφάνεια (R).

Έτσι λοιπόν για διάφορες τιμές k και ΔU που μπορεί να ληφθούν πειραματικά και εφαρμόζοντάς τες στους παραπάνω τύπους, είμαστε σε θέση να προβλέψουμε την επίδραση των διαφορετικών επιπέδων ρύπανσης επίπεδων πλακών (διαφόρων μηκών και κατ' αντιστοιχία διαφορετικών πλοίων) στην αντίσταση τριβής. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι αναλόγως του εύρους τιμών τραχύτητας του αριθμού Reynolds (k^+), διακρίνονται και τα καθεστώτα ροής. Αναλυτικότερα για $k^+ < 3$ έχουμε υδροδυναμικά λείο καθεστώς κατά το οποίο η τραχύτητα δεν επηρεάζει την αντίσταση τριβής. Για $3 < k^+ < 25$, έχουμε το ενδιάμεσο καθεστώς όπου είναι και η συνηθέστερη κατάσταση των πλοίων και τέλος για $k^+ > 25$ έχουμε το πλήρως τραχύ



καθεστώς. Έχοντας λοιπόν προβάλλει τον τρόπο εξάρτησης της συνάρτησης τραχύτητας από την τραχύτητα του αριθμού Reynolds, έρχεται ο τύπος του Townsin-ο οποίος προέκυψε από μια δεκαετή μελέτη διά της οποίας μέσω πειραμάτων ανέλυε τη ροή του νερού σε επιφάνειες βαμμένες με επιστρώματα διαφορετικής τραχύτητας-να προχωρήσει ένα βήμα παραπέρα και να υπολογίσει τον αντίκτυπο της τραχύτητας στο συντελεστή συνολικής αντίστασης διαμέσου του συντελεστή πρόσθετης αντίστασης τριβής (ΔC_f). Προέκυψε λοιπόν ο παρακάτω τύπος:

$$\Delta C_f = 0,044 \left[\left(\frac{AHR}{L} \right)^{\frac{1}{3}} - 10 * Rn^{\frac{1}{3}} \right] + 0,000125$$

Επιθυμώντας την παρουσίαση της μεταβολής της επιπρόσθετης αντίστασης από γάστρα με ομαλή μέση τραχύτητα (average hull roughness AHR) k_1 , σε γάστρα με υψηλότερη μέση τραχύτητα k_2 , μετατρέπεται ως ακολούθως:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta C_f}{C_T} = \frac{0,044 \left[\left(\frac{k_2}{L} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{k_1}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \right]}{C_T},$$

σύμφωνα με καταγραφές καταστάσεων γάστρας 70.000 πλοίων από το 1977.

Προκειμένου να συσχετισθεί η επίδραση της βιορύπανσης, δηλαδή της αύξησης της τραχύτητας στην πραγματική ισχύ του πλοίου, ανατρέχουμε στο γενικό τύπο της ισχύος ρυμούλκησης ενός πλοίου όπου:

$$EHP = R_T * V$$

ή αλλιώς
$$EHP = \frac{1}{2} \rho S C_T V^3$$

Η αύξηση της ισχύος ενός πλοίου μέσα από μελέτες του Tezdogan (2016) και Demirel (2017), μπορεί να εκφραστεί και ως ακολούθως:

$$\% \Delta EHP = \frac{C_{TR} - C_{TS}}{C_{TS}} * 100 = \frac{\Delta C_f}{C_{TS}} * 100$$

Μια διαφορετική, πιο απλουστευμένη ίσως, μορφή έκφρασης της αύξησης της απαιτούμενης ισχύος, η οποία συνηθίζεται να χρησιμοποιείται από τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο των υφαλοχρωμάτων, είναι ο παρακάτω:

$$1 + \frac{\Delta EHP}{EHP} = \left(1 + \frac{\Delta R}{R} \right) \left(1 + \frac{\Delta \eta}{\eta} \right)^{-1}$$

η : η απόδοση της έλικας σε ανοιχτή θάλασσα

Ενδεικτικά για κάποιους τύπους πλοίων παρατίθενται οι παρακάτω τιμές:

$$\left(1 + \frac{\Delta \eta}{\eta} \right)^{-1} = 0,17 \left(1 + \frac{\Delta R}{R} \right) + 0,83 \text{ για πλοία τύπου } Ro - Ro$$



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

$$\left(1 + \frac{\Delta\eta}{\eta}\right)^{-1} = 0,30 \left(1 + \frac{\Delta R}{R}\right) + 0,70 \text{ για πλοία τύπου Tanker}$$

Οι ανωτέρω τιμές αντιπροσωπεύουν και τα πλοία τύπου Bulk Cargo και Liner.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν όλα τα παραπάνω ως θεμέλιο, υπήρξαν αρκετές μελέτες οι οποίες είχαν ως σκοπό την καταγραφή πειραματικών αποτελεσμάτων αναφορικά με το ποσοστό αύξησης της αντίστασης τριβής για βασικούς τύπους βιορύπανσης. Ξεκινώντας από τον Townsin, σύμφωνα με τον οποίο η ανάπτυξη μιας γλίτσας στην επιφάνεια της γάστρας είχε ως αποτέλεσμα μια αύξηση της αντίστασης τριβής μεταξύ 5 με 25%. Εν συνεχεία υπήρξαν και άλλες μελέτες διαφόρων ερευνητών όπως οι Watanabe, Lewkowicz, Loeb, Bohlander κ.α με αντίστοιχα αποτελέσματα αύξησης αντίστασης τριβής ως συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Slime	5%	Conn <i>et al.</i> (1953)
	8–14%	Watanabe <i>et al.</i> (1969)
	18%	Lewkowicz and Das (1986)
	10–20%	Loeb <i>et al.</i> (1984)
	25%*	Lewthwaite <i>et al.</i> (1985)
Shell and Weed	8–18%*	Bohlander (1991)
	85%	Kempf (1937) 75% coverage shell 4.5 mm.

* Also some hard fouling and/or macroalgae.

Εικόνα 1.3 Επίπεδα αύξησης αντίστασης τριβής λόγω γλίτσας.

Πηγή: The effects of corrosion and fouling on the performance of ocean-going vessels: a naval architectural perspective

Ωθούμενος από το επάγγελμα του στρατιωτικού και της σχετικής εξοικειώσής μου με συναφή νατοϊκά εγχειρίδια, θα ήταν ίσως παράλειψη να μην παρατεθούν οι μελέτες του Scultz οι οποίες είχαν ως σκοπό:

- αρχικά στη μελέτη του 2007 τη συσχέτιση των κατά NSTM (Naval Ship's Technical Manual) βαθμίδων ρύπανσης γάστρας με το ύψος τραχύτητας k (μετρημένο σε μm)- όπως το έχουμε δει και παραπάνω – και της μέσης τραχύτητας γάστρας (στην εν λόγω μελέτη παρουσιάζεται ως R_{150} επίσης μετρημένο σε μm κατά αντιστοιχία με τον όρο AHR που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω).



Description of condition	NSTM rating*	k_s (μm)	R_{Bo} (μm)
Hydraulically smooth surface	0	0	0
Typical as applied AF coating	0	30	150
Deteriorated coating or light slime	10–20	100	300
Heavy slime	30	300	600
Small calcareous fouling or weed	40–60	1000	1000
Medium calcareous fouling	70–80	3000	3000
Heavy calcareous fouling	90–100	10,000	10,000

Εικόνα 1.4 Συσχέτιση βαθμίδων ρύπανσης με ύψος τραχύτητας και μέση τραχύτητα.

Πηγή: Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering, M. P. Schultz

- και αργότερα στη μελέτη του 2011 όπου για διάστημα τριών ετών λαμβάνονταν μετρήσεις επίδρασης στη συνολική αντίσταση ΔR_{Ts} (κατά αντιστοιχία με το προαναφερθέν ΔC_f) και στην απαιτούμενη ισχύ ΔSP (κατά αντιστοιχία με το προαναφερθέν ΔEHP), ανάλογα με τους διαφορετικούς βαθμούς βιορύπανσης και σε ταχύτητες 15 και 30 κόμβων, σε ένα αντιτορπιλικό τ. Arleigh Burke.

Description of condition	ΔR_{Ts} (kN)	ΔR_{Ts}	ΔSP (kW)	ΔSP
Hydraulically smooth surface	–	–	–	–
Typical as applied AF coating	5.2	1%	61	1%
Deteriorated coating or light slime	34	9%	405	9%
Heavy slime	64	17%	766	18%
Small calcareous fouling or weed	110	29%	1325	31%
Medium calcareous fouling	168	44%	2050	47%
Heavy calcareous fouling	261	69%	3274	76%

Εικόνα 1.5 Μετρήσεις επίδρασης βιορύπανσης σε συνολική αντίσταση και απαιτούμενη ισχύ σε ταχύτητα 15 κόμβων.

Πηγή: Economic impact of biofouling on a naval surface ship, M. P. Schultz



Κορινιάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

Description of condition	ΔR_{T_s} (kN)	ΔR_{T_s}	ΔSP (kW)	ΔSP
Hydraulically smooth surface	—	—	—	—
Typical as applied AF coating	66	3%	1533	3%
Deteriorated coating or light slime	182	7%	4300	7%
Heavy slime	303	12%	7202	12%
Small calcareous fouling or weed	485	19%	11699	20%
Medium calcareous fouling	715	28%	17519	30%
Heavy calcareous fouling	1088	43%	27315	47%

Εικόνα 1.6 Μετρήσεις επίδρασης βιορύπανσης σε συνολική αντίσταση και απαιτούμενη ισχύ σε ταχύτητα 30 κόμβων.

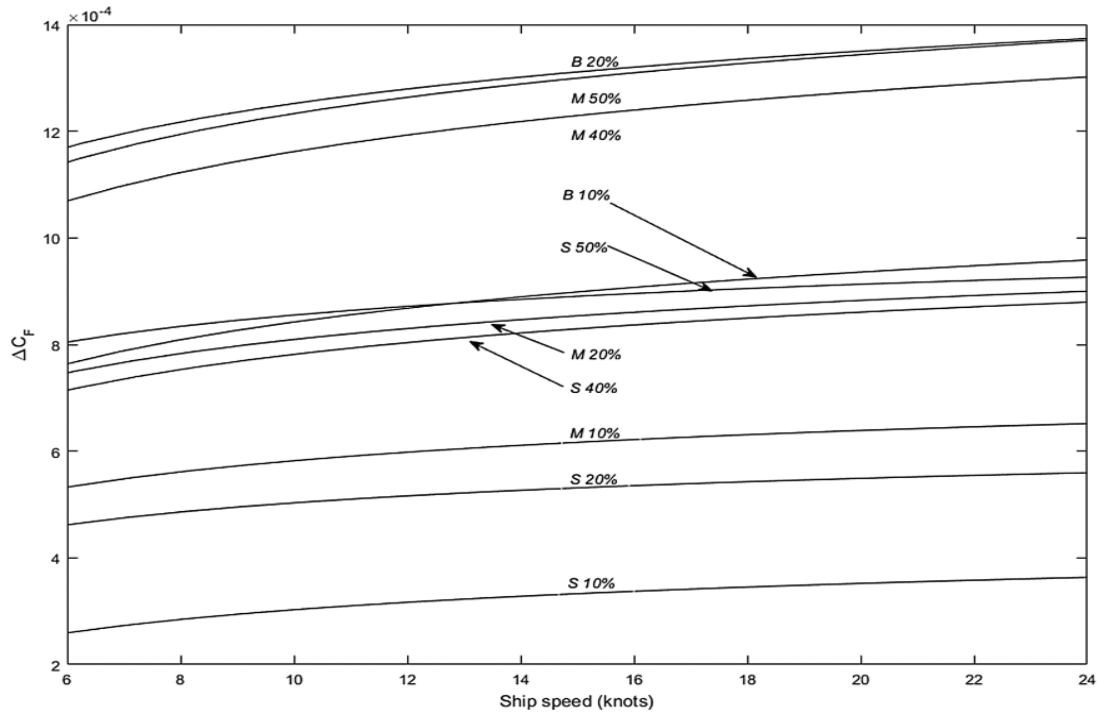
Πηγή: Economic impact of biofouling on a naval surface ship, M. P. Schultz

Πηγαίνοντας, ο Schultz, τη μελέτη του ένα βήμα παραπέρα υπολόγισε το επιπρόσθετο κόστος καυσίμων μετά την αύξηση της απαίτησης ισχύος για το αντίστοιχο επίπεδο ρύπανσης. Χαρακτηριστικά υπολόγισε ότι για χαμηλές ταχύτητες (όπου η επίδραση της ρύπανσης είναι μεγαλύτερη) και ρύπανση τύπου βαριάς λάσπης (Fr30), η κατανάλωση καυσίμου αυξήθηκε κατά 10,3%, ενώ για τη χειρότερη περίπτωση της σκληρής ρύπανσης (FR60), η κατανάλωση καυσίμου εκτοξεύτηκε κατά 20,4%.

Σε μια πρόσφατη μελέτη που αφορά την εμπορική ναυτιλία αυτή τη φορά (Yigit Kemal Demirel 2017), εκτελέστηκαν μετρήσεις σε δεξαμενή δοκιμών προσομοιάζοντας container ship, cargo ship, tanker, LNG carrier και κρουαζιερόπλοιο, με διάφορα επίπεδα ρύπανσης - μέσω 3D εκτυπωμένων ομοιωμάτων πεταλίδων διαφόρων μεγεθών (τύπου B,M και S)- και σε διάφορα ποσοστά κάλυψης επιφάνειας (10%, 20%, 40% και 50%). Ο τύπος B αντιστοιχούσε σε πεταλίδα διαμέτρου 10mm και ύψους 5mm, ο τύπος M σε πεταλίδα διαμέτρου 5mm και ύψους 2,5mm, ενώ ο τύπος S αντιστοιχούσε σε πεταλίδα διαμέτρου 2,5mm και ύψους 1,25mm. Η εν λόγω μελέτη καταλήγει σε συμπεράσματα που συνοψίζονται στους δύο παρακάτω πίνακες αναφορικά με την αύξηση του συντελεστή αντίστασης τριβής (Εικόνα 1.6) και την ποσοστιαία αύξηση ισχύος που απαιτήθηκε (Εικόνα 1.7) σε σχέση με την καθαρή γάστρα ενδεικτικά για ένα container ship 230m.

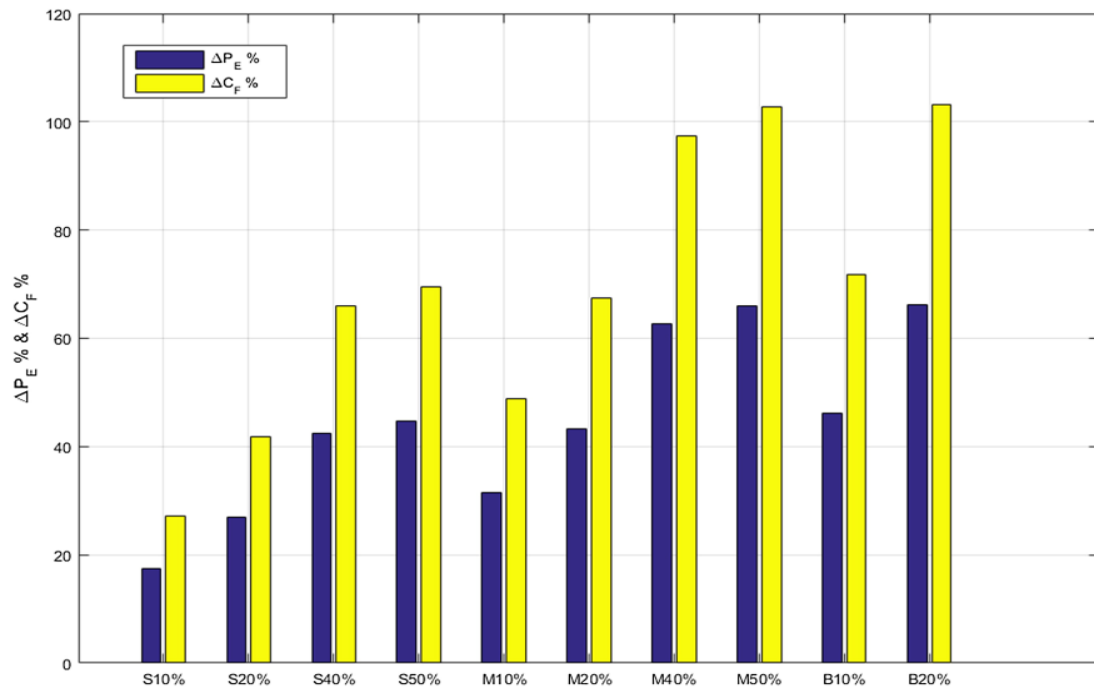


Κορινός Παναγιώτης
 Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
 και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.



Εικόνα 1.6 Συντελεστές αντίστασης τριβής των επιφανειών δοκιμής με τα ποσοστά να αντιστοιχούν στην κάλυψή τους.

Πηγή: Effect of barnacle fouling on ship resistance and powering, Yigit Kemal Demirel



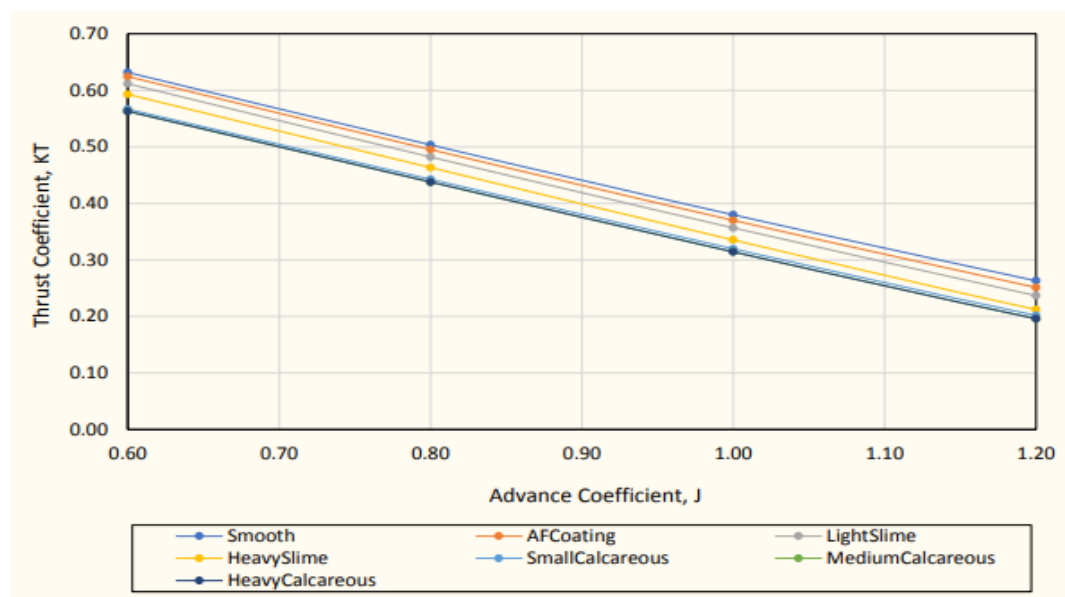
Εικόνα 1.7 Ποσοστιαία αύξηση ισχύος containership 230m

Πηγή: Effect of barnacle fouling on ship resistance and powering, Yigit Kemal Demirel



1.2.2 Συσχέτιση και επίδραση τραχύτητας έλικας

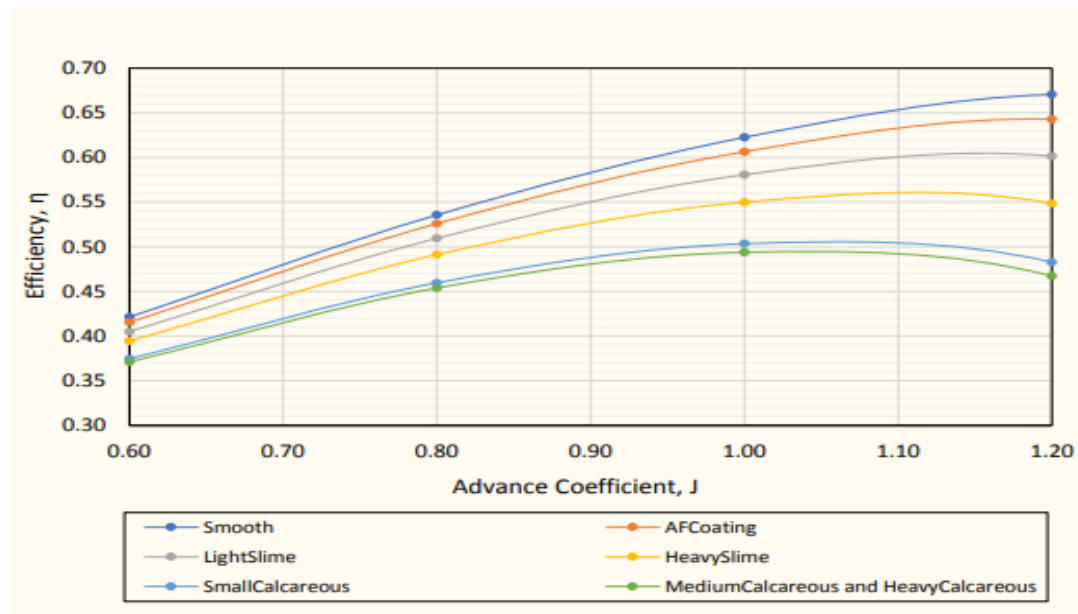
Όσον αφορά την έλικα του πλοίου παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα μια μελέτης των David Owen, Yigit Kemal Demirel, Elif Oguz, Tahsin Tezdogan και Atilla Incecik σχετικά με την επίδραση της βιορύπανσης στα χαρακτηριστικά της χρησιμοποιώντας την ρευστοδυναμική υπολογιστική μέθοδο (CFD). Στον ακόλουθο πίνακα (Εικόνα 1.8) παρουσιάζεται η μείωση της ώσης που παράγεται από έλικες διαφόρων συντελεστών προσχώρησης (Advance Coefficient J) καθώς αυξάνεται η ρύπανση αυτής.



Εικόνα 1.8 Τιμές ώσης παραγόμενης από έλικες διαφορετικών τιμών προσχώρησης.

Πηγή: 15. Investigating the effect of biofouling on propeller characteristics using CFD, David Owen, Yigit Kemal Demirel, Elif Oguz, Tahsin Tezdogan και Atilla Incecik

Επιπροσθέτως στον πίνακα της εικόνας 1.9, παρουσιάζεται η μείωση του βαθμού απόδοσης της έλικας (η) αναλόγως πάλι με το επίπεδο ρύπανσης. Στο εν λόγω διάγραμμα αξίζει να σημειωθεί ότι για χαμηλή ρύπανση, η μείωση της απόδοσης είναι μεγαλύτερη από ότι στην υψηλή ρύπανση όπως επίσης ότι σε υψηλότερους συντελεστές προσχώρησης η επίδραση της βιορύπανσης είναι υψηλότερη.



Εικόνα 1.9 Βαθμός απόδοσης έλικας αναλόγως επιπέδου βιορύπανσης.

Πηγή: 15. Investigating the effect of biofouling on propeller characteristics using CFD, David Owen, Yigit Kemal Demirel, Elif Oguz, Tahsin Tezdogan και Atilla Incecik

Καταλήγοντας παρατηρούμε ότι η επίδραση της ρύπανσης της έλικας στα αποδοτικά χαρακτηριστικά του πλοίου δεν είναι τόσο έντονη όσο εκείνη της ρύπανσης της γάστρας, πλην όμως έχει και εκείνη το μερίδιό της και αρκεί να λάβουμε υπόψη μας την ευκολία αντιμετώπισής της ακόμα και χωρίς δεξαμενισμό του πλοίου (σύντομος και σχετικά οικονομικός υποβρύχιος καθαρισμός).

1.3 Θαλάσσια βιορύπανση. Μία εκ των μορφών αύξησης τραχύτητας της γάστρας και της έλικας ενός πλοίου.

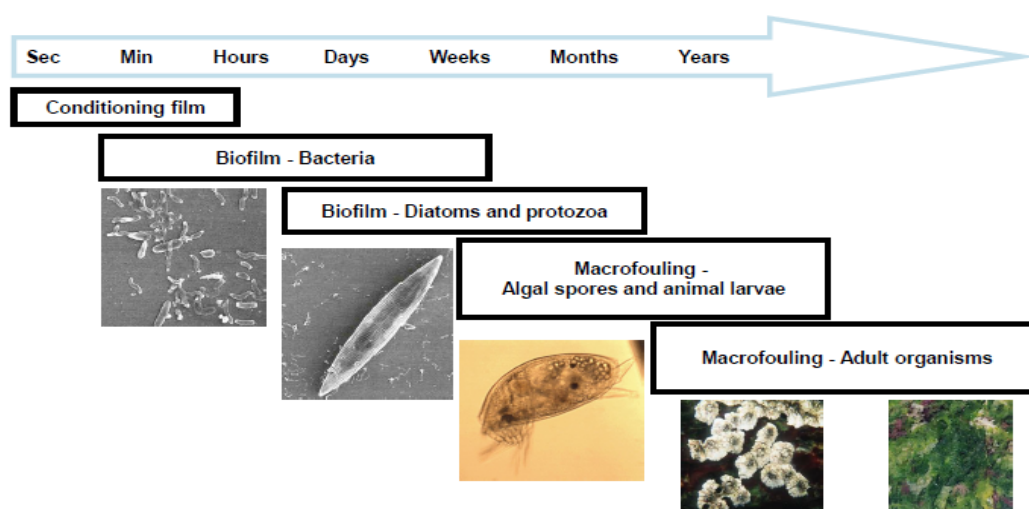
1.3.1 Γενικά περί της διαδικασίας ανάπτυξης της βιορύπανσης.

Στην προσπάθεια να δώσουμε έναν ορισμό για τη θαλάσσια βιορύπανση, θα μπορούσε να περιγραφεί ως η ανεπιθύμητη συσσώρευση μικροοργανισμών και, κατά κάποιο τρόπο, φυτών σε μια τεχνητή επιφάνεια που είναι βυθισμένη σε θαλασσινό νερό (Yebrá, Kiil, & Dam-Johansen, 2004). Πρόκειται για μια διαδικασία η οποία συμβαίνει σε ολόκληρο τον πλανήτη ανεξαρτήτως κλιματικών συνθηκών, οι οποίες να μεν την επηρεάζουν πλην όμως σε καμία περίπτωση δεν αποτρέπουν την εμφάνιση και εξέλιξή της. Στην εν λόγω διαδικασία υπολογίζεται ότι συμμετέχουν περί τα 5000 είδη μικροοργανισμών και φυτών τα οποία, ως έχει προαναφερθεί, δύναται ομαδοποιηθούν σε δύο κατηγορίες αναλόγως του μεγέθους τους. Στη μικρορύπανση που αφορά στην ύπαρξη μιας γλίτσας γνωστής ως "λάσπη" και στη μακρορύπανση που αφορά στην ύπαρξη ζωντανών οργανισμών και φυτών. Θέλοντας να αποδώσουμε μια δεύτερη ερμηνεία, οι σκληρή ρύπανση αποτελείται από



οργανισμούς με συμπαγείς σκελετούς, κοχύλια, μύδια κ.α, ενώ οι μαλακή ρύπανση αποτελείται από οργανισμούς χωρίς σκληρή δομή όπως άλγη (φύκια), σφουγγάρια κ.α. Κάποια από αυτά τα είδη κολυμπούν, άλλα μεταφέρονται διαμέσου των ρευμάτων και τα περισσότερα θέλοντας να αυξήσουν το κύκλο της ζωής τους, βρίσκουν επιφάνειες να προσκολληθούν. Μία από αυτές τις επιφάνειες είναι και η γάστρα ενός πλοίου. Η διαδικασία της βιορύπανσης εξελίσσεται εν συντομία σε τέσσερα στάδια: το σχηματισμό ενός πρωτογενούς φιλμ, το σχηματισμό του βιοφιλμ, τον αποικισμό διατόμων και πρωτόζωων και τέλος έχουμε την εγκατάσταση ασπόνδυλων προνύμφων, σποριών και φυκών. Αναλυτικότερα το πρώτο στάδιο είναι μια διαδικασία που ξεκινά με μια γρήγορη προσκόλληση οργανικών μορίων που υφίστανται ήδη στο θαλασσινό νερό (πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, νουκλεϊκά οξέα κ.α). Το φιλμ αυτό σχηματίζεται μέσα στα πρώτα λεπτά επαφής της επιφάνειας με το θαλασσινό νερό. Ο σχηματισμός του βιοφιλμ εν συνεχεία αποτελείται από διάφορα επιμέρους στάδια. Αρχικά κάποια βακτήρια μεταφέρονται στην επιφάνεια είτε λόγω βαρύτητας είτε λόγω ρευμάτων και με την οποία αλληλεπιδρούν ασθενώς σε επίπεδο το οποίο θα μπορούσαν εύκολα να απομακρυνθούν μέσω απλού πλυσίματος γι' αυτό και το εν λόγω στάδιο χαρακτηρίζεται ως αναστρέψιμο. Βέβαια το παραπάνω ακολουθείται με την παρέλευση λίγων λεπτών από τη μη αναστρέψιμη πλέον προσκόλληση. Η τραχύτητα των ακανόνιστων μικροβιακών αποικιών, ενισχύει την παγίδευση όλο και περισσότερων σωματιδίων και οργανισμών με αποτέλεσμα τη μετέπειτα ανάπτυξη μεγαλύτερων ασπόνδυλων μικροοργανισμών και φυκών. Έτσι λοιπόν με την πάροδο μερικών ημερών ή και εβδομάδων, έχει αρχίσει η εδραίωση των μονοκύτταρων πλέον οργανισμών διαδικασία η οποία αποτελεί το προτελευταίο στάδιο. Τέλος, το τέταρτο στάδιο την εδραίωσης μεγαλύτερων μικροοργανισμών και μακροφυκών, έρχεται μετά παρέλευσης μερικών εβδομάδων. (Amara, Miled, Slama, & Ladhari, 2017).

Biofouling - The Marine Fouling Process



Εικόνα 1.10 Διαδικασία ανάπτυξης βιορύπανσης.

Πηγή: A Practical Way to Evaluate the In-Service Performance of Antifouling Coatings-JOTUN



Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η κατηγοριοποίηση του επιπέδου ρύπανσης μέσω ενός κωδικού που αντιστοιχεί ουσιαστικά σε βαθμό ρύπανσης (fouling rate). Ο συγκεκριμένος πίνακας περιλαμβάνεται στο Τεχνικό Εγχειρίδιο Πλοίων του Αμερικάνικου Πολεμικού Ναυτικού (NSTM):

Τύπος Ρύπανσης	Βαθμός Ρύπανσης (FR)	Περιγραφή
Μαλακή	0	Καθαρή επιφάνεια.
Μαλακή	10	Ελαφρά λάσπη ενώ είναι ακόμα ορατή η μεταλλική επιφάνεια.
Μαλακή	20	Πιο προχωρημένη λάσπη με τη μεταλλική επιφάνεια να φαίνεται οριακά.
Μαλακή	30	Ίνες γρασιδιού μήκους και ύψους μικρότερου των 76mm και 6,4mm αντίστοιχα.
Σκληρή	40	Ασβεστώδης ρύπανση ύψους μικρότερου από 6,4mm.
Σκληρή	50	Πεταλίδες ύψους μικρότερου από 6,4mm.
Σκληρή	60	Συνδυασμός των FR 40 και FR 50 σε ύψος μικρότερο από 6,4mm.
Σκληρή	70	Συνδυασμός των FR 40 και FR 50 σε ύψος μεγαλύτερο από 6,4mm.
Σκληρή	80	Ποσότητα ρύπανσης κατηγορίας FR 40 και FR 50 προσκολλημένη σε επίπεδα το ένα πάνω στο άλλο και σε ύψος μικρότερο από 6,4mm.
Σκληρή	90	Ποσότητα ρύπανσης κατηγορίας FR 40 και FR 50 προσκολλημένη σε επίπεδα το ένα πάνω στο άλλο και σε ύψος μεγαλύτερο από 6,4mm με ταυτόχρονη παρουσία μυδιών, στρειδιών και γρασιδιού .
Σύνθετη	100	Ύπαρξη του συνόλου των μορφών ρύπανσης

1.3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη της βιορύπανσης.

Ο τύπος των αναπτυσσόμενων μικροοργανισμών , ο τρόπος με τον οποίο προσκολλώνται στη γάστρα του πλοίου και η έκταση του φαινομένου της βιορύπανσης, επηρεάζονται ιδιαίτερα από:

- τις ετήσιες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και τις εποχιακές αλλαγές θερμοκρασιών. Τα στάδια ανάπτυξης πεταλίδων, ο ρυθμός διάβρωσης της βυθισμένης επιφάνειας του πλοίου καθώς και η δράση των αντιρρυπαντικών χρωμάτων επιταχύνονται σε υψηλές θερμοκρασίες λόγω των γρήγορων χημικών και ενζυμικών αντιδράσεων. Αν και οι ταχύτητες των ανωτέρω αντιδράσεων μειώνονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, η σκληρή βιορύπανση έχει ήδη εγκατασταθεί με αποτέλεσμα να είναι πλέον δύσκολη έως και αδύνατη η αποφυγή της με χρήση συμβατικών υφαλοχρωμάτων.
- Ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης και οι συνθήκες επιβίωσης διαφόρων οργανισμών, επηρεάζονται αμφότεροι από το ηλιακό φως. Τα διάτομα (φυτοπλαγκτόν), τα οποία αποτελούν το βασικότερο θρεπτικό συστατικό των



θαλάσσιων μικροοργανισμών, είναι αδύνατο να αναπτυχθούν στο σκοτάδι. Έτσι λοιπόν αυτοί οι οργανισμοί είναι πολυπληθέστεροι σε βάθη όπου εισχωρεί η ηλιακή ακτινοβολία (έως τα 40m βάθος περίπου) και κατ' επέκταση παρουσιάζουν και υψηλότερες θερμοκρασίες.

- Οι κύκλοι αναπαραγωγής αυτών των μικροοργανισμών επηρεάζονται επίσης από την θολερότητα και την αλατότητα του θαλασσινού νερού η οποία διαφέρει σημαντικά μεταξύ του ωκεανού (30-35 PSU), των θαλασσών με υφάλμυρο νερό (<30 PSU) και των γλυκών νερών (<0,5 PSU).
- το είδος και ο τρόπος που έχουν εφαρμοσθεί τα αντιρρυπαντικά υφαλοχρώματα. Επί του παρόντος δεν υφίστανται τεχνολογίες αντιρρυπαντικών υφαλοχρωμάτων που να εμποδίζουν την ανάπτυξη του βιοφίλμ (αρχικού σταδίου βιορύπανσης) πλην όμως μπορούν να καθυστερήσουν αρκετά την ανάπτυξή τους σε σημείο που να έχουν επηρεαστεί αρκετά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του πλοίου.
- το επιχειρησιακό προφίλ του πλοίου. Η συνήθης ταχύτητα του πλοίου και οι θάλασσες στις οποίες συνήθως επιχειρεί, επηρεάζουν ιδιαίτερα το ρυθμό ανάπτυξης της βιορύπανσης. Γενικά, τα πλοία χαμηλών ταχυτήτων (5-10 knots) εμφανίζουν μεγαλύτερο αριθμό και ποικιλία βιορύπανσης, καθόσον η γάστρα τους υπόκειται σε σημαντικά χαμηλότερες υδροδυναμικές πιέσεις απ' ότι η γάστρα των ταχύτερα κινούμενων πλοίων.

1.4 Μέθοδοι αντιρρύπανσης.

1.4.1 Γενικά

Οι διαχειριστές των σκαφών εφαρμόζουν τεχνολογίες και πρακτικές διαχείρισης για την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης όλων των επιφανειών που είναι βυθισμένες στο νερό, σε επίπεδο που το πλοίο να είναι λειτουργικά αποτελεσματικό, να παρουσιάζει τη βέλτιστη δυνατή απόδοση με ταυτόχρονο μειωμένο κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Προς το παρόν δεν υφίσταται τεχνολογία η οποία να εμποδίζει την δημιουργία βιοφίλμ στη γάστρα ακόμα και σε πλοία των οποίων οι επιφάνειες είναι καλυμμένες με βιοκτόνα υφαλοχρώματα και για τα οποία εφαρμόζονται οι βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης, προς αποφυγή της. Έτσι λοιπόν, οι μέθοδοι αντιρρύπανσης, όπως οι εφαρμογή αντιρρυπαντικών υφαλοχρωμάτων, δεν είναι τόσο η αποφυγή της ρύπανσης, αλλά στην κατά το δυνατό καθυστέρηση εμφάνισης και εξέλιξής της. Οι σύγχρονες βαφές έχουν καταστεί αρκετά αποτελεσματικές στο συγκεκριμένο τομέα επιτυγχάνοντας έτσι ελάχιστες ή ακόμα και μηδενικές παρεμβάσεις συντήρησης των πλοίων μεταξύ των προβλεπόμενων δεξαμενισμών. Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα δεν είναι τα αναμενόμενα, θα πρέπει να αναλαμβάνονται εγκαίρως οι απαιτούμενες παρεμβάσεις (καθαρισμός και επανεφαρμογή χρωμάτων) ώστε να αποτραπεί η περαιτέρω αύξηση της ρύπανσης και να ανακτηθεί η μέγιστη αποδοτικότητα του σκάφους.



1.4.2 Αντιρρυπαντικά χρώματα

Όπως προαναφέρθηκε τα αντιρρυπαντικά υφαλοχρώματα έχουν σχεδιαστεί για να αποτρέπουν την προσκόλληση και αποίκιση μικροοργανισμών στην επιφάνεια την οποία εφαρμόζονται. Η γενικότερη ανησυχία, η οποία οδήγησε στην έρευνα και ανάπτυξη των εν λόγω τεχνολογιών, αφορά στην αύξηση του κόστους λόγω της επιβάρυνσης του προωστήριου σκεύους εξαιτίας της βιορύπανσης. Δύο είναι οι βασικές κατηγορίες επιστρώσεων που εφαρμόζονται στη ναυτιλία: οι βιοκτόνες και οι μη βιοκτόνες. Ο στόχος και των δύο είναι κοινός πλην όμως τα χαρακτηριστικά και οι ταχύτητες κατά τις οποίες παρουσιάζουν τη βέλτιστη απόδοση, διαφέρουν και παρατίθενται παρακάτω.

1.4.2.1 Βιοκτόνα αντιρρυπαντικά χρώματα

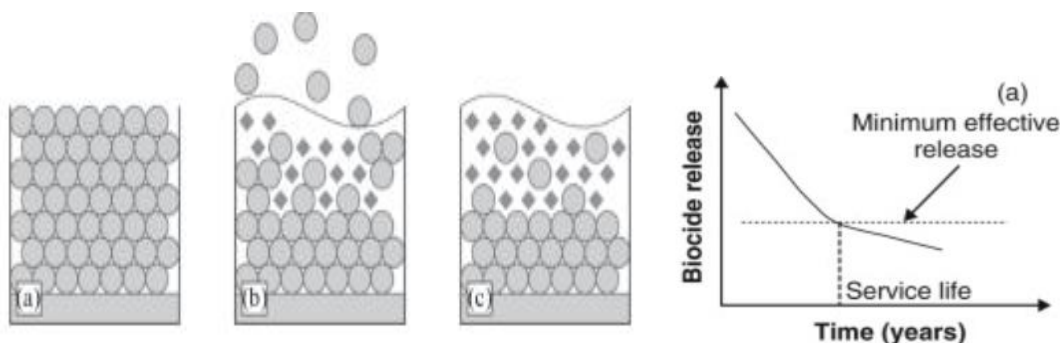
Οι βιοκτόνες υφαλοχρωματικές επικαλύψεις, απελευθερώνουν, με ένα συγκεκριμένο ρυθμό, βιοκτόνα εντός του οριακού στρώματος της βυθισμένης επιφάνειας και τα οποία στη συνέχεια διασκορπίζονται μέσα στη θάλασσα. Τα πρωτογενή βιοκτόνα έχουν ως κύριο συστατικό τους τον ανόργανο χαλκό ενώ τα δευτερογενή αποτελούνται από άλλα χημικά συστατικά. Ο χαλκός είναι μια ουσία η οποία υφίσταται στο θαλασσινό νερό σε χαμηλές συγκεντρώσεις αποτελώντας ένα από τα σημαντικότερα ιχνοστοιχεία των θαλάσσιων οργανισμών. Σε υψηλές όμως συγκεντρώσεις μετατρέπεται σε ένα βαρύ τοξικό μέταλλο το οποίο επιδρά αρνητικά στην αναπαραγωγική διαδικασία των θαλάσσιων οργανισμών, διαταράσσει την ιστολογία των ψαριών και την κυτταρική διαίρεση των διατόμων. (Hall Jr. 1998) . Η διάρκεια ζωής της εφαρμοσθείσας επικάλυψης, ναι μεν εξαρτάται από το ρυθμό απελευθέρωσης και την αποτελεσματικότητα του βιοκτόνου αλλά και από το ποσοστό ύπαρξής του στο χρώμα, όπως επίσης τον τρόπο και το πάχος εφαρμογής. Βέβαια, υπάρχουν μικροοργανισμοί (π.χ κάποια λεπτά φύκια), οι οποίοι έχουν αποδειχθεί ανθεκτικοί στα συνηθέστερα βιοκτόνα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη χρωμάτων με περιεκτικότητα ενισχυτικών βιοκτόνων, τα λεγόμενα συν βιοκτόνα, εξαιρετικά τοξικότερα, σε ποσοστό από 0,1-10% του χρώματος (Martins 2018). Ένα επιπλέον ανησυχητικό χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου είδους βαφών, είναι η χρήση μικροπλαστικών ως συνδετικών χαρακτηριστικών τα οποία έχουν εντοπισθεί σε ιδιαίτερα μεγάλα ποσοστά στα νερά της Νότιας Κορέας (Song 2014) και χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερος επιβλαβή για το περιβάλλον. Τα βιοκτόνα αντιρρυπαντικά χρώματα διατίθενται σε διάφορους τύπους όπως:

- αδιάλυτης μήτρας (insoluble matrix paint).
- διαλυτής μήτρας (soluble matrix paint).
- διαλυτής μήτρας με ελεγχόμενη απελευθέρωση πολυμερών (Controlled Depletion Polymers).
- συμπολυμερή αυτολειαινόμενα (Self Polishing Copolymers) - άνευ τριβουτιλοκασσίτερου (TBT) .
- CDP /SPC υβριδικά.
- μεταλλικά συστήματα βαφής



Υφαλογρώματα αδιάλυτης μήτρας (insoluble matrix paint).

Οι επιστρώσεις των συγκεκριμένων χρωμάτων χαρακτηρίζονται από μηχανικά ανθεκτικό φιλμ το οποίο περιέχει ικανή ποσότητα οξειδίου του χαλκού ως βιοκτόνο. Όταν το φιλμ της βαφής έρθει σε επαφή με το θαλασσινό νερό, τα σωματίδια του βιοκτόνου διαλύονται με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πόροι οι οποίοι επιτρέπουν περαιτέρω αριθμό σωματιδίων να έρθουν σε επαφή με το νερό όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Με την πάροδο του χρόνου, η παραπάνω διαδικασία εισχωρεί βαθύτερα στο πάχος της βαφής με αποτέλεσμα η ροή του βιοκτόνου να μειώνεται με γρήγορο ρυθμό όσο αυξάνεται η διάχυση του βιοκτόνου στην επιφάνεια της βαφής. Τα συγκεκριμένα χρώματα λοιπόν χαρακτηρίζονται από ένα μή ομαλό ρυθμό απόδοσης καθόσον με το πέρασμα του χρόνου οι ιδιότητές τους φθίνουν εκθετικά συγκριτικά με το αρχικό στάδιο εφαρμογής. Στη βιβλιογραφία προτείνεται η εφαρμογή τους σε ταχύπλοα και ιστιοπλοϊκά και ο μέσος χρόνος αποδοτικότητάς τους εκτιμάται μεταξύ 12 έως 24 μήνες.



Εικόνα 1.11 Τρόπος λειτουργίας χρωμάτων αδιάλυτης μήτρας και χρόνος αποδοτικότητας.

Πηγές: α. Modern Approaches to the Development of Marine Antifouling Coatings, A. V. Anisimov, M. A. Mikhailova και E. A. Uvarova

[Modern Approaches to the Development of Marine Antifouling Coatings | Inorganic Materials: Applied Research \(springer.com\)](#) και

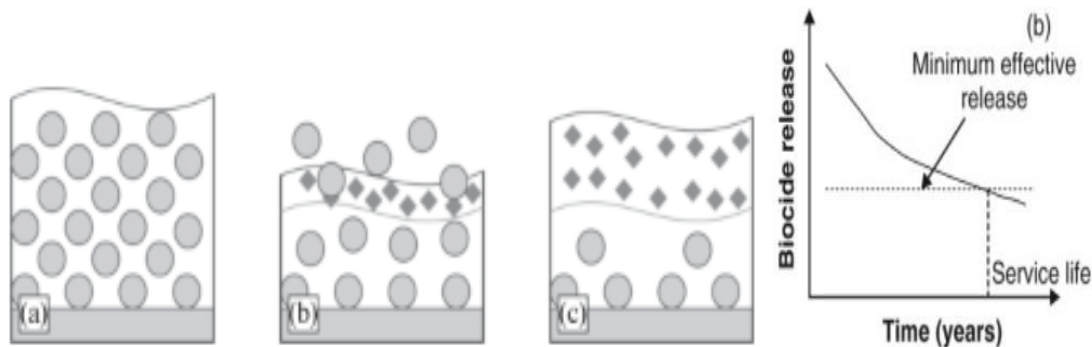
β. Tin-free self-polishing marine antifouling coatings, C. Bressy, A. Margailan, F. Faÿ, I. Linossier, K. Réhel (2009)

Υφαλογρώματα διαλυτής μήτρας (soluble matrix paint).

Τα συγκεκριμένα χρώματα σχεδιάστηκαν με σκοπό την σταθερότερου ρυθμού απελευθέρωση βιοκτόνου έως την πλήρη διάλυση της βαφής. Περιέχουν ένα συνδετικό (συνήθως μια ρητίνη ή κάποιο παράγωγο της) ελαφρώς υδατοδιαλυτό. Η επαφή με το νερό διαλύει αργά την επιφανειακή επίστρωση και ακολούθως απελευθερώνεται το βιοκτόνο. Η ρητίνη που περιέχεται, συντείνει στη στίλβωση της επιφάνειας που έχει ως σκοπό να παραμένει σταθερή η απόσταση του απελευθερωμένου βιοκτόνου και της επιφάνειας της βαφής όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Βέβαια καταγράφονται και περιπτώσεις όπου υπάρχει είτε γρήγορη / ανεξέλεγκτη απελευθέρωση βιοκτόνου είτε ακόμα και "εγκλωβισμός" αυτού λόγω "ρύπανσης" της μήτρας από αδιάλυτο ανθρακικό χαλκό που μπορεί να δημιουργηθεί. Γενικότερα χαρακτηρίζονται από μηχανικά μη ανθεκτικό φιλμ το οποίο αφαιρείται με τη ροή του νερού. Η συνδετική ρητίνη που περιέχουν είναι ιδιαίτερας ευαίσθητη στην ατμοσφαιρική οξείδωση που έχει ως συνέπεια την απαίτηση σύντομου αποδεξαμενισμού του σκάφους. Επίσης η κινητικότητα των σωματιδίων



του βιοκτόνου είναι αδύναμη σε πλοία χαμηλών ταχυτήτων καθιστώντας τα καταλληλότερα για ταχύτερα σκάφη στα οποία όμως υπάρχει όπως προαναφέρθηκε ο κίνδυνος ταχύτερης διάβρωσης της μήτρας. Στη βιβλιογραφία προτείνεται η αποφυγή εφαρμογής τους σε πλοία τα οποία δεξαμενίζονται για μεγάλο χρονικό διάστημα καθώς για πλοία πολύ υψηλών ταχυτήτων. Ο μέσος χρόνος αποδοτικότητάς τους εκτιμάται μεταξύ 18 έως 36 μήνες.



Εικόνα 1.12 Τρόπος λειτουργίας χρωμάτων διαλυτής μήτρας και χρόνος αποδοτικότητας.

Πηγές: α. Modern Approaches to the Development of Marine Antifouling Coatings, A. V. Anisimov, M. A. Mikhailova και E. A. Uvarova

[Modern Approaches to the Development of Marine Antifouling Coatings | Inorganic Materials: Applied Research \(springer.com\)](#) και

β. Tin-free self-polishing marine antifouling coatings, C. Bressy, A. Margailan, F. Faÿ, I. Linossier, K. Réhel (2009)

Υφαλοχρώματα διαλυτής μήτρας με ελεγχόμενη απελευθέρωση πολυμερών (Controlled Depletion Polymers).

Τα συγκεκριμένα χρώματα θεωρούνται η εξέλιξη των χρωμάτων διαλυτής μήτρας καθώς οι μηχανισμοί λειτουργίας τους θεωρούνται παρόμοιοι. Ο ρυθμός διάλυσης της μήτρας είναι πιο ελεγχόμενος χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό πολυμερών συστατικών και υδατοδιαλυτών συνδετικών. Ο παραπάνω συνδυασμός επιτρέπει στα βιοκτόνα και στο υδατοδιαλυτό συνδετικό να απομακρυνθούν από την επιφάνεια ελεγχόμενα. Τα μειονεκτήματα τους συγκεντρώνονται στο ότι παρουσιάζουν χαμηλή δυνατότητα αυτολείανσης, αύξηση απελευθέρωσης βιοκτόνου με την πάροδο του χρόνου και γενικότερα μικρή διάρκεια ζωής της βαφής η οποία όμως είναι δυνατό να παραταθεί με τακτό υποβρύχιο καθαρισμό που έχει ως στόχο την απομάκρυνση του σχηματισμένου στρώματος απελευθέρωσης βιοκτόνου και ως εκ τούτου την "αναζωογόνηση" του χρώματος. Στη βιβλιογραφία προτείνεται η εφαρμογή τους σε όλους του τύπους πλοίων και μέσο χρόνο αποδοτικότητας που εκτιμάται μεταξύ 18 έως 36 μήνες.

Υφαλοχρώματα συμπολυμερή αυτολειαινόμενα (Self Polishing Copolymers).

Τα εν λόγω χρώματα αποτελούν μια σημαντική βελτίωση των παραπάνω συμβατικών χρωμάτων στοχεύοντας στην επίλυση του προβλήματος της μειούμενης απελευθέρωσης βιοκτόνου με την πάροδο του χρόνου. Τα χρώματα SPC αποτελούνται από συμπολυμερή βιοκτόνα τα οποία συνδέονται πάνω στα πολυμερή



του συνδετικού χρώματος. Τα συμπολυμερή τα οποία απελευθερώνονται, διασπώνται μέσω της μεθόδου της ηλεκτρόλυσης κατά τη διάρκεια της επαφής και κίνησής του στο θαλασσινό νερό και απελευθερώνουν με τη σειρά τους τα βιοκτόνα. Η παραπάνω διαδικασία λαμβάνει χώρα ελάχιστα νανόμετρα από την επιφάνεια του χρώματος το οποίο έχει ως συνέπεια τη διατήρηση των διάχυτων στρωμάτων τα οποία φέρουν αντιρρυπαντική ουσία, σε λεπτά επίπεδα και ως εκ τούτου το σταθερό ρυθμό απελευθέρωσης βιοκτόνου καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του χρώματος. Κάθε στρώμα του συμπολυμερούς το οποίο διαλύεται μέσω της αργής και ελεγχόμενης διαδικασίας της υδρόλυσης, επιτρέπει στο από κάτω στρώμα να αντιδράσει με τον ίδιο μηχανισμό, με αποτέλεσμα τη συνεχή επιφανειακή ανανέωση η οποία χαρακτηρίζεται ως αυτολείανση. Η ειδοποιός διαφορά λοιπόν των SPC από τα CDP χρώματα, είναι ότι στα μεν πρώτα ο μηχανισμός εξηγείται μέσα από την υδρόλυση (τη διάσπαση δηλαδή των μορίων μέσω της προσθήκης νερού) ενώ τα δεύτερα βασίζονται στη φυσική διαδικασία της ενυδάτωσης και εν συνεχεία διάλυσης του συνδετικού συστατικού. Τα SPC χρώματα ποικίλουν αναλόγως του ρυθμού αυτολείανσής τους με σκοπό την εξυπηρέτηση πλοίων με διαφορετικά προφίλ ταχυτήτων και επιχειρήσεων. Ο ρυθμός απελευθέρωσης βιοκτόνου και κατ' επέκταση αυτολείανσης, επιταχύνεται με την αύξηση της ταχύτητας του σκάφους και της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού (Yebrá et al. 2004). Η συγκεκριμένη ομάδα υφαλοχρωμάτων έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην ναυτιλιακή βιομηχανία, κυρίως λόγω στη σταθερότητας του ρυθμού απελευθέρωσης βιοκτόνου. Κατά το παρελθόν, το ρόλο του βιοκτόνου σε αυτά τα χρώματα κατείχε ο τριβουτιλοκασσίτερος (TBT), μια ουσία η οποία έχει ενοχοποιηθεί αναφορικά με την τοξικότητά της και για την οποία εκδόθηκε απαγόρευση χρήσης της το Σεπτέμβριο του 2008 μέσω αντίστοιχης διεθνούς σύμβασης του IMO. Έτσι λοιπόν οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο στράφηκαν προς τη χρήση βιοκτόνων λιγότερο τοξικών. Στη βιβλιογραφία προτείνεται η εφαρμογή τους σε τύπους πλοίων χαμηλών ταχυτήτων με συχνές περιόδους ακινησίας. Παρουσιάζουν μέσο χρόνο αποδοτικότητας που εκτιμάται περί τους 60 μήνες ενώ έχουν καταγραφεί περιπτώσεις διάρκειας που ανέρχονται ακόμη και στους 90 μήνες (Lewis 2020) .

CDP/SPC υβριδικά υφαλοχρώματα.

Τα παραπάνω υφαλοχρώματα συνδυάζουν τις ιδιότητες τόσο των SPC όσο και των CDP συστημάτων όπου η τεχνολογία της ρητίνης των CDP, ενισχύεται από την τεχνολογία αυτολείανσης των SPC. Στη βιβλιογραφία προτείνεται η εφαρμογή τους στο σύνολο των τύπων που αναγράφονται στα παραπάνω αντίστοιχα πεδία. Παρουσιάζουν μέσο χρόνο αποδοτικότητας που εκτιμάται μεταξύ 36 και 60 μηνών.

Μεταλλικά συστήματα υφαλοχρωματισμού.

Θα γίνει μια απλή και εξαιρετικά σύντομη αναφορά στο συγκεκριμένο σύστημα βαφής απλά και μόνο γιατί αυτά οδήγησαν στην ανάπτυξη των χρωμάτων με βάση τα ένζυμα. Επανερχόμενοι στα μεταλλικά συστήματα, ο χαλκός ή κράμα νικελίου-χαλκού αναμειγνύεται στο χρώμα με σκοπό τη δημιουργία μιας "μεταλλικής" επικάλυψης γεγονός το οποίο καθιστά το συγκεκριμένο σύστημα βαφής ανεφάρμοστο για τα πλοία γιατί είναι σχεδόν αδύνατη η ανανέωσή της. Η συγκεκριμένη δυσκολία οδήγησε στην ανάπτυξη χρωμάτων με βάση τα ένζυμα τα οποία είναι οικονομικότερα και φιλικότερα προς το περιβάλλον λόγω της σύντομης βιοδιάσπασής



τους. Ο τρόπος δράσης αυτών των χρωμάτων χαρακτηρίζεται μέσω δύο μεθόδων: την έμμεση και την άμεση. Η έμμεση αντιρρυπαντική λειτουργία βασίζεται στη, μέσω των ενζύμων, παραγωγή βιοκτόνων μέσω των υποστρωμάτων της βαφής, ενώ η άμεση αντιρρυπαντική μέθοδος έχει να κάνει με το βιοκτόνο ρόλο του ίδιου του ενζύμου ή ενδεχομένως την ιδιότητά του να εμποδίζει την προσκόλληση των μικροοργανισμών στην επιφάνεια της γάστρας. Αυτό βέβαια σημαίνει ότι ο άμεσα βιοκτόνος ρόλος του ενζύμου θα πρέπει να ελέγχεται ως προς την τοξικότητά του, γι' αυτό και αυτού του τύπου τα χρώματα είναι ακόμα σε ερευνητικό στάδιο με ελάχιστες εφαρμογές.

1.4.2.2 Μη βιοκτόνα αντιρρυπαντικά υφαλοχρώματα.

Όπως προαναφέρθηκε, το Σεπτέμβριο του 2008, ο IMO μέσω της σύμβασης International Convention on Anti-fouling Systems, απαγορεύει τη χρήση του τριβουτυλοκασίτερου (TBT) ως συστατικό των υφαλοχρωμάτων και γενικεύοντας κάνει λόγω για αποφυγή χρήσης ουσιών οι οποίες ενδεχομένως επιβαρύνουν το περιβάλλον. Στη ίδια μήκη κύματος κινήθηκε και η αντίστοιχη Ευρωπαϊκή νομοθεσία η οποία ουσιαστικά προσάρμοσε την ανωτέρω σύμβαση στα Ευρωπαϊκά πρότυπα. Έτσι λοιπόν γεννήθηκε η ανάγκη για έρευνα και εν συνεχεία ανάπτυξη συστημάτων βαφής χωρίς βιοκτόνα χαρακτηριστικά αλλά μέσω της μεθόδου απελευθέρωσης ρύπων (foul release coatings FRC). Αυτού του τύπου οι επιστρώσεις δεν επικεντρώνονται όπως είπαμε στη βιοκτόνο δράση αλλά στο κομμάτι της δημιουργίας μιας επιφάνειας όπου θα είναι δύσκολη η προσκόλληση των ρυπογόνων μικροοργανισμών αλλά ταυτόχρονα εύκολη η απομάκρυνσή όσων κατάφεραν να προσκολληθούν. Στη βιβλιογραφία συναντάται ο όρος επιφανειακή ενέργεια (surface energy) η οποία χαρακτηρίζεται ως ένα μέγεθος "μέτρησης" της δυνατότητας αποικισμού ρυπογόνων οργανισμών στην επιφάνεια. Έτσι λοιπόν, μέσω της εφαρμογής των συγκεκριμένων υφαλοχρωμάτων, επιτυγχάνεται χαμηλή επιφανειακή ενέργεια, μείωση αντοχής πρόσφυσης της βιορύπανσης και διευκόλυνση της ροής του νερού. Ελαστομερής σιλικόνης και φθωροπολυμερή είναι τα πιο διαδεδομένα συστατικά των FRCs, με κυρίαρχο αυτό της σιλικόνης κι αυτό γιατί τα συγκεκριμένα μπορούν να εφαρμοσθούν σε παχύτερα στρώματα αυξάνοντας έτσι τη δράση τους. Περαιτέρω αύξηση της αποδοτικότητάς τους, μπορεί να επιτευχθεί μέσω είτε της αύξησης της ποσότητας σιλικόνης είτε της προσθήκης φθωριούχων ελαίων (Lewis 2009). Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τους συνοψίζονται στο ότι πρόκειται για μια τεχνολογία χρωμάτων που εμποδίζει κατά ένα ποσοστό την πρόσφυση της βιορύπανσης πλην όμως επιτυγχάνει την απομάκρυνσή της σε ταχύτητες άνω των 15 κόμβων όπως επίσης διατηρεί ανέπαφο το βιοφίλμ της επίστρωσης έως και την ταχύτητα των 30 κόμβων (Candries et al. 2001). Ενώ αρχικά ο οποιοσδήποτε θα μπορούσε να ισχυρισθεί ότι πρόκειται για χρώματα με δυνατότητα εφαρμογής σε πλοία υψηλών ταχυτήτων, έρχονται οι εταιρείες παραγωγής να "πιστοποιήσουν" ότι η ικανότητα απόρριψης της ρύπανσης μπορεί να επιτευχθεί από την ταχύτητα των 10 κόμβων και άνω, μέσω χρήσης σύγχρονων FRCs (AkzoNobel 2024), καθιστώντας τα πλέον μια διαθέσιμη επιλογή για πλοία μεγάλου εύρους ταχυτήτων (containerships, Ro-Ro, πλοία μεταφοράς αερίου, tankers, bulk carriers κ.α). Όλα τα παραπάνω θετικά



στοιχεία εξισορροπούνται από έναν αριθμό μειονεκτημάτων. Παρουσιάζουν μειωμένες μηχανικές ιδιότητες (λόγω ύπαρξης της σιλικόνης), καθιστώντας τα επιρρεπή σε οποιαδήποτε μορφή "μηχανικού τραυματισμού τους" (π.χ γδάρισμα από καδένα άγκυρας) και κατ' επέκταση επίφοβα σε υποβρύχιο καθαρισμό εάν απαιτηθεί. Επειδή λοιπόν τα εν λόγω χρώματα βασίζουν την απόδοσή τους στις ιδιότητες της επιφάνειάς τους, οποιαδήποτε βλάβη σε αυτή θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στην αποτελεσματικότητά τους. Επιπροσθέτως λόγω της ιδιαίτερης μεθοδολογίας εφαρμογής τους, απαιτείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα παραμονής του πλοίου στη δεξαμενή με αποτέλεσμα τη γενικότερη αύξηση του κόστους υφαλοχρωματισμού του σκάφους. Τέλος, τα συγκεκριμένα χρώματα, αν και χαρακτηρίζονται ως "environmental friendly", μελέτες έχουν δείξει ότι ουσίες όπως η σιλικόνη και τα τυχόν επιπρόσθετα έλαια αυτής τα οποία απελευθερώνονται στο θαλάσσιο περιβάλλον, παρουσιάζουν τοξικά χαρακτηριστικά σε διάφορους μικροοργανισμούς (Rittschof 2009). Πρόσφατη έρευνα που αφορά στο πεδίο της παγκόσμιας αγοράς υφαλοχρωμάτων αναλόγως του τύπου τους και η οποία δείχνει ότι τα συστήματα τύπου SPC, το έτος 2022, εξακολουθούν να απολαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό που ανέρχεται στο 42% (Global Antifouling Coating Market By Type, 2024), έρχεται να επιβεβαιώσει ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία χρωμάτων κείται ακόμα χαμηλά στις προτιμήσεις των διαχειριστών των σκαφών, με αυξανόμενη όμως τάση.

1.4.2.3 Μή βιοκτόνα αντιρρυπαντικά συστήματα υπό ερευνητικό / δοκιμαστικό / πρώιμο στάδιο.

Υβριδικά σιλικονούχα FRCs

Η ανάγκη να επιτευχθούν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες στα συγκεκριμένα χρώματα, οδήγησε στην αναζήτηση νέων μεθόδων οι οποίες θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ανθεκτικότητα της επίστρωσης. Η τροποποίηση της μήτρας σιλικόνης με προσμίξεις ουσιών όπως πολυουρεθάνη, εποξειδικές ρητίνες, hydrogels αλλά και η εισαγωγή νανοπληρωτών (nanofillers), κατέστησαν τη νέα γενιά των FRCs ανθεκτικότερη στις μηχανικές καταπονήσεις αλλά και αποδοτικότερη στις περιόδους μακράς ακινησίας (Thorlaksen 2010).

Αλλαγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας (νανοσωματίδια).

Μελέτες έχουν δείξει ότι αλλαγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας σε πολυπλοκότερης μορφής, καθιστούν την προσκόλληση των ρυπογόνων μικροοργανισμών δυσκολότερη. Πιο συγκεκριμένα, σε πειραματικό στάδιο, προσομοιάστηκε με χρήση νανοσωματιδίων το σχήμα ενός σαρκοφάγου φυτού (pitcher plant) το οποίο παρουσιάζει κάποιες κοιλότητες. Κατ' αντιστοιχία λοιπόν με τη λειτουργία του συγκεκριμένου φυτού, το οποίο στο εσωτερικό της κοιλότητας περιέχει υγρό με το οποίο "πνίγει" το εγκλωβισμένο "θήραμά" του, έτσι και στις κοιλότητες των νανοσωματιδίων περιέχεται έλαιο σιλικόνης το οποίο αποτρέπει τη βιορύπανση και ελαττώνει την προσκόλληση φυκών. Επιπλέον έχουν μελετηθεί οι ιδιότητες αρκετών φυσικών επιφανειών τόσο της χλωρίδας όσο και της πανίδας οι οποίες παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στη βιορύπανση. Ενδεικτικά αναφέρονται το δέρμα της φάλαινας και του καρχαρία, τα μακροφύκη και διαφόρων τύπων μαλάκια.



*Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.*

Επίσης οι ιδιότητες των επιφανείων όσον αφορά την προσέλκυση ή μή του νερού, έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας. Η ανάπτυξη εξαιρετικά υδρόφιλων επιφανειών δύναται να οδηγήσει σε αντιρρυπαντικά αποτελέσματα μέσω "αποπροσανατολισμού" των ρυπογόνων οργανισμών μέσω του φαινομένου του κατοπτρισμού όπως αντίστοιχα συμβαίνει με τη φλούδα του λωτού. Από την άλλη η ανάπτυξη εξαιρετικά υδρόφοβων επιφανειών δύναται να οδηγήσει επίσης σε αντιρρυπαντικά αποτελέσματα μέσω διατήρησης ενός φιλμ αέρα ανάμεσα στην επιφάνεια και το υγρό στοιχείο.

Εφαρμογές βιοτεχνολογίας.

Ο ραγδαία αναπτυσσόμενος κλάδος της βιοτεχνολογίας, βρίσκεται σήμερα σε θέση να παρέχει περαιτέρω λύσεις στο πρόβλημα της βιορύπανσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το προϊόν Selektore το οποίο αφορά σε μόριο το οποίο περιλαμβάνει ομάδες φαινυλίου, ιμιδαζολίου και πιο συγκεκριμένα τη μεδετομιδίνη. Η τελευταία απελευθερώνεται καθ' όλη τη διάρκεια λείανσης της επικάλυψης από το θαλασσινό νερό. Χαμηλές συγκεντρώσεις του Selektore στα περισσότερα αντιρρυπαντικά υφαλοχρώματα τεχνολογίας SPC (έως τούδε) χαρακτηρίζονται από εξαιρετική αποτελεσματικότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του chemical/oil product tanker Calypso (IMO 9411290). Το εν λόγω πλοίο δεξαμενίστηκε το Νοέμβριο του 2015 για εκτέλεση συναφών εργασιών. Υφαλοχρωματίστηκε με χρώματα της εταιρείας Chugocu Marine Paints (CMP) και συγκεκριμένα το SEA FLO NEO της κατηγορίας SPC, με προσθήκη του προϊόντος Selektore. Το πλοίο επαναδεξαμενίστηκε, βάσει προγράμματος, το Φεβρουάριο του 2021 όπου διαπιστώθηκε μηδενική ανάπτυξη πεταλίδων (Μελέτη περίπτωσης M/V Καλωψώ 2021). Παρακάτω φαίνεται και ένα timeline υποβρύχιων επιθεωρήσεων της γάστρας του πλοίου:

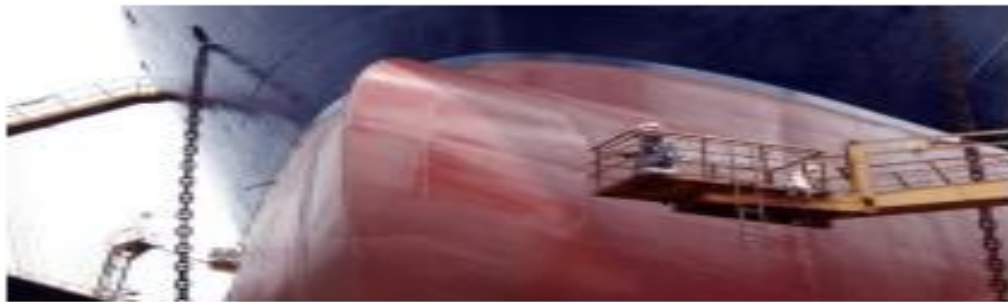


Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

1

Painted in Sembcorp Yard, Singapore

Calypso was painted with the Selektope-containing antifouling coating: SEAFLO NEO CF-PREMIUM from Chugoku Marine Paints.



Εικόνα 1.13 M/V Καλυψώ
Πηγή: Calypso-Case-Study-2021-06-30.pdf (selektope.com)



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

2

Ongoing inspections during operation

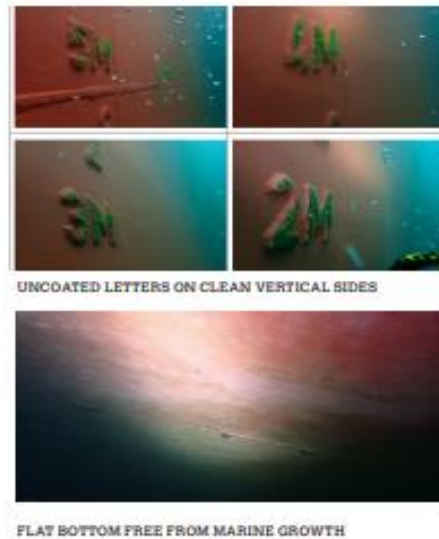
Inspections and vessel performance proves the efficiency of the Selektope-containing antifouling coating.



3

58 months - underwater inspection

Satisfying results during the last underwater inspection prior to the dry dock. After 58 months of operation - the hull was free from barnacles.



Εικόνα 1.14 Υποβρύχιες εικόνες M/V Καλυψώ

Πηγή: Calypso-Case-Study-2021-06-30.pdf (selektope.com)



Εικόνα 1.15 Dry Dock M/V Καλυψώ μετά παρέλευσης πενταετίας.

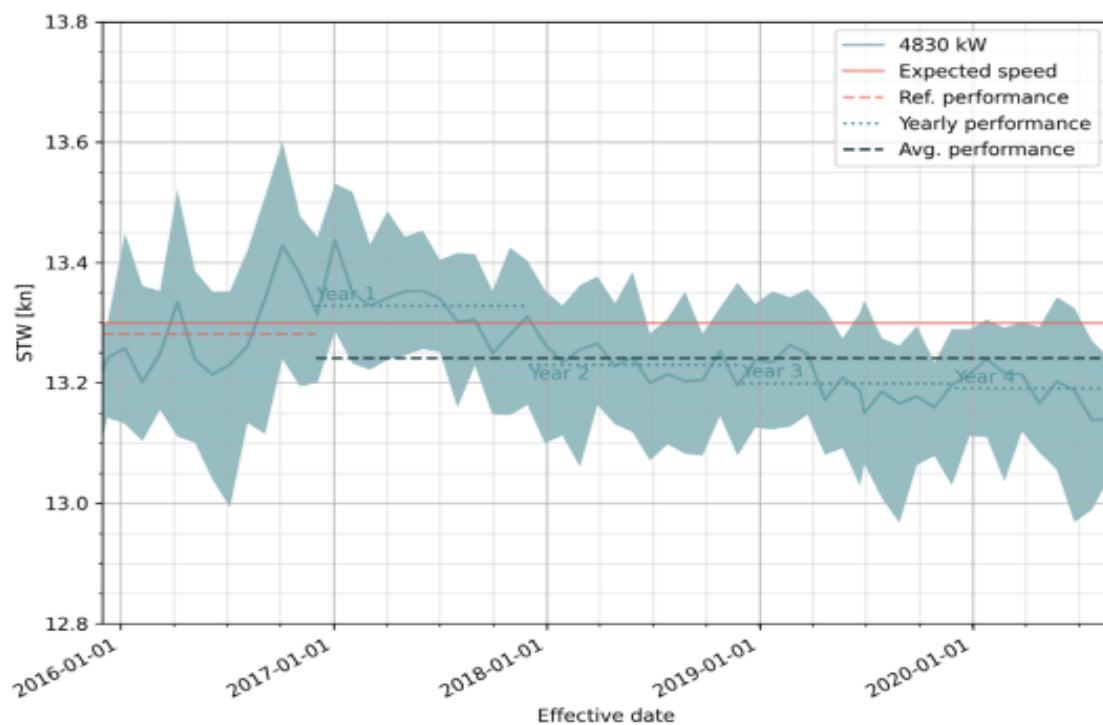
Πηγή: Calypso-Case-Study-2021-06-30.pdf (selektope.com)



Το επιχειρησιακό προφίλ του πλοίου κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου είχε ως εξής:

- το 15% των πλόων του, έλαβε χώρα σε θερμοκρασίες θαλάσσης άνω των 25°C
- υπήρξαν πέντε διαστήματα ακινησίας διάρκειας 14 ημερών έκαστο σε θαλάσσιες θερμοκρασίες ως ανωτέρω
- η μέση ταχύτητά του ανήλθε στους 13,2 κόμβους

Παρατηρώντας το παρακάτω διάγραμμα προκύπτουν οι εξαιρετικές επιδόσεις του συγκεκριμένου σκάφους κατά την διάρκεια της πενταετούς πλήρους επιχειρησιακής απασχόλησής του κατά την οποία η ετήσια μέση απώλεια ταχύτητας εκτιμάται περί 0,06 κόμβους ήτοι περί το 0,5 %, ποσοστό αρκετά μικρότερο από αυτό που εγγυώνται οι καταξιωμένες εταιρείες παραγωγής υφαλοχρωμάτων (περί το 1,2%):



Εικόνα 1.16 Διάγραμμα απώλειας ταχύτητας M/V Καλυψώ.

Πηγή: Calypso-Case-Study-2021-06-30.pdf (selektope.com)

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθούν οι εν εξελίξει εκτεταμένες έρευνες με σκοπό τη δυνατότητα ενσωμάτωσης του συγκεκριμένου συστατικού και στα υφαλοχρώματα τεχνολογίας FRC καθώς και η έως σήμερα πολλά υποσχόμενη πρόοδός τους.



1.5 Εφαρμογή αντιρρυπαντικών χρωμάτων / προετοιμασία επιφανειών / ακολουθούμενα πρότυπα.

1.5.1 Γενικά

Στατιστικά έχει παρατηρηθεί ότι το 60-80% των περιπτώσεων κατά τις οποίες - μετά εφαρμογής ενός αντιρρυπαντικού επιστρώματος - έχει διαπιστωθεί πρόωμη αστοχία (π.χ τμηματική αποφλοίωση) ή αναντιστοιχία των αναμενόμενων επιδόσεων σε σύγκριση με τις επιτευχθείσες, οφείλεται στην ανεπαρκή ή ακατάλληλη προετοιμασία των αντίστοιχων επιφανειών. Η τεχνολογία των σύγχρονων συστημάτων βαφής, προϋποθέτει την εφαρμογή πολλαπλών διαφορετικών στρωμάτων, μικρού σχετικά πάχους (περί τα 50-250μm έκαστο) τα οποία μεταξύ τους θα πρέπει να "συνδέονται" ικανοποιητικά. Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς τη σημαντικότητα του δίπολου προετοιμασία επιφάνειας / ορθή εφαρμογή χρώματος. Η μεθοδολογία που ακολουθείται για την αποφυγή φαινομένων αστοχίας, εναπόκειται στη χρήση και εφαρμογή κοινώς αποδεκτών προτύπων σε συνδυασμό με τις οδηγίες οι οποίες παρέχονται από τον εκάστοτε κατασκευαστή υφαλοχρωμάτων για τα αντίστοιχα προϊόντα. Τα ευρέως αποδεκτά και εφαρμόσιμα πρότυπα αφορούν σε εκείνα του ινστιτούτου NACE International (συγκεκριμένα το πρόγραμμα επιθεώρησης βαφών Coating Inspection Program CIP) και στο Society for Protective Coatings (SSPC). Το ISO 8501-1 αποτελεί ένα ακόμη πρότυπο διαδικασίας εφαρμογής αντιρρυπαντικών επιστρώσεων απόγονο των Σουηδικών μοντέλων. Τα δύο πρώτα, προσφάτως συγχωνεύθηκαν με σκοπό το σχηματισμό της Association for Materials Protection and Performance (AMPP).

1.5.2 Προετοιμασία επιφανειών

Οι μέθοδοι προετοιμασίας των, προς βαφή, επιφανειών, διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες. Μέθοδοι καθαρισμού χωρίς απόξεση (nonabrasive cleaning) και μέθοδοι καθαρισμού μέσω βεβιασμένης απόξεσης (abrasive blast cleaning). Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι μέθοδοι καθαρισμού των επιφανειών κατ' αντιστοιχία των υφιστάμενων προτύπων.

	AMPP	ISO 8501-1
NonAbrasive Cleaning		
Καθαρισμός ορατών ελαίων, γράσσω, βρωμιάς κτλ, με χρήση διαλυτών.	SSPC-SP 1	Δεν ευρέθη αντίστοιχο πρότυπο.
Καθαρισμός μή ιδιαίτερα προσκολλημένων ρύπων, με χρήση εργαλείων χειρός	SSPC-SP 2	St 2 ή St 3
Καθαρισμός μή ιδιαίτερα προσκολλημένων ρύπων, με χρήση ηλεκτρικών εργαλείων	SSPC-SP 3	St 2 ή St 3
Καθαρισμός με χρήση	SSPC-SP 11	Δεν ευρέθη αντίστοιχο



ηλεκτρικών εργαλείων σε επίπεδο γυμνού μετάλλου και ελάχιστο προφίλ 25,4 μm		πρότυπο.
Καθαρισμός με χρήση φλόγας	SSPC-SP 11	F1
Καθαρισμός με χρήση διαλύματος οξέος (pickling)	SSPC-SP 8	Δεν ευρέθη αντίστοιχο πρότυπο.
Καθαρισμός με χρήση ύδατος υπερηχηλής πίεσεως (waterjetting)	NACE No. 5/SSPC-SP 12	Δεν ευρέθη αντίστοιχο πρότυπο.
Abrasive Blast Cleaning		
Καθαρισμός επιπέδου λευκού μετάλλου.	NACE No. 1/SSPC-SP 5	Sa 3
Καθαρισμός επιπέδου σχεδόν λευκού μετάλλου (αποδεκτές αποχρώσεις μετάλλου έως ποσοστού 5% ανά μονάδα επιφάνειας).	NACE No. 2/SSPC-SP 10	Sa 2 ½
Καθαρισμός εμπορικού τύπου (αποδεκτές αποχρώσεις μετάλλου έως ποσοστού 33% της συνολικής επιφάνειας).	NACE No. 3/SSPC-SP 6	Sa 2
Καθαρισμός επιπέδου sweeping	NACE No. 4/SSPC-SP 7	Sa 1
Καθαρισμός εμπορικού τύπου (αποδεκτές αποχρώσεις μετάλλου έως ποσοστού 10% της συνολικής επιφάνειας).	NACE No. 8/SSPC-SP 14	Δεν ευρέθη αντίστοιχο πρότυπο.

Πίνακας 1.1 Μέθοδοι προετοιμασίας επιφανειών αναλόγως προτύπων.

Αναλόγως λοιπόν του υλικού της επιφάνειας (χάλυβας, ξύλο, πολυεστέρας κ.α) και του επιλεγθέντος υφαλοχρώματος, εΐθισται να ακολουθούνται τα παραπάνω πρότυπα, με συνηθέστερα αυτά που αφορούν σε βεβιασμένη απόξεση μεταλλικών κυρίως επιφανειών. Στην εν λόγω μέθοδο χρησιμοποιούνται σωματίδια διαφόρων ειδών, μεγεθών, σχημάτων και σκληρότητας, τα οποία μέσω πεπιεσμένου αέρα ή ύδατος προσκρούουν στην επιφάνεια με υψηλή ταχύτητα επιτυγχάνοντας έτσι τον καθαρισμό και την επιθυμητή τραχύτητα. Άμμος αλουμινίου, χάλυβα, γρανίτη όπως επίσης χαλύβδινα ή γυάλινα σφαιρίδια, μπορούν να αποτελέσουν τα σωματίδια της παραπάνω διαδικασίας. Η ως άνω διαδικασία, στα διάφορα επίπεδα εφαρμογής της - όπως αυτά ορίζονται από τα πρότυπα του παραπάνω πίνακα - βρίσκει εφαρμογή τόσο



στο σύνολο της επιφάνειας της γάστρας όσο και σε στοχευμένα σημεία όπου απαιτείται η ανάληψη διορθωτικών μέτρων. Κατά τη διάρκεια λοιπόν του δεξαμενισμού ενός πλοίου δεν επιλέγεται πάντα ο καθαρισμός της γάστρας στο σύνολό της (full blast), παρά ακολουθούνται μέθοδοι τοπικών καθαρισμών όπου κρίνεται απαραίτητο (spot blast) προς μείωση του κόστους. Η ορθότητα ή μή της εν λόγω μεθοδολογίας γεννά μεγάλα ερωτηματικά καθόσον έχει διαπιστωθεί ότι η πρόσθετη αντίσταση τριβής (συγκριτικά με την αντίσταση τριβής από κατασκευής του πλοίου) στην περίπτωση του full blast και κατ' επέκταση της ολικής ανανέωσης των χρωμάτων, κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (< 4%). Ενώ στην περίπτωση του spot blast, όπου αφαιρείται τοπικά κάποιο ποσοστό ρύπανσης συνοδευόμενο από χρώμα και εφαρμόζεται στη συνέχεια νέο χρώμα επάνω στην παλαιά επίστρωση, τότε το ποσοστό της πρόσθετης αντίστασης μπορεί να φθάσει έως και το 20% (T. Munk , D. Kane και D. M. Yebra 2009). Δυστυχώς η τελευταία αποτελεί συνήθης πρακτική των ναυτιλιακών εταιρειών στην προσπάθειά τους να μειώσουν ευκαιριακά το κόστος, Αρκεί λοιπόν να φανταστούμε πως μεταφράζεται σε νούμερα η περίπτωση εφαρμογής μεθόδου sweep blast σε 2 ή ακόμα και 3 διαδοχικούς δεξαμενισμούς ενός σκάφους.

Μετά ολοκλήρωσης της κατάλληλης προετοιμασίας της επιφάνειας (προβλεπόμενης από τα πρότυπα σε συνδυασμό με τα εγχειρίδια των χρωμάτων), σειρά έχει ο έλεγχος τραχύτητας της επιφάνειας. Μια διαδικασία η οποία εκτελείται κάθε φορά προ εφαρμογής οποιουδήποτε επιστρώματος του επιλεχθέντος συστήματος βαφής. Μέσω αυτής της διαδικασίας καθορίζεται ουσιαστικά το "προφίλ" της επιφάνειας με σκοπό τον έλεγχο της συμφωνίας ή μή του επιτευχθέντος αποτελέσματος με τα προβλεπόμενα από τις προδιαγραφές του εφαρμοσθέντος συστήματος. Σε περίπτωση όπου δεν υφίστανται σχετικές οδηγίες από τον κατασκευαστή, τότε μια μέση τραχύτητα (AHR) της τάξεως των 60μm είναι ικανοποιητική.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο τρόπος εφαρμογής του χρώματος. Υπάρχει μια πληθώρα παραγόντων που μπορεί να επηρεάσουν την ορθή εφαρμογή. Πέραν του ανθρώπινου ή εργαλειακού παράγοντα (υπερψεκασμό ή υποψεκασμό χρώματος, δημιουργία σταξίματος κατά την εφαρμογή κτλ), η επικρατούσα υγρασία, η θερμοκρασία περιβάλλοντος (και μετάλλου αντίστοιχα) καθώς και ο άνεμος, είναι παράγοντες υψηλής σημασίας για την πολυεπίπεδη εργασία του υφαλοχρωματισμού. Και χαρακτηρίζεται ως πολυεπίπεδη καθόσον, όπως προαναφέρθηκε, ξεκινάει με το υπόστρωμα primer (σε καθορισμένο dry film thickness DFT), συνεχίζεται με το υπόστρωμα anticorrosion (σε αριθμό στρώσεων που καθορίζεται από τον κατασκευαστή), εν συνεχεία με το συνδετικό υπόστρωμα (sealer) το οποίο αποτελεί το συνδετικό κρίκο με την τελευταία επίστρωση που είναι η αντιρρυπαντική (antifouling). Είναι λοιπόν εύκολα αντιληπτό το ότι οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες είναι καθοριστικός παράγοντας για την ομαλή εξέλιξη της όλης διαδικασίας. Το πρότυπο ISO 8502-4 δίνει ένα εύρος επιτρεπόμενης θερμοκρασίας από 10°C έως 60°C και ένα εύρος υγρασίας από 10% έως 85%. Η επίδραση του ανέμου είναι επίσης σημαντική καθόσον έχει επίπτωση στο αποδεκτό επίπεδο σκόνης στην επιφάνεια αλλά και στην απώλεια υλικού βαφής κατά τον ψεκασμό. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι στην πλειονότητα των συστημάτων βαφής δύναται να



υπάρξει διακοπή κατά τη διαδικασία εφαρμογής τους, δυνατότητα όμως που δεν παρέχεται κατά τη διαδικασία εφαρμογής σιλικονούχων χρωμάτων η οποία θα πρέπει να είναι αυστηρώς αδιάκοπη και με συγκεκριμένους χρόνους ανά στάδιο. Και αυτό γιατί η σιλικόνη είναι ένα υλικό που χαρακτηρίζεται από την ομοιογένειά του εξασφαλίζοντας σχεδόν "λείο" φινίρισμα. Έτσι λοιπόν η συνεχόμενη εφαρμογή τους αποτρέπει τη δημιουργία "ραφών" μεταξύ των διαφόρων επιστρώσεων και ως εκ τούτου την αποφυγή μη επιθυμητών ανωμαλιών στη λεία επιφάνεια.

2. Πρακτική προσέγγιση θέματος

2.1 Γενικά

Στο πρώτο τμήμα της παρούσης εργασίας, έγινε προσπάθεια προσέγγισης του θέματος από "ερευνητικής", θα έλεγε κανείς, πλευράς. Μέσω μελετών που προαναφέρθηκαν, αποδείχθηκε η βαρύτητα του παράγοντα της τραχύτητας της γάστρας στην απόδοση του πλοίου και οι προσπάθειες ποσοτικοποίησής του. Στη συνέχεια αφού έγινε λόγος για το μηχανισμό της βιορύπανσης, τα διαφορετικά επίπεδά της και πως αυτά σχετίζονται με την αύξηση της τραχύτητας, παρατέθηκαν τα υπάρχοντα αλλά και τα - υπό έρευνα / δοκιμαστικού επιπέδου - συστήματα αντιρρυπαντικού υφαλοχρωματισμού, συνοδευόμενα από κάποια συγκεκριμένα case studies.

Έτσι λοιπόν, στο σημείο αυτό κρίθηκε σκόπιμη η μετάβαση σε μία πιο πρακτική / υπολογιστική προσέγγιση του θέματος, ερευνώντας την αγορά, τόσο από πλευράς κατασκευαστών αντιρρυπαντικών συστημάτων βαφής όσο και από πλευράς των πελατών τους, των εταιρειών δηλαδή διαχείρισης και ιδιοκτησίας πλοίων. Για αυτό το σκοπό προσεγγίστηκαν δύο εταιρείες παραγωγής και εμπορίας χρωμάτων καθώς και τρεις ναυτιλιακές εταιρείες. Για λόγους που άπτονται θεμάτων περί του Γενικού Κανονισμού Προστασίας Δεδομένων (General Data Protection Regulation G.D.P.R), καμία από τις εν λόγω εταιρείες δεν επέτρεψε της χρήση της επωνυμίας της στα παρακάτω δεδομένα. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι η μία εταιρεία παραγωγής και εμπορίας υφαλοχρωμάτων, σύμφωνα με δική της μελέτη, κατείχε το 16,5% της αντίστοιχης παγκόσμιας αγοράς κατά το έτος 2022 συγκεκριμένα για τον τομέα των βαφών κατά τη διάρκεια δεξαμενισμού (dry dock), ενώ η έτερη κατείχε το 11,7% της αντίστοιχης αγοράς. Επίσης οι τρεις ναυτιλιακές εταιρείες οι οποίες προσεγγίστηκαν, είναι ελληνόκτητες, με τις δύο εξ'αύτων να δραστηριοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο και να αριθμούν στο στόλο τους πλοία ξηρού χύδην φορτίου, tankers και LNG Carriers με την πλειοψηφία αυτών να βρίσκονται στην κατοχή τους από κατασκευής τους. Ενώ η τρίτη ναυτιλιακή εταιρεία δραστηριοποιείται κυρίως στο χώρο της Μεσογείου και Μαύρης Θάλασσας, έχοντας στην κατοχή της μεταχειρισμένα bulk carriers. Τα παραπάνω στοιχεία των ναυτιλιακών εταιρειών παρατίθενται καθόσον διαπιστώθηκε ότι έχει ιδιαίτερη σημασία η κουλτούρα και η στρατηγική διαχείρισης του στόλου. Αν δηλαδή η εταιρεία είναι επικεντρωμένη στην επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα του στόλου της ή τον διαχειρίζεται περισσότερο σε επίπεδο περιουσιακού στοιχείου (asset play). Οι δύο πρώτες εταιρείες θα



χαρακτηρίζονται από την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα του στόλου τους ενώ η τρίτη περισσότερο ως asset play.

2.2 Δεξαμενισμοί και επιλογή συστημάτων αντιρρυπαντικής βαφής.

Τα δύο βασικότερα προβλήματα που απασχολούν τους διαχειριστές των πλοίων σχετικά με το τμήμα της παρούσας έρευνας, είναι οι δεξαμενισμοί (συχνότητα και κόστος εργασιών) καθώς και η επιλογή του αντιρρυπαντικού συστήματος βαφής που θα χρησιμοποιηθεί.

2.2.1 Δεξαμενισμοί

Αναφορικά με το θέμα της συχνότητας των δεξαμενισμών, το πλαίσιο είναι αρκετά περιορισμένο και διέπεται από συμβάσεις κανονισμών όπως η Safety of Life at Sea (SOLAS) - η οποία αποτελεί τον ένα εκ των δύο βασικών πυλώνων του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (IMO) – καθώς και η Διεθνής Ένωση Νηογνομόνων (IACS). Μέσω αυτών έχει καθορισθεί ότι πρέπει να πραγματοποιούνται δύο επιθεωρήσεις του πυθμένα των πλοίων εντός διαχρονικού διαστήματος πέντε ετών με ενδιάμεσο διάστημα που δε θα υπερβαίνει τους 36 μήνες. Βέβαια δίδεται η δυνατότητα εκτέλεσης υποβρύχιων επιθεωρήσεων από πιστοποιημένα, από τον αντίστοιχο νηογνώμονα, καταδυτικά συνεργεία, πλην όμως αποτελεί μια διαδικασία η οποία κατά κανόνα απαιτεί δεξαμενισμό και ως εκ τούτου τα πλοία προγραμματίζονται να εκτελούν drydocking μια φορά κάθε πέντε χρόνια. Για ορισμένους τύπους πλοίων ηλικίας έως 10 έτη, υφίσταται η δυνατότητα ένταξής τους στο πρόγραμμα Επέκτασης Δεξαμενισμών κατά το οποίο προβλέπεται εκτέλεση dry docking δύο φορές σε διάστημα 7,5 ετών.

Ο δεξαμενισμός είναι μια ιδιαίτερα χρονοβόρα και δαπανηρή διαδικασία για τον πλοιοκτήτη οι οποία προϋποθέτει υψηλών απαιτήσεων προετοιμασία και πολύ καλό προγραμματισμό, καθόσον ο χρόνος έναρξης θα πρέπει να συμπίπτει με τη διαθεσιμότητα της επιλεχθείσας από τον πλοιοκτήτη γιάρδας καθώς και με το τελευταίο δρομολόγιο του πλοίου προ δεξαμενισμού.

Η παραπάνω διαδικασία προγραμματισμού του dry docking σε συνδυασμό με τις προβλεπόμενες περιοδικές επιθεωρήσεις όπως αυτές προαναφέρθηκαν, διαταράσσονται πλήρως σε περίπτωση απαίτησης έκτακτου δεξαμενισμού. Μία από τις συνηθέστερες αιτίες ενός έκτακτου δεξαμενισμού αποτελεί ο υψηλός ρυθμός μείωσης του performance του πλοίου (μείωση ταχύτητας / αύξηση κατανάλωσης καυσίμου) λόγω ανάπτυξης βιορύπανσης εξαιτίας μη απόδοσης των αναμενομένων αποτελεσμάτων από το επιλεχθέν σύστημα υφαλοχρωματισμού ή ενδεχομένως το λανθασμένο τρόπο εφαρμογής του. Είναι πολλές οι φορές κατά τις οποίες οι πλοιοκτήτες, στην προσπάθειά τους να μειώσουν το κόστος εργασιών δεξαμενισμού, επιλέγουν ένα "απλό" - συγκριτικά με τα υπάρχοντα στην αγορά - σύστημα βαφής ή επιλέγουν τη μέθοδο της τοπικής εφαρμογής του χρώματος (όπου απαιτείται) μετά από μια υποτυπώδη προετοιμασία επιπέδου spot blast, ή ακόμα χειρότερα το συνδυασμό και των δύο. Όπως μελετήθηκε από τους T. Munk , D. Kane και D. M. Yebra το 2009, η εκτέλεση προετοιμασίας επιπέδου πλήρους αμμοβολής, έχει ως αποτέλεσμα μια πρόσθετη αντίσταση τριβής της τάξεως του 0-4 %, σε αντίθεση με τη



spot blast επιπέδου προετοιμασία, η οποία οδηγεί σε 5-20 % αντίστοιχα. Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς ότι σε περίπτωση πολλαπλών εκτελέσεων τοπικών επιδιορθώσεων του συστήματος βαφής ενός πλοίου κατά τη διάρκεια διαδοχικών δεξαμενισμών του, ενδέχεται το αποτέλεσμα να είναι χειρότερο και από εκείνο πριν τον τελευταίο δεξαμενισμό του. Στο σημείο αυτό υπεισέρχεται η στρατηγική διαχείρισης του στόλου της κάθε εταιρίας καθόσον διαπιστώθηκε ότι η τρίτη εταιρεία (στρατηγικής asset play) προτιμούσε σε αρκετές εκ των περιπτώσεων την spot επιδιόρθωση του συστήματος βαφής καθόσον, σχεδόν το σύνολο των πλοίων της αποτελούσαν συνεχώς εν δυνάμει περιουσιακά στοιχεία προς πώληση. Ως εκ τούτου απέφευγε την επένδυση σε ένα, ποιοτικά άνω του μετρίου, σύστημα βαφής συνδυαστικά με μια ικανοποιητική προετοιμασία επιφάνειας και εφαρμογής της βαφής. Αξίζει να σημειωθεί ότι καμία από τις δύο πρώτες εταιρείες δεν ανέφερε εμπόλιμο δεξαμενισμό πλοίου (ενδιάμεσα των προβλεπομένων από τους αντίστοιχους κανονισμούς, χρονικών περιόδων) για λόγους πρόωρης ανάπτυξης ρύπανσης στο hull, σε αντίθεση με την τρίτη που έκανε λόγο για τουλάχιστον μία περίπτωση κατά την οποία είχε αυξηθεί σε εκθετικό βαθμό η μέση κατανάλωση καυσίμου.

2.2.2 Επιλογή συστήματος αντιρρυπαντικής βαφής.

Όπως προαναφέρθηκε, υφίσταται μια πλειάδα τεχνολογιών αντιρρυπαντικής προστασίας μέσω βαφής, οι οποίες καλύπτουν σε μεγάλο βαθμό το εύρος των επιχειρησιακών απαιτήσεων σήμερα. Η απόφαση λοιπόν της επιλογής του κατάλληλου τύπου χρώματος βαφής των υφάλων ενός πλοίου, είναι ιδιαίτερα κρίσιμη και αποτελεί προϊόν επεξεργασίας πολλαπλών και πολυεπίπεδων παραγόντων. Στην έρευνα που έλαβε χώρα διαπιστώθηκε ότι η απόφαση αυτή προκύπτει μέσω μιας διαδραστικής διαδικασίας ανάμεσα στη ναυτιλιακή εταιρεία και στους υποψήφιους παρόχους του προϊόντος. Για να αποβεί παραγωγική η παραπάνω διαδικασία θα πρέπει να παρασχεθούν από τη ναυτιλιακή εταιρεία ορθές και ακριβείς πληροφορίες οι οποίες πέραν των δομικών χαρακτηριστικών του πλοίου (διαστάσεις, επιφάνεια υφάλων κτλ), θα περιέχουν και δεδομένα που άπτονται του επιχειρησιακού προφίλ του σκάφους που πρόκειται να εκτελέσει εργασίες βαφής. Τα εν λόγω στοιχεία, για να είναι αξιοποιήσιμα στο έπακρο θα πρέπει να αφορούν τουλάχιστον την τελευταία πενταετία πλήρους επιχειρησιακής αξιοποίησης του πλοίου. Έτσι λοιπόν γίνεται μια ανάλυση του προφίλ του πλοίου μέσα από δεδομένα ταχυτήτων (συμπεριλαμβανομένων των χρονικών διαστημάτων αγκυροβολιών ή εξαιρετικά χαμηλών ταχυτήτων), χωρών / θαλασσών όπου εκτελούσε δρομολόγια (ώστε να προσεγγισθούν οι συνήθεις θερμοκρασίες θαλάσσης στις οποίες επιχειρεί το πλοίο) καθώς και της μέσης κατανάλωσης καυσίμου που έχει καταγραφεί στην ανωτέρω χρονική περίοδο. Εν συνεχεία, λαμβάνει χώρα μια οικονομικοτεχνική μελέτη με σκοπό την πρόταση της ορθότερης επιλογής συστήματος υφαλοχρωματισμού για το συγκεκριμένο σκάφος. Η εν λόγω μελέτη στηρίζεται σε δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από την εκάστοτε εταιρία παροχής συστημάτων βαφής και αφορούν σε πλοία που κατά καιρούς έχουν εφαρμόσει τα συγκεκριμένα συστήματα, από στοιχεία καταναλώσεων καυσίμου καθώς και από υποβρύχιους ελέγχους κατάστασης της γάστρας τους. Γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος δεδομένων της εκάστοτε εταιρίας (γεγονός το οποίο δηλώνει φερεγγυότητα και διαχρονικότητα) τόσο πιο επιτυχημένο και καλύτερα προσαρμοσμένο στις ανάγκες του πλοιοκτήτη, θα είναι το προτεινόμενο σύστημα υφαλοχρωματισμού. Τα πολυάριθμα και σε βάθος χρόνου δεδομένα των εταιριών χρησιμοποιούνται, για την

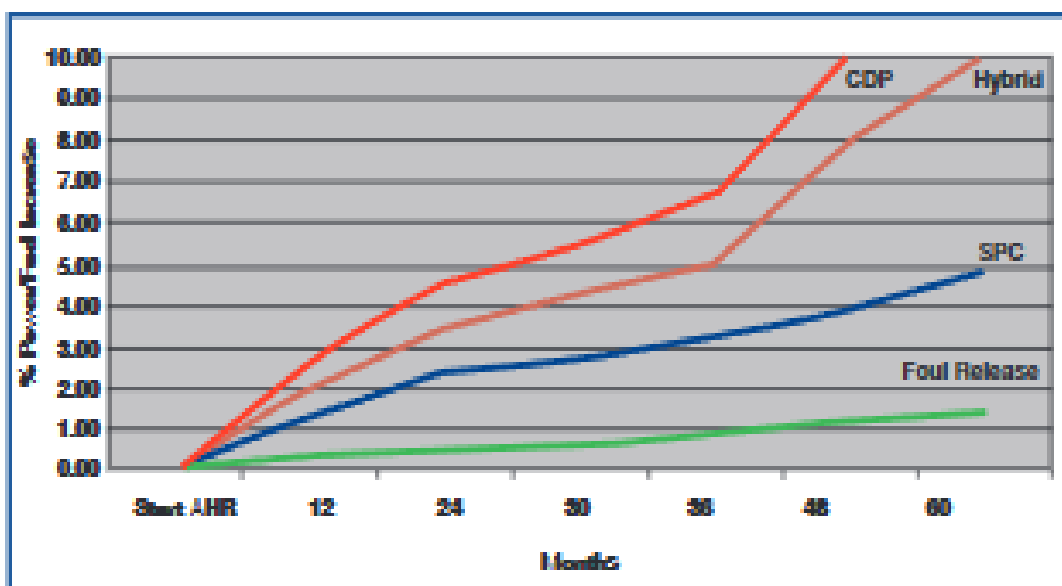


“μοντελοποίηση” του ρυθμού αύξησης της βιορύπανσης και κατ’επέκταση της τραχύτητας της γάστρας αναλόγως του τύπου υφαλοχρώματος που έχει εφαρμοσθεί στο κάθε πλοίο. Κατά τη διάρκεια της διαδικτυακής έρευνας εντοπίστηκε η μελέτη της εταιρείας International η οποία δημοσιεύθηκε το 2004. Η εν λόγω έρευνα παρατηρήθηκε ότι έχει χρησιμοποιηθεί/αναλυθεί κατά το παρελθόν, όποτε προέκυψε η ανάγκη της μελέτης μιας συγκεκριμένης περίπτωσης (case study) με χρήση δεδομένων έτερης εταιρίας η οποία όπως προαναφέρθηκε κατέχει ένα αρκετά μεγάλο μερίδιο της αγοράς.

2.3 Μελέτη περίπτωσης.

2.3.1 Παραδοχές

- Όπως προαναφέρθηκε, μετά από επαφή με αριθμό ναυτιλιακών εταιριών και εταιριών παροχής συστημάτων βαφής, επιλέχθηκε να μελετηθεί το παρακάτω πλοίο (για το οποίο συλλέχθηκαν όλα τα απαραίτητα έγκυρα δεδομένα).
- Θα μελετηθεί η επιλογή μεταξύ δύο συστημάτων βαφής – SPC και FRC – οι οποίες σύμφωνα με την εταιρία αλλά και την μελέτη Materials and Chemicals-Antifouling Coating Market η οποία δημοσιεύτηκε το Μάιο 2023, κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς. Η παραπάνω επιλογή ενισχύθηκε και από τη προαναφερθείσα μελέτη της International, όπου μέσα από το παρακάτω διάγραμμα διαφαίνεται η μεγάλη αύξηση απαίτησης ισχύος μεταξύ των δύο ανωτέρω επιλεχθέντων συστημάτων βαφής και των έτερων δύο (CDP και HYBRID), ιδιαίτερα μετά παρέλευσης 36 μηνών.



Εικόνα 2.1 Αύξηση απαίτησης ισχύος / Κατανάλωσης καυσίμου αναλόγως τύπου υφαλοχρώματος.

Πηγή: Hull Roughness Penalty Calculator: The economic importance of hull condition, International Marine Coatings



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

Η εφαρμογή των συγκεκριμένων χρωμάτων πρόκειται εκτελεσθεί μετά από προετοιμασία επιφανειών full blast επιπέδου Sa 2 η οποία αποτελεί τη συνήθη και πιο ασφαλή επιλογή. Επίσης είναι το επίπεδο προετοιμασίας που αποτελεί προϋπόθεση παροχής της μεγαλύτερης δυνατής εγγύησης αποδοτικότητας από πλευράς εταιριών συστημάτων βαφής.

- Όλα τα κόστη (καύσιμα, κόστη δεξαμενισμού κτλ) βαρύνουν τον πλοιοκτήτη για το σύνολο της πενταετίας.
- Τα οικονομικά στοιχεία προκύπτουν, θεωρώντας ότι ο επόμενος δεξαμενισμός του πλοίου θα λάβει χώρα με τη συμπλήρωση της πενταετίας.
- Τα αριθμητικά / οικονομικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν (μέση κατανάλωση καυσίμου, ποσοστά εξοικονόμησης καυσίμου, κόστος προμήθειας καυσίμου και διάφορα άλλα κόστη) προέκυψαν τόσο από τη ναυτιλιακή εταιρία όσο και από την εταιρία παροχής χρωμάτων τον Οκτώβριο του 2023.

2.3.2 Δεδομένα

2.3.2.1 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά πλοίου.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα απαραίτητα στοιχεία του προς μελέτη πλοίου:

Γενικά Χαρακτηριστικά	
Τύπος πλοίου	Chemical Tanker
Βύθισμα	12,3m
Μέση κατανάλωση/ημέρα	29tons
Deadweight	46210
Μέση ταχύτητα	12 knots
Μέγιστη ταχύτητα	14,8 knots
MCR	8.580
Εμβαδό επιφανειών γάστρας	
Παρίσαλος (boot top)	3.339 τ.μ
Πλευρές κάτωθεν παρίσαλου (vertical sides)	1.835 τ.μ
Πυθμένας (flat bottom)	4.245 τ.μ
Συνολική επιφάνεια βαφής	9.419 τ.μ

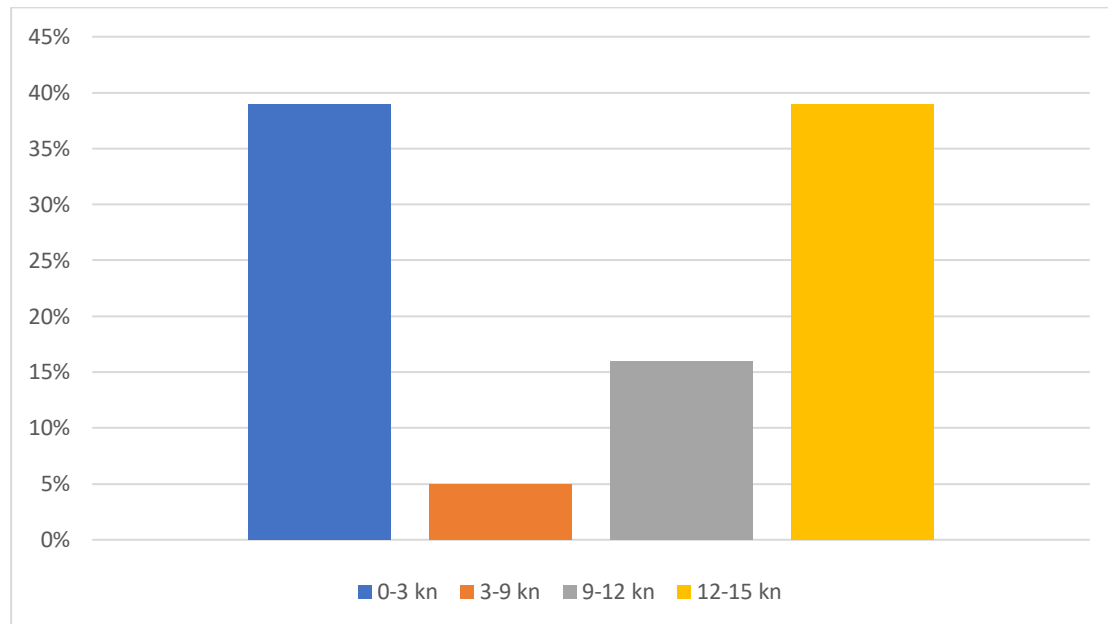
Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου.

Στον παραπάνω πίνακα, πέραν των βασικών χαρακτηριστικών, παρατίθεται αναλυτικά η επιφάνεια της γάστρας καθόσον ως γνωστοποιήθηκε από το προσωπικό της εταιρίας χρωμάτων, ο ρυθμός αύξησης της βιορύπανσης στα πλαϊνά τοιχώματα του πλοίου, παρουσιάζεται αισθητά αυξημένος συγκριτικά με του πυθμένα. Η μεγαλύτερη έκθεση των πλαϊνών τοιχωμάτων στην ηλιακή ακτινοβολία εντοπίζεται ως η βασικότερη αιτία της εν λόγω διαφοράς. Η διάκριση αυτή κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί καθόσον το επιθυμητό ξηρό πάχος εκάστης επίστρωσης κάθε τύπου χρώματος, διαφέρει μεταξύ των πλευρών και του πυθμένα σύμφωνα με τις οδηγίες εφαρμογής της εταιρίας. Οι εν λόγω οδηγίες πρόκειται αναφερθούν παρακάτω.



2.3.2.2 Επιχειρησιακό προφίλ πλοίου.

Μέσα από τα δεδομένα βάθους πενταετίας που παρασχέθηκαν από την ναυτιλιακή εταιρία προέκυψε ότι το πλοίο είχε κατά μέσο όρο περί τις 223 ημέρες το χρόνο εν πλώ ενώ τις υπόλοιπες παρουσιάζεται είτε αγκυροβολημένο, είτε δεμένο σε λιμένα. Με βάση τα στοιχεία αυτά προκύπτει μια μέση ετήσια επιχειρησιακή δραστηριότητα του πλοίου της τάξεως του 60,9%. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή των ταχυτήτων ως εξήχθησαν από τα δεδομένα που παρασχέθηκαν.

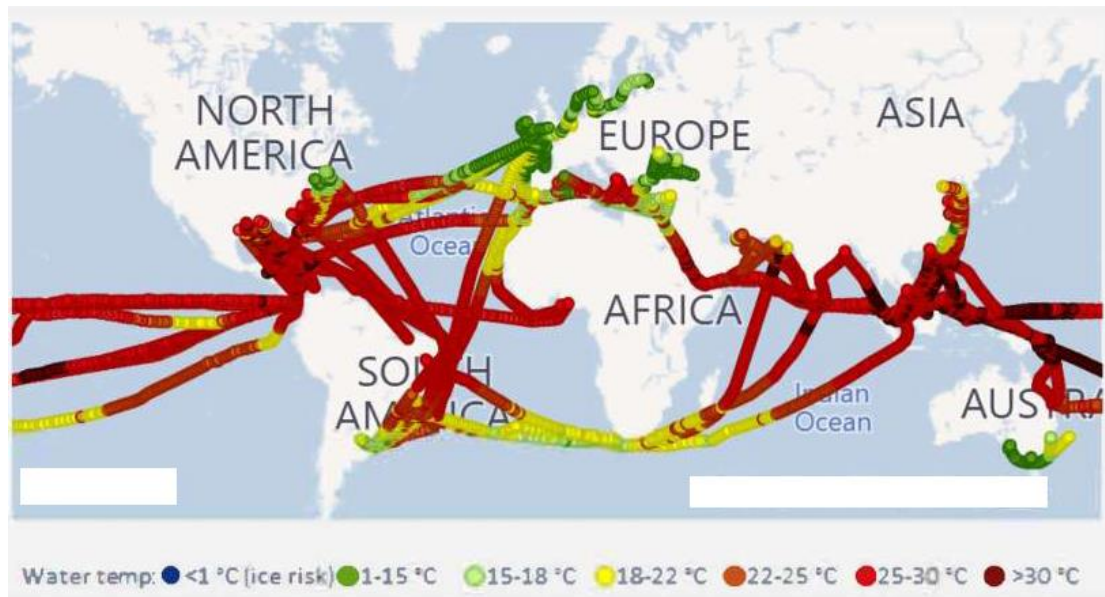


Πίνακας 2.2 Ποσοστιαία κατανομή ταχυτήτων του υπό μελέτη πλοίου.

Εν συνεχεία και με δεδομένο ότι πρέπει να εξαχθεί ένα risk matrix όσον αφορά την ανάπτυξη ρύπανσης εξαιτίας θερμοκρασιών θαλάσσης σε σχέση με τις ταχύτητες που έχουν καταγραφεί, είναι απαραίτητο να αποτυπωθεί η γεωγραφική δραστηριότητα του συγκεκριμένου πλοίου. Από τα στοιχεία που ελήφθησαν, προέκυψε ο παρακάτω "χάρτης γεωγραφικής δραστηριότητας" (περιλαμβάνοντας χρωματικό κώδικα σχετικά με το εύρος θερμοκρασιών θαλασσών και αποτελεί τη μοναδική απεικόνιση για την οποία επιτράπη η χρήση της) ο οποίος αναδεικνύει τη σχεδόν παγκόσμια επιχειρησιακή δραστηριότητά του.

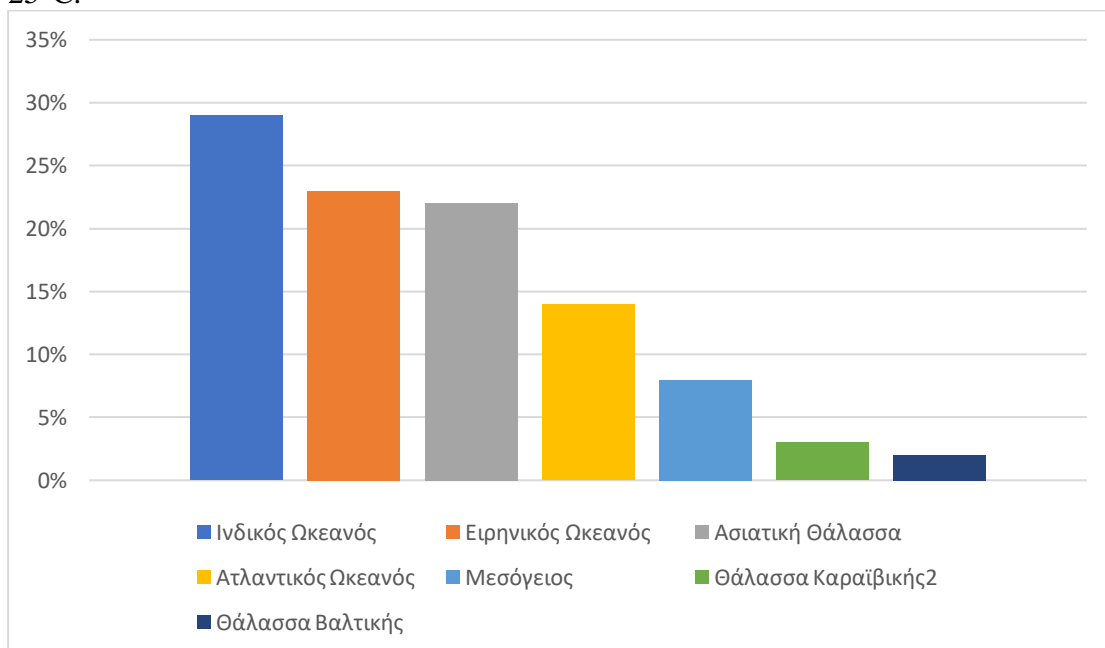


Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.



Εικόνα 2.2 Χάρτης γεωγραφικής δραστηριότητας του υπό μελέτη πλοίου συναρτήσει θερμοκρασίας θαλασσών.

Αποτυπώνοντας τα δεδομένα γεωγραφικής δραστηριότητας με ραβδογράμματα, προκύπτει ότι το συγκεκριμένο πλοίο δραστηριοποιείται ή ακριβέστερα βρίσκεται το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, στον Ινδικό και Ειρηνικό Ωκεανό, καθώς και στην Ασιατική θάλασσα όπου καταγράφεται μια μέση θερμοκρασία θαλάσσης περί τους 25°C .






Πίνακας 2.3 Απεικόνιση γεωγραφικής δραστηριότητας του υπό μελέτη πλοίου σε μορφή ραβδογραμμάτων.

Έτσι λοιπόν μέσα από τα προφίλ ταχυτήτων και γεωγραφικής δραστηριότητας σε συνδυασμό με το risk analysis της συγκεκριμένης εταιρίας προκύπτει το παρακάτω risk matrix με τους αντίστοιχους χρωματικούς κώδικες.



Ταχύτητα	Θερμοκρασία θαλάσσης				
	<15°C	15-18°C	18-22°C	22-25°C	>25°C
0-3 kn	6%	5%	5%	3%	21%
3-9 kn	1%	1%	0%	0%	3%
9-12 kn	1%	1%	2%	2%	10%
12-15 kn	2%	2%	4%	6%	26%

Χαμηλό ρίσκο  Μέτριο ρίσκο  Υψηλό ρίσκο 
Πίνακας 2.4 Risk Matrix ανάπτυξης βιορύπανσης συναρτήσει θερμοκρασίας θαλασσών.

Ο παραπάνω πίνακας, σύμφωνα με τους τεχνικούς της εταιρίας, αποτελεί απαραίτητο εργαλείο, καθόσον αποτυπώνεται ποσοστιαία το ποσοστό ύπαρξης του πλοίου σε περιβάλλον και συνθήκες οι οποίες ευνοούν την αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης βιορύπανσης. Οι συνθήκες αυτές δεν είναι άλλες από τις χαμηλές ταχύτητες σε θάλασσες υψηλών θερμοκρασιών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αυτό μεταφράζεται σε ένα ποσοστό 21% όπου το πλοίο βρίσκεται σε νερά υψηλών θερμοκρασιών με χαμηλές ταχύτητες (0-3 kn). Αντιθέτως το ποσοστό του 26% στο οποίο εμφανίζεται το πλοίο να επιχειρεί επίσης σε ζεστά νερά, παρουσιάζει μέτριο ρίσκο αύξησης ρυθμού ανάπτυξης βιορύπανσης εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων του.

2.3.3 Μελέτη περίπτωσης από οικονομικοτεχνικής απόψεως.

Η απόφαση της επιλογής του κατάλληλου συστήματος βαφής ενός πλοίου θα πρέπει να αντιμετωπίζεται από τον πλοιοκτήτη ως μια "επενδυτική" απόφαση. Η επαφή με τις ναυτιλιακές εταιρίες κατέδειξε σε μεγάλο ποσοστό την παραπάνω διαπίστωση και ως εκ τούτου η παρακάτω μελέτη έρχεται να την επισφραγίσει παραθέτοντας κατάλληλα στοιχεία και μεταφράζοντάς τα όλα σε **χρήμα και χρόνο**, δύο έννοιες συνυφασμένες με την κερδοφορία και κατ' επέκταση την ανάπτυξη μιας ναυτιλιακής εταιρίας. Όπως προαναφέρθηκε μελετήθηκαν συγκριτικά δύο διαφορετικά σενάρια υφαλοχρωματισμού με το μεν πρώτο να αφορά σε χρήση χρωμάτων τύπου SPC ενώ το δεύτερο σε χρήση χρωμάτων τύπου FRC. Και τα δύο σενάρια αντιμετωπίστηκαν με κοινό επίπεδο προετοιμασίας επιφανειών επιπέδου Sa 2.

2.3.3.1 Ποσότητες και κόστος απόκτησης χρωμάτων.

Αρχικά στην παρούσα παράγραφο κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν οι παρακάτω όροι:

- Οι συνήθεις μονάδες μέτρησης του πάχους της τελικής ξηράς επίστρωσης του χρώματος είναι:
το μικρόμετρο (μm) ή μικρό (μ) το οποίο ισούται με $\frac{1}{1000}$ mm
και το mil που ισούται με 25,4μm
- Ο θεωρητικός ρυθμός κάλυψης ενός χρώματος (theoretical spreading rate TSR) είναι ένας όρος χρήσιμος για τον υπολογισμό των ποσοτήτων των χρωμάτων που πρόκειται να απαιτηθούν κατά τη διαδικασία βαφής. Συναρτάται του ποσοστού του όγκου των στερεών υλικών (solids by volume SBV) τα οποία αποτελούν την τελική ξηρή επίστρωση αφότου εξατμιστούν οι διαλύτες και τα λοιπά πτητικά συστατικά του χρώματος. Συνηθίζεται ο συγκεκριμένος όρος να σταθμίζεται από ένα συντελεστή απωλειών (λόγω ανέμου, εξοπλισμό/τρόπο εφαρμογής κ.α). Συνήθως αυτός ο συντελεστής



ισούται με 0,7. Ο παραπάνω όρος παρουσιάζεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου χρώματος.

Το επιθυμητό ξηρό πάχος κάθε επίστρωσης που προτείνει η εταιρία διαφέρει για κάθε τύπο υφαλοχρώματος και συνοψίζεται ως εξής:

- SPC χρώματα

Δύο επιστρώσεις των 80μm εκάστη για τον πυθμένα του πλοίου. Μία επίστρωση των 120μm και εν συνεχεία άλλη μια επίστρωση των 150μm για τα πλαϊνά τοιχώματα. Επιθυμώντας λοιπόν ένα συνολικό πάχος επίστρωσης στο πυθμένα στα 160 μm και στα πλαϊνά 270 μm και έχοντας ένα θεωρητικό ρυθμό επικάλυψης (TSR) που αντιστοιχεί στα 6,4 m² /lt για επίτευξη 100 μm, τότε προκύπτουν τα εξής:

Τύπος χρώματος	Εμβαδό επιφάνειας	Ποσότητα βαφής	Τιμή λίτρου	Συνολικό κόστος
SPC	Flat Bottom 4245 m ²	1061,25 lt	33.25 \$	106.973 \$
	Vertical Sides 5174 m ²	2156 lt		

Πίνακας 2.5 Ποσότητες και κόστος απόκτησης SPC υφαλοχρωμάτων.

- FRC χρώματα

Από μία επίστρωση συνδετικής βαφής πάχους 100μm τόσο για τον πυθμένα όσο και για τα πλαϊνά τοιχώματα. Εν συνεχεία από άλλη μια επίστρωση 150μm της εν λόγω βαφής τόσο για τον πυθμένα όσο και για τα πλαϊνά τοιχώματα. Έχοντας ένα θεωρητικό ρυθμό επικάλυψης (TSR) που αντιστοιχεί στα 5,6 m² /lt για επίτευξη 100 μm της συνδετικής βαφής (tie coat) και 4,7 m² /lt για επίτευξη 150 μm της αντιρρυπαντικής βαφής, τότε προκύπτουν τα εξής:

Τύπος χρώματος	Εμβαδό επιφάνειας	Ποσότητα βαφής	Τιμή λίτρου	Κόστος	Συνολικό κόστος
FRC tie coat	9.419 m ²	1682 lt	45 \$	75.690 \$	215.970 \$
FRC	9.419 m ²	2004 lt	70 \$	140.280 \$	

Πίνακας 2.6 Ποσότητες και κόστος απόκτησης FRC υφαλοχρωμάτων.

2.3.3.2 Κόστη και ζημιές λόγω δεξαμενισμού σχετιζόμενα αποκλειστικά με εργασίες βαφής.

Ο δεξαμενισμός ενός πλοίου εκτελείται συνήθως για λόγους περιοδικότητας ή λόγω εμφάνισης συναφούς βλάβης και σπάνια σε περιπτώσεις αποκλειστικά ανανέωσης υφαλοχρωματισμού. Έτσι λοιπόν στο συγκεκριμένο πεδίο κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν τα κόστη που σχετίζονται αποκλειστικά με τις εργασίες βαφής (πλύσιμο γάστρας με νερό υψηλής πίεσεως, προετοιμασία επιφάνειας, εφαρμογή χρώματος, ημερήσια ενοικίαση δεξαμενής). Πιο συγκεκριμένα, το κόστος εισόδου / εξόδου σε μια γιάρδα καθώς και η πρώτη ημέρα χρήσης αυτής, αφορούν σε ένα διόλου ευτελές ποσό που εκτιμάται περί τα 30.000 \$, και το οποίο δεν συνυπολογίζεται στην παρούσα μελέτη γιατί αφορά στο σύνολο των εργασιών που πρόκειται να εκτελεστούν και δε σχετίζεται αποκλειστικά με τις εργασίες βαφής.

Τα κόστη και οι χρόνοι που παρατίθενται παρακάτω προέκυψαν από στοιχεία της ναυτιλιακής προγενέστερων δεξαμενισμών τόσο σε ναυπηγεία της Τουρκίας και των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων όσο και της Κίνας, καθώς και σε τρέχουσες



προσφορές που αφορούσαν σε επικείμενο δεξαμενισμό αντίστοιχου, με το υπό μελέτη, πλοίου.

Και για τα δύο σενάρια βαφής, ο χρόνος προετοιμασίας εκτιμάται στις 3,5 ημέρες. Πιο αναλυτικά απαιτείται μισή ημέρα για πλύσιμο της γάστρας με υδροβολή υψηλής πίεσης και άλλες τρεις ημέρες για ολοκλήρωση Sa2 και μετέπειτα ξέπλυμα της γάστρας. Αναφορικά με τα υπόλοιπα στάδια, διαπιστώνεται διαφοροποίηση των χρόνων αναλόγως του επιλεχθέντος συστήματος βαφής. Πιο συγκεκριμένα:

- **SPC χρώματα**
Απαιτούνται δύο ημέρες για εφαρμογή / σκλήρυνση της βαφής και επιπλέον μισή ημέρα κατά την οποία σύμφωνα με τις οδηγίες της εταιρίας δε θα πρέπει να έρθει σε επαφή η βαμμένη επιφάνεια με το θαλασσινό νερό
- **FRC χρώματα**
Απαιτούνται 3,5 ημέρες για εφαρμογή / σκλήρυνση της βαφής και επιπλέον μία ημέρα κατά την οποία σύμφωνα με τις οδηγίες της εταιρίας δε θα πρέπει να έρθει σε επαφή η βαμμένη επιφάνεια με το θαλασσινό νερό.

Προκύπτει λοιπόν μια διαφορά δύο ημερών μεταξύ των χρόνων εφαρμογής των δύο σεναρίων βαφής (συνολικά έξι ημέρες για εφαρμογή SPC χρωμάτων ενώ οχτώ ημέρες για εφαρμογή FRC χρωμάτων). Η παραπάνω διαφορά προκύπτει από τα προαναφερθέντα σε ανωτέρω παράγραφο 1.4.2.2. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το ημερήσιο κόστος ενοικίασης της δεξαμενής ανέρχεται περί τα 5.000 \$, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Τύπος χρώματος	Ημέρες δεξαμενισμού	Κόστος ενοικίασης δεξαμενής
SPC	6	30.000 \$
FRC	8	40.000 \$

Πίνακας 2.7 Απαιτούμενες ημέρες δεξαμενισμού και κόστος ενοικίασης αναλόγως τύπου υφαλοχρωμάτων.

Πέραν του κόστους που άπτεται των εργασιών δεξαμενισμού, στο πεδίο αυτό κρίνεται σκόπιμο να εισαχθεί και το μέγεθος της απώλειας εσόδων καθόσον το πλοίο δεν είναι επιχειρησιακά διαθέσιμο (off hire). Και αυτό γιατί διαπιστώθηκε διαφορά στη χρονική διάρκεια δεξαμενισμού για έκαστο σενάριο υφαλοχρωματισμού. Θεωρώντας λοιπόν ως μέση τιμή ημερήσιας ναύλωσης του συγκεκριμένου τύπου πλοίου τα 12.000 \$ (σύμφωνα με τα στοιχεία που ελήφθησαν από την ιστοσελίδα hellenicshippingnews τον Ιανουάριο 2024) τότε προκύπτουν τα παρακάτω:

Τύπος χρώματος	Ημέρες δεξαμενισμού	Απώλεια εσόδων
SPC	6	72.000 \$
FRC	8	96.000 \$

Πίνακας 2.8 Απώλειες εσόδων αναλόγως τύπου υφαλοχρωμάτων.

2.3.3.3 Κόστη εργασιών προετοιμασίας επιφανειών.

Οι εν λόγω εργασίες είναι κοινές και για τα δύο σενάρια υφαλοχρωματισμού και χρεώνονται ανάλογα με την έκταση της επιφάνειας. Σε αυτές περιλαμβάνονται το αρχικό πλύσιμο της γάστρας με υδροβολή υψηλής πίεσεως με κόστος περί τα 0,95 \$/ τ.μ καθώς και η εκτέλεση Sa2 με κόστος περί τα 13,5 \$/ τ.μ. Προκύπτει λοιπόν:

Κόστος προετοιμασίας επιφανειών= 9.419 τ.μ x (0,95 \$/ τ.μ + 13,5 \$/ τ.μ.)=136.105\$



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

2.3.3.4 Κόστος εργασιών εφαρμογής χρωμάτων.

Ο τρόπος εφαρμογής των υπό μελέτη υφαλοχρωμάτων διαφέρει αισθητά. Τα FRC χρώματα παρουσιάζουν μια ιδιαίτερη δυσκολία κατά την εφαρμογή τους καθόσον η ύπαρξη της σιλκόνης απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή δημιουργίας "γραμμώσεων" μεταξύ των επιστρώσεων. Η δημιουργία αυτών των γραμμώσεων πρόκειται επιδράσει αρνητικά στο τελικό φινίρισμα της γάστρας και ως εκ τούτου στην τελική τραχύτητά της. Απαιτούν ιδιαίτερες δεξιότητες και αντίστοιχο εργαλειικό εξοπλισμό Έτσι λοιπόν τα αντίστοιχα κόστη εφαρμογής αναλόγως τύπου χρώματος διαμορφώνονται ως εξής:

Τύπος χρώματος	Κόστος εφαρμογής	Συνολικό κόστος εφαρμογής
SPC	1,6 \$/τ.μ	15.046 \$
FRC	4,5 \$/τ.μ	42.386 \$

Πίνακας 2.9 Κόστος εφαρμογής αναλόγως τύπου υφαλοχρωμάτων.

Με σκοπό την καλύτερη και πιο συγκεντρωτική απεικόνιση των παραπάνω στοιχείων-ποσών, παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας:

	SPC	FRC	Διαφορά
Κόστος απόκτησης χρωμάτων	106.973 \$	215.970 \$	108.997 \$
Κόστος ενοικίασης δεξαμενής	30.000 \$	40.000 \$	10.000 \$
Ζημία λόγω μή επιχειρησιακής διαθεσιμότητας του πλοίου (off hire)	72.000 \$	96.000 \$	24.000 \$
Κόστος προετοιμασίας επιφανειών	136.105\$	136.105 \$	0 \$
Κόστος εφαρμογής υφαλοχρωμάτων	15.046 \$	42.386 \$	27.340 \$
Συνολική διαφορά οικονομικοτεχνικής μελέτης:			170.337 \$

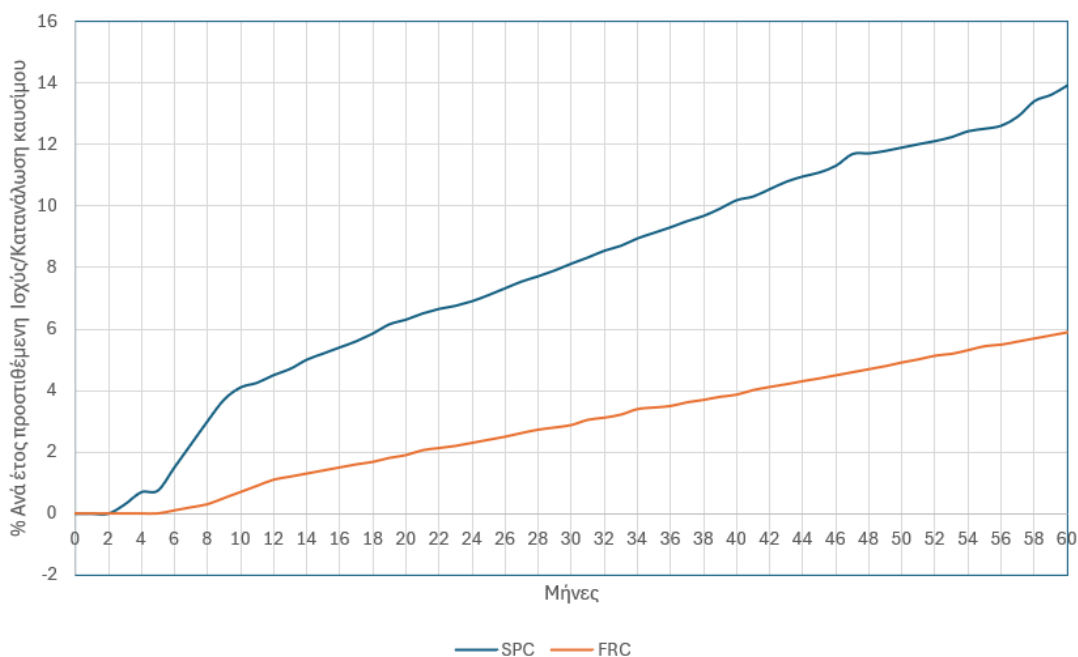
Πίνακας 2.10 Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων / ποσών αναλόγως τύπου υφαλοχρωμάτων.

2.3.4 Μελέτη περίπτωσης αναφορικά με την κατανάλωση καυσίμου.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των παρακάτω τιμών / ποσών προέρχονται από στοιχεία που έχουν συλλεχθεί από την εταιρία χρωμάτων και αφορούν σε χίλιες πεντακόσιες εφαρμογές του συγκεκριμένου τύπου υφαλοχρώματος (από το 2018 και έπειτα) καθώς και σε πλοία τα οποία έφεραν σύστημα υφαλοχρωματισμού τύπου SPC της ίδιας εταιρίας. Έτσι λοιπόν επιλέγοντας δεδομένα που αφορούσαν σε σκάφη παρόμοιου επιχειρησιακού προφίλ και κατασκευαστικών χαρακτηριστικών με του υπό μελέτη πλοίου, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα που αφορά στην ανά μήνα, μέση ποσοστιαία αύξηση ισχύος / κατανάλωσης καυσίμου, για έκαστο σύστημα βαφής, σε βάθος πενταετίας.



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.



Εικόνα 2.3 Διάγραμμα μέσης ποσοστιαία αύξηση ισχύος / κατανάλωσης καυσίμου σε βάθος πενταετίας αναλόγως τύπου υφαλοχρωμάτων.
Πηγή: Δεδομένα εταιρίας υφαλοχρωμάτων.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η καμπύλη ποσοστιαίας αύξησης ισχύος του σεναρίου των FRC χρωμάτων παρουσιάζει μια ομαλότητα συγκριτικά με αυτή του έτερου σεναρίου. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη λιγότερων δεδομένων για πλοία που φέρουν υφαλοχρώματα FRC σε σχέση με τα δεδομένα που υφίστανται για πλοία που φέρουν υφαλοχρώματα SPC των οποίων τα στοιχεία αντλούνται από βάθος δωδεκαετίας. Κάνοντας αποδεκτή την παραπάνω παραδοχή προκύπτει ένα αρκετά ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με την εκτιμώμενη ποσοστιαία εξοικονόμηση καυσίμου. Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα λαμβάνουν χώρα οι εξής διαπιστώσεις:

- για την περίπτωση του συστήματος SPC, η μέγιστη προστιθέμενη ισχύς κυμαίνεται στο 14% για παρόμοια με το υπό μελέτη πλοίο. Χρησιμοποιώντας την ευρέως αποδεκτή σχέση 3:1 μεταξύ αύξησης ισχύος και απώλειας ταχύτητας (καθόσον η ισχύς συναρτάται της τρίτης δύναμης της ταχύτητας), προκύπτει απώλεια ταχύτητας της τάξεως του 4,7 % .
- για την περίπτωση του συστήματος FRC, η μέγιστη προστιθέμενη ισχύς κυμαίνεται στο 6% για παρόμοια με το υπό μελέτη πλοίο. Χρησιμοποιώντας και εδώ την ευρέως αποδεκτή σχέση 3:1 μεταξύ αύξησης ισχύος και απώλειας ταχύτητας (καθόσον η ισχύς συναρτάται της της τρίτης δύναμης της ταχύτητας), προκύπτει απώλεια της τάξεως του 2 % .
- στους δώδεκα μήνες λειτουργίας (ένα χρόνο μετά την έναρξη επίδρασης της βιορύπανσης διαπιστώνεται μια διαφορά της τάξεως του 3,4 % μεταξύ των δύο χρωμάτων.
- λαμβάνοντας λοιπόν ως βάση για την περαιτέρω μελέτη, τα τέλη εκάστου έτους, προκύπτουν οι παρακάτω διαφορές



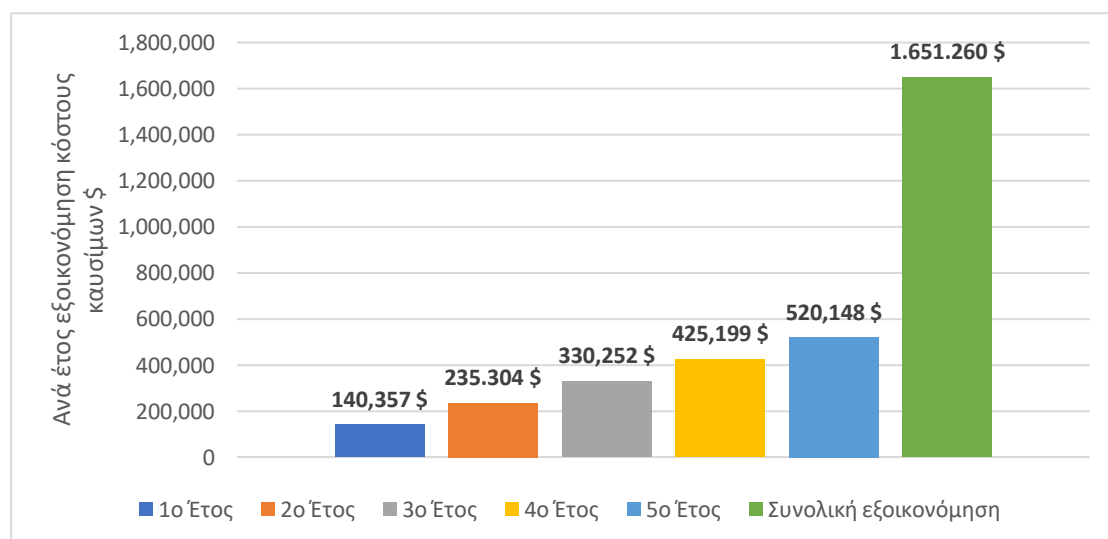
Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

- στους είκοσι τέσσερις μήνες διαπιστώνεται διαφορά προστιθέμενης ισχύος της τάξεως του 4,6 % μεταξύ των δύο χρωμάτων
- στους τριάντα έξι μήνες διαπιστώνεται διαφορά προστιθέμενης ισχύος της τάξεως του 5,8 % μεταξύ των δύο χρωμάτων
- στους σαράντα οχτώ μήνες διαπιστώνεται διαφορά προστιθέμενης ισχύος της τάξεως του 7 % μεταξύ των δύο χρωμάτων
- στο τέλος της πενταετίας διαπιστώνεται συνολική διαφορά προστιθέμενης ισχύος της τάξεως του 8 % μεταξύ των δύο χρωμάτων

Από τις παραπάνω διαπιστώσεις παρατηρείται μια αρκετά μεγάλη διαφορά προστιθέμενης ισχύος στο τέλος του πρώτου χρόνου (3,4 %) συγκριτικά με τις διαφορές στα τέλη των επομένων ετών όπου καταγράφεται μια μέση αύξηση ισχύος της τάξεως του 1,2% κατ' έτος. Αυτό εξηγείται από το μεγάλο αρχικό "κέρδος ισχύος" κατά τη διάρκεια του πρώτου χρόνου εφαρμογής των FRC χρωμάτων (2,2 % συγκριτικά με τα SPC χρώματα), λόγω της εξαιρετικά λείας επιφάνειας – σε σύγκριση με οποιοδήποτε άλλο τύπο χρώματος – η οποία προκύπτει μετά από την ορθή εφαρμογή των συγκεκριμένων χρωμάτων.

Εξετάζοντας την ανά έτος (εξαιρώντας το πρώτο έτος για τους προαναφερθέντες λόγους) αύξηση απαιτούμενης ισχύος για κάθε σύστημα χρωμάτων παρατηρείται μια κατά προσέγγιση σταθερή αύξηση της τάξεως του 1,2 % για τα FRC και του 2,4 % για τα SPC χρώματα τα οποία μεταφράζονται σε απώλειες ταχύτητας της τάξεως του 0,4 % και 0,8 % αντίστοιχα.

Όπως προαναφέρθηκε, η αρχική ημερήσια μέση κατανάλωση καυσίμου του πλοίου ανέρχεται στους είκοσι εννέα τόνους. Με την επιχειρησιακή δραστηριότητά του να κυμαίνεται στο 60 % και με την τιμή του πετρελαίου χαμηλής περιεκτικότητας θείου να ανέρχεται στα 650 \$/ τόνο την περίοδο που βρισκόταν σε εξέλιξη η παρούσα μελέτη, προκύπτει ότι το αναμενόμενο συνολικό κόστος σε βάθος πενταετίας καυσίμων ανέρχεται στα 20.640.750 \$. Αφού λοιπόν στο τέλος της πενταετίας η συνολική διαφορά προστιθέμενης ισχύος ανέρχεται στο 8 %, προκύπτει μια εξοικονόμηση καυσίμου της τάξεως του 1.651.260 \$. Στην παρακάτω απεικόνιση παρουσιάζεται με χρήση ραβδογραμμάτων η ανά έτος εξοικονόμηση καυσίμου:



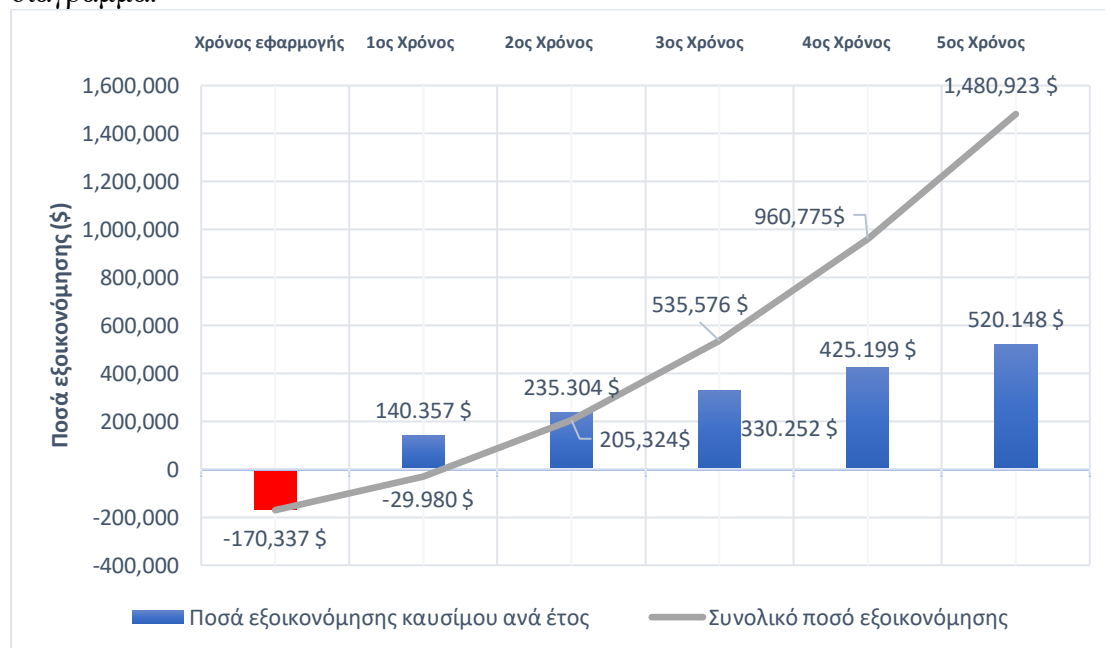
Πίνακας 2.11 Ανά έτος εξοικονόμηση καυσίμου αναλόγως τύπου υφαλοχρωμάτων.

Έτσι λοιπόν το τελικό κόστος κατανάλωσης καυσίμου υπολογίζεται σε 18.989.490 \$.



2.3.5 Μελέτη περίπτωσης από επενδυτικής απόψεως.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για κάθε ναυτιλιακή εταιρία, το θέμα του δεξαμενισμού, των εργασιών που πρόκειται να αναληφθούν και κατ' επέκταση το κόστος αυτών, αντιμετωπίζεται ως μια μορφή επένδυσης. Από αυτή την οπτική γωνία και θεωρώντας δεδομένο ότι το βασικότερο στοιχείο που απασχολεί έναν επενδυτή είναι ο χρόνος αποπληρωμής των χρημάτων που θα επενδύσει, παρακάτω συνοψίζονται όλα τα κόστη αλλά και οι εξοικονομήσεις που επιτυγχάνονται αποτυπωμένα σε ένα κοινό διάγραμμα.



Πίνακας 2.12 Κόστη και εξοικονομήσεις ανά έτος εφαρμογής.

Στις μπλε στήλες του παραπάνω διαγράμματος αποτυπώνεται το ποσό εξοικονόμησης καυσίμου. Στο έτος εφαρμογής (κόκκινη αρνητική ράβδος) απεικονίζεται το συνολικό απαιτούμενο κόστος για την αναβάθμιση του υφαλοχρώματος σε FRC. Στην γκρι καμπύλη απεικονίζεται η "εξέλιξη" του συνολικού ποσού εξοικονόμησης το οποίο προκύπτει από το ποσό εξοικονόμησης καυσίμου αθροιστικά μετά παρέλευσης κάθε έτους, αφαιρώντας το ποσό που επενδύθηκε για την βαφή της γάστρας. Παρατηρώντας το διάγραμμα, γίνεται αντιληπτό ότι κατά τη διάρκεια του δεύτερου έτους, έχει γίνει απόσβεση του ποσού που "επενδύθηκε" (return of investment) για την εφαρμογή των FRC χρωμάτων. Από εκείνο το σημείο και έπειτα διαπιστώνονται κέρδη με το σύνολο αυτών στο τέλος της πενταετίας να ανέρχεται κατά προσέγγιση στο ποσό των 1.480.293 \$.

2.3.6 Μελέτη περίπτωσης σχετικά με τη συμμόρφωση επί των κανονισμών.

Μία από τις μεγαλύτερες σύγχρονες προκλήσεις είναι αυτή της προστασίας του περιβάλλοντος. Η σταδιακή απανθρακοποίηση και η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσω υιοθέτησης βιώσιμων (sustainable) μεθόδων / λύσεων, αποτελεί ένα τεράστιο κεφάλαιο για την παγκόσμια ναυτιλία. Η αναζήτηση νέων ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών, επενδυτικά ελκυστικές και με σύντομο χρονικό



διάστημα αποπληρωμής είναι συνεχής και σε ενεστότα χρόνο ιδιαίτερος έντονη. Αναφορικά με τα σύγχρονα συστήματα υφαλοχρωματισμού, αναγνωρίζονται ως τεχνολογία ενεργειακής απόδοσης Κατηγορίας Α σύμφωνα με τα αναφερόμενα στον οδηγό περί υπολογισμού των δεικτών EEDI και EEXI του IMO.

Innovative Energy Efficiency Technologies				
Reduction of Main Engine Power			Reduction of Auxiliary Power	
Category A	Category B-1	Category B-2	Category C-1	Category C-2
Cannot be separated from overall performance of the vessel	Can be treated separately from the overall performance of the vessel		Effective at all time	Depending on ambient environment
	$f_{eff} = 1$	$f_{eff} < 1$	$f_{eff} = 1$	$f_{eff} < 1$
<ul style="list-style-type: none"> - low friction coating - bare optimization - rudder resistance - propeller design 	<ul style="list-style-type: none"> - hull air lubrication system (air cavity via air injection to reduce ship resistance) (can be switched off) 	<ul style="list-style-type: none"> - wind assistance (sails, Flettner-Rotors, kites) 	<ul style="list-style-type: none"> - waste heat recovery system (exhaust gas heat recovery and conversion to electric power) 	<ul style="list-style-type: none"> - photovoltaic cells

Εικόνα 2.4 Κατηγοριοποίηση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών.

Πηγή: Guidance on treatment of innovative energy efficiency technologies for calculation and verification of the attained eedi and eexi, IMO MEPC.1/Circ.896

Στην Κατηγορία Α εντάσσονται οι τεχνολογίες οι οποίες επιδρούν στην καμπύλη ισχύος αλλάζοντας το συνδυασμό ισχύος-ταχύτητας. Όταν δηλαδή παραμένει σταθερή η ισχύς, αυξάνεται η ταχύτητα και αντίστοιχα όταν παραμένει σταθερή η ταχύτητα τότε μειώνεται η ισχύς.

Σύμφωνα με μελέτη της κλάσης ABS που αφορά στις τάσεις λύσεων βιωσιμότητας για την κατηγορία των Tankers, τα σιλικονούχα (FRC) υφαλοχρώματα αποτελούν μία από τις καλύτερες επενδύσεις σε ενεργειακά αποδοτικές νέες τεχνολογίες όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα. Παρουσιάζει μεν ένα μεγάλο επενδυτικό κόστος, αλλά καταγράφει εξοικονομήσεις της τάξεως του 6 % με ταυτόχρονη σύντομη επιστροφή αρχικού κεφαλαίου όπως αποδείχθηκε και παραπάνω.



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

Energy Efficiency Technologies			
	CLAIMED SAVINGS	COST – ESTIMATED CAPEX	ROI
Rudder Surf Bulb	5%	MODERATE	< 36 months
Rudder Surf Fins	1%	MODERATE	< 132 months
PBCF	1-3%	MODERATE	< 14 months
Contra Rotating Propeller (CRP)	3%	MODERATE	< 132 months
Mewis Duct	3-7%	MODERATE	< 14 months
Propeller Duct	3%	MODERATE	< 24 months
Wake Equalizing Ducts	2%	MODERATE	< 18 months
Pres-Swirl Fins	2%	MODERATE	< 30 months
Silicon Anti-Fouling Paints	6%	HIGH	< 9 months
Air Lubrication	4%	HIGH Estimated capex: ± \$2 Million (M) - 3 M (estimate based on an aframax design)	< 60 months
De-rated ME	<6%	LOW	< 60 months
Part Load Optimization	3%	MODERATE	N/A
Turbocharger Cut-Out	3.5%	NO	N/A

Εικόνα 2.4 Τάσεις λύσεων βιωσιμότητας για την κατηγορία των Tankers
Πηγή: Tankers sustainability trends κλάσης ABS

Σε αυτό το πλαίσιο, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) θέσπισε διάφορους δείκτες οι οποίοι χρησιμεύουν στην "ενεργειακή ταυτότητα" ενός πλοίου. Ο Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Υπάρχοντος Πλοίου (EEXI) και ο Δείκτης Έντασης Άνθρακα είναι δύο από αυτούς και οι οποίοι πρόκειται να μελετηθούν παρακάτω.

2.3.6.1 Μελέτη περίπτωσης σχετικά με τον δείκτη CII.

Ο δείκτης CII θεσπίστηκε για την ποσοτικοποίηση του αποτυπώματος ενός πλοίου στη ρύπανση του περιβάλλοντος. Αποτελεί μέτρο το οποίο απευθύνεται στη διαχείριση και τον επιχειρησιακά αποδοτικότερο χειρισμό του πλοίου. Συγκρίνει τις εκπομπές άνθρακα με την προσφορά του συγκεκριμένου πλοίου η οποία εκφράζεται με τη μεταφορά προϊόντων. Άρα λοιπόν γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι πρόκειται για ένα δείκτη άμεσα συσχετισμένο με την κατανάλωση καυσίμου.

Αρχικά και με βάση τον τύπο του υπό μελέτη πλοίου, θα πρέπει να ορισθεί ο CII αναφοράς (CIIref).



Calculation of CII_{Ref}

Ship Type		Capacity	a	c
Bulk Carrier	DWT \geq 279,000	279,000	4745	0.622
	DWT < 279,000	DWT	4745	0.622
Gas Carrier	DWT \geq 65,000	DWT	144050000000	2.071
	DWT < 65,000	DWT	8104	0.639
Tanker		DWT	5247	0.61
Container ship		DWT	1984	0.489
General cargo ship	DWT \geq 20,000	DWT	31948	0.792
	DWT < 20,000	DWT	588	0.3885
Refrigerated cargo carrier		DWT	4600	0.557
Combination carrier		DWT	40853	0.812
LNG Carrier	DWT \geq 100,000	DWT	9.827	0
	100,000 > DWT \geq 65,000	DWT	14479000000000	2.673
	DWT < 65,000	65,000	14479000000000	2.673
Ro-ro cargo ship (VC)		GT	5739	0.631
Ro-ro cargo ship		DWT	10952	0.637
Ro-ro passenger ship		GT	7540	0.587
Cruise passenger ship		GT	930	0.383

Εικόνα 2.5 Τρόπος υπολογισμού CII_{Ref}

Πηγή: [The CII \(Carbon Intensity Indicator\) explained in 6 minutes \(nautilusshipping.com\)](http://nautilusshipping.com)

Εφαρμόζοντας τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα στον τύπο

$CII_{Ref} = a * Capacity^{-c}$, προκύπτει $CII_{Ref} = 7,49$ δηλαδή Κατηγορίας C (κίτρινη κατηγορία)

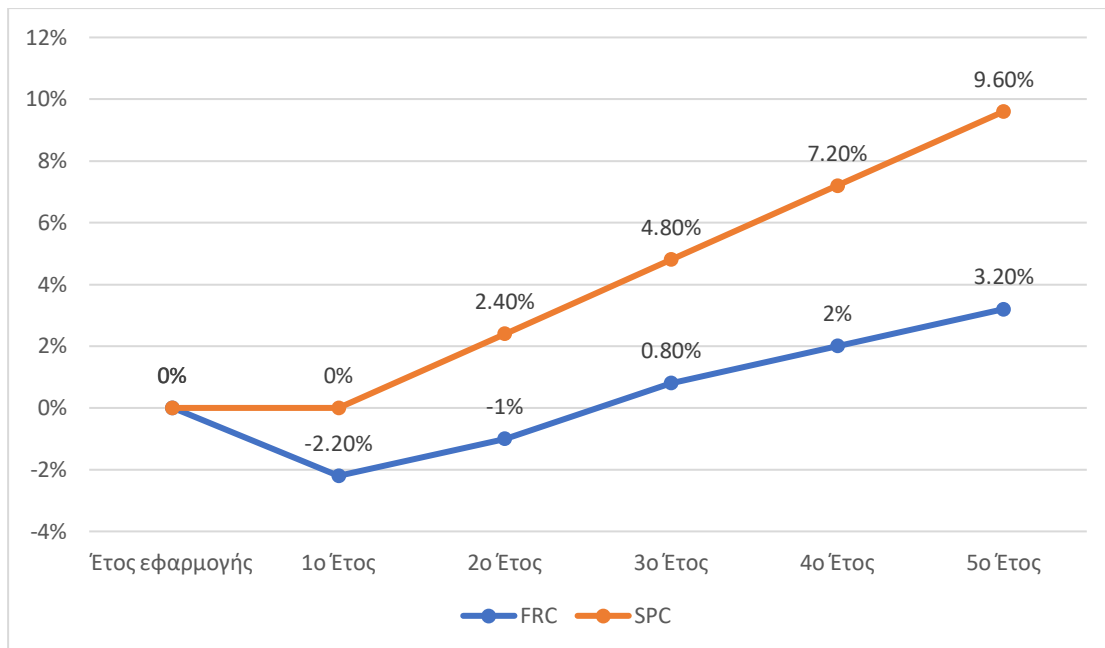
Αναφορικά με τη συγκεκριμένη περίπτωση και λαμβάνοντας υπόψη:

- το "αρχικό κέρδος ισχύος" του 2,2 % λόγω της ιδιαίτερως λείας επιφάνειας των FRC χρωμάτων μειώνει άμεσα το επιτευχθέν (attained) δείκτη CII,
- η ανά έτος αύξηση ισχύος των FRC χρωμάτων είναι της τάξεως του 1,2 %,
- την ανά έτος αύξηση ισχύος της τάξεως του 2,4 % για τα SPC χρώματα,
- την άμεση συνάρτηση του δείκτη CII με την κατανάλωση καυσίμου και κατ' επέκταση με την απαιτούμενη ισχύ,
- την ανά έτος επανεκτίμηση του δείκτη CII με χρήση δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου προηγούμενου έτους,

εκπονήθηκε το παρακάτω διάγραμμα για την καλύτερη απεικόνιση της επίδρασης των δύο συστημάτων υφαλοχρωματισμού στο Δείκτη Έντασης Άνθρακα



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.



Πίνακας 2.13 Ετήσια % διαφοροποίηση CII σε σχέση με το CII ref

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να παρατεθούν οι ακόλουθοι υποδείκτες του CII καθώς και ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται:

- απαιτούμενος CII (CIIreq) ο οποίος προκύπτει από τον τύπο

$$CIIreq = CIIref * \left[\frac{100 - Z}{100} \right]$$

όπου Z ο παράγοντας μείωσης ο οποίος ανέρχεται σε 5% το πρώτο έτος και 2% για έκαστο από τα υπόλοιπα έτη.

- επιτευχθείς CII (attained CII) ο οποίος στην παρούσα μελέτη θα προκύπτει με χρήση των ποσοστών του παραπάνω διαγράμματος.
- βαθμός CII (CII rating) ο οποίος προκύπτει από τον τύπο

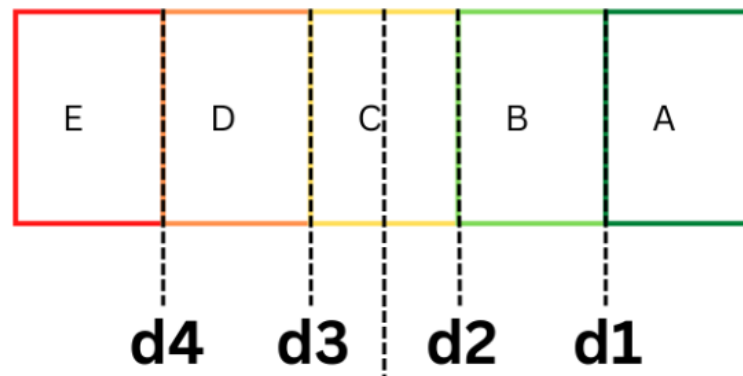
$$CII\ rating = \frac{CII\ attained}{CII\ req}$$

και με τη χρήση του παρακάτω πίνακα κατηγοριοποιείται το πλοίο αναλόγως του τύπου του.



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

Ship Type		d1	d2	d3	d4
Bulk Carrier		0.86	0.94	1.06	1.18
Gas Carrier	DWT ≥ 65,000	0.81	0.91	1.12	1.44
	DWT < 65,000	0.85	0.95	1.06	1.25
Tanker		0.82	0.93	1.08	1.28
Container ship		0.83	0.94	1.07	1.19
General cargo ship		0.83	0.94	1.06	1.19
Refrigerated cargo carrier		0.78	0.91	1.07	1.2
Combination carrier		0.87	0.96	1.06	1.14
LNG Carrier	DWT ≥ 100,000	0.89	0.98	1.06	1.13
	DWT <100,000	0.78	0.92	1.1	1.37
Ro-ro cargo ship (VC)		0.86	0.94	1.06	1.16
Ro-ro cargo ship		0.66	0.9	1.11	1.37
Ro-ro passenger ship		0.72	0.9	1.12	1.41
Cruise passenger ship		0.87	0.95	1.06	1.16



Εικόνα 2.5 Τρόπος κατηγοριοποίησης πλοίου αναλόγως CII rating

Πηγή: [The CII \(Carbon Intensity Indicator\) explained in 6 minutes \(nautilusshipping.com\)](https://www.nautilusshipping.com)



Συνοψίζοντας την επίδραση των παραπάνω ποσοστών στη μεταβολή του CII προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

	Έτος εφαρμογής	1ο Έτος	2ο Έτος	3ο Έτος	4ο Έτος	5ο Έτος
CII _{req}		7,1155	6,9657	6,8159	6,6661	6,5163
FRC CII _{att}	7,49	7,32 (C)	7,4151(C)	7,55(D)	7,6398(D)	7,7297(D)
FRC CII _{rat}		1,028	1,064	1,1077	1,146	1,1862
SPC CII _{att}	7,49	7,49	7,6698	7,8495	8,0293	8,209
SPC CII _{rat}		1 (C)	1,101(D)	1,1516(D)	1,204(D)	1,2597 (D)

Πίνακας 2.14 Μεταβλητότητα του CII

Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνουμε ότι ναι μεν ο δείκτης CII αυξάνεται και στα δύο είδη χρωμάτων, αλλά στην περίπτωση των FRC χρωμάτων αυξάνεται με πιο αργό ρυθμό. Αυτό επιβεβαιώνεται στο 2 ο έτος όπου υποβαθμίζεται νωρίτερα η κατηγορία στην οποία θα ενταχθεί το πλοίο μετά από εφαρμογή SPC χρωμάτων και ενισχύεται από το ότι στο 5 ο έτος φαίνεται να παραμένει (υπολείπεται κατά 0,02) οριακά στην κατηγορία E.

2.3.6.2 Μελέτη περίπτωσης σχετικά με τον δείκτη EEXI.

Ο EEXI αποτελεί μέτρο το οποίο απευθύνεται περισσότερο σε τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου. Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να παρατεθούν οι ακόλουθοι υποδείκτες του EEXI καθώς και ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται:

- επιτευχθείς (attained) EEXI ο οποίος υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο

$$EEXI [g/ton \cdot mile] = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) + \left\{ \left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{nEFF} f_{EFF(i)} \cdot P_{AEFF(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right\} - \left(\sum_{i=1}^{nEFF} f_{EFF(i)} \cdot P_{EFF(i)} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref}}$$

ή απλούστερα

$$EEXI = \frac{\text{Συντελεστής μετατροπής CO2} * \text{SFC} * \text{Ισχύς}}{\text{Χωρητικότητα} * \text{Ταχύτητα αναφοράς}}$$

όπου

Συντελεστής Μετατροπής CO2 για το υπό μελέτη καύσιμο (LSFO) : 3,114

SFC: λόγω απώλειας στοιχείων λαμβάνεται ως SFC=190 g/kwh συμφώνως ANNEX 7 MEPC.333(76) παράγραφος 2.2.4 του IMO



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

Ισχύς: το 75 % της MCR ήτοι 6435 kw

Χωρητικότητα: 46.210

Ταχύτητα αναφοράς: λόγω απώλειας στοιχείων υπολογίζεται η V_{ref} με βάση τα αναφερόμενα σε ANNEX 7 MEPC.333(76) παράγραφος 2.2.3.5 του IMO.

Μέσω του τύπου $V_{ref} = (V_{ref\ avg} - mv) * \left[\frac{\Sigma PME}{0,75 * MCR_{avg}} \right]$ όπου

$V_{ref\ avg} = A * B^C$, $MCR_{avg} = D * E^F$ και $mv = 5\% * V_{ref\ avg}$
Με τους όρους A,B,C,D,E και F να προκύπτουν από τους παρακάτω πίνακες για τον τύπου του υπό μελέτη πλοίου,

Parameters to calculate $V_{ref,avg}$

Ship type	A	B	C
Bulk carrier	10,6585	DWT of the ship	0,02706
Gas carrier	7,4462	DWT of the ship	0,07604
Tanker	8,1358	DWT of the ship	0,05383
Containership	3,2395	DWT of the ship where DWT ≤ 80,000 80,000 where DWT > 80,000	0,18294
General cargo ship	2,4538	DWT of the ship	0,18832
Refrigerated cargo carrier	1,0600	DWT of the ship	0,31518
Combination carrier	8,1391	DWT of the ship	0,05378
LNG carrier	11,0536	DWT of the ship	0,05030
Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)	16,6773	DWT of the ship	0,01802
Ro-ro cargo ship	8,0793	DWT of the ship	0,09123
Ro-ro passenger ship	4,1140	DWT of the ship	0,19863
Cruise passenger ship having non-conventional propulsion	5,1240	GT of the ship	0,12714

Parameters to calculate MCR_{avg} or MPP_{avg} (= D x E^F)

Ship type	D	E	F
Bulk carrier	23,7510	DWT of the ship	0,54087
Gas carrier	21,4704	DWT of the ship	0,59522
Tanker	22,8415	DWT of the ship	0,55826
Containership	0,5042	DWT of the ship where DWT ≤ 95,000 95,000 where DWT > 95,000	1,03046
General cargo ship	0,8816	DWT of the ship	0,92050
Refrigerated cargo carrier	0,0272	DWT of the ship	1,38634
Combination carrier	22,8536	DWT of the ship	0,55820
LNG carrier	20,7096	DWT of the ship	0,63477
Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)	262,7693	DWT of the ship	0,39973
Ro-ro cargo ship	37,7708	DWT of the ship	0,63450
Ro-ro passenger ship	9,1338	DWT of the ship	0,91116
Cruise passenger ship having non-conventional propulsion	1,3550	GT of the ship	0,88664

Εικόνα 2.6 Τρόπος υπολογισμού $V_{ref\ avg}$ και MCR_{avg} .

Πηγή: Παρουσιάσεις Δρ. Ε.Παριώτη Σχολή Ναυτικών Δοκίμων

προκύπτει ότι

EEXI attained = 6,12



Κοφινάς Παναγιώτης
Σύγχρονα συστήματα βαφής πλοίων για την προστασία γάστρας
και έλικας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου.

- απαιτούμενος (required) EEXI ο οποίος υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο

$$EEXI_{req} = \left(1 - \frac{X}{100}\right) * EEDI_{ref}$$

όπου X ένας συντελεστής μείωσης ο οποίος προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα και ισούται με 20 για το υπό μελέτη πλοίο.

IMO's new Short-term measures: Required EEXI		
Type of ship	Size	Reduction factor (X) %
Bulk carrier	200,000 DWT and above	15
	20,000 - 200,000 DWT	20
	10,000 - 20,000 DWT	0 - 20 *
Gas carrier	15,000 DWT and above	30
	10,000 - 15,000 DWT	20
	2,000 - 10,000 DWT	0 - 20 *
Tanker	200,000 DWT and above	15
	20,000 - 200,000 DWT	20
	4,000 - 20,000 DWT	0 - 20 *
Containership	200,000 DWT and above	50
	120,000 - 200,000 DWT	45
	80,000 - 120,000 DWT	35
	40,000 - 80,000 DWT	30
	15,000 - 40,000 DWT	20
	10,000 - 15,000 DWT	0 - 20 *

Εικόνα 2.7 Τρόπος υπολογισμού $EEXI_{req}$

Πηγή: Παρουσιάσεις Δρ. Ε.Παριώτη Σχολή Ναυτικών Δοκίμων

όπως προκύπτει από τον παρακάτω τύπο που αφορά το υπό μελέτη πλοίο

$$EEDI_{ref} = 1218,80 * DWT^{-0.488} = 6,44$$

προκύπτει λοιπόν ότι $EEXI_{req} = 0,8 * 6,44 = 5,16$

Για να επιτευχθεί ο παραπάνω επιθυμητός EEXI θα πρέπει επιβληθεί ένας επιπλέον περιορισμός ισχύος (Engine Power Limitation) της τάξεως του 15 %, δηλαδή η τελική MCR να διαμορφωθεί στο 60 % . Η παραπάνω απαίτηση περαιτέρω μείωσης ισχύος κατά 15 % "μεταφράζεται" σε περαιτέρω μείωση ταχύτητας κατά 5 % επί της V_{ref} , ήτοι 12,7 knots (μείωση κατά 0,67 knots). Οπότε η νέα V_{ref} μετά εφαρμογής του EPL θα κυμαίνεται στους 12,7 knots με σκοπό να επιτευχθεί ο απαιτούμενος EEXI (5,16).



Ανατρέχοντας στα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη το "αρχικό κέρδος ισχύος" για τα FRC χρώματα (λόγω της εξαιρετικά λείας επιφάνειας μετά εφαρμογής τους) που ανέρχεται σε 2,2 % , προκύπτει ένα "κέρδος ταχύτητας" της τάξεως του 0,73%. Έχουμε λοιπόν μια νέα $V_{ref} = 12,9$ knots. Αντικαθιστώντας στον τύπο εύρεσης του επιτευχθέντος EEXI τα δεδομένα της νέας V_{ref} και της νέας μικρότερης μείωσης ισχύος (εξαιτίας του αρχικού κέρδους) προκύπτει ότι:

$EEXI_{attained_{FRC}}=4,92$, δηλαδή χαμηλότερος ακόμα και από τον $EEXI_{required}$ το οποίο είναι αναμενόμενο για τους λόγους που αναφέρονται στην ανωτέρω παράγραφο 2.3.5.

3. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε τα σύγχρονα συστήματα βαφής σε συνδυασμό με την οπτική των ναυτιλιακών εταιριών αναφορικά με την "επένδυση ή μή" σε ένα state of the art υφαλόχρωμα. Προέκυψαν λοιπόν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η συνεχής και δυστυχώς ασταμάτητη αύξηση της θερμοκρασίας των θαλασσών λόγω της κλιματικής αλλαγής, έχει δημιουργήσει τις κατάλληλες προϋποθέσεις έναρξης και ανάπτυξης βιορύπανσης στα ύφαλα των πλοίων, με ταχύτερους ρυθμούς.
- Υφίσταται ένας μεγάλος αριθμός μελετών όπου μέσω πειραμάτων και επιστημονικών προσεγγίσεων, προσεγγίζουν τη μέθοδο πρόβλεψης του ρυθμού αύξησης της τραχύτητας της γάστρας λόγω ανάπτυξης βιορύπανσης και κατ' επέκταση την επίδραση στην ταχύτητα του πλοίου. Στον αντίποδα, αυτό που προκύπτει είναι ότι η πολυετής και ανά τακτά χρονικά διαστήματα καταγραφή στοιχείων από τα πλοία (ταχύτητα, κατανάλωση καυσίμου, αποτελέσματα υποβρυχίων ελέγχων κατάστασης υφάλων, θερμοκρασίες θαλάσσης κ.α) σε συνδυασμό με το επιχειρησιακό προφίλ τους, αποτελούν την ασφαλέστερη μέθοδο μοντελοποίησης του εν λόγω ρυθμού.
- Τα FRC υφαλοχρώματα κρίνονται αποδοτικότερα από τα SPC ακόμα και για χαμηλές ταχύτητες της τάξεως των 12-13 knots. Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση καυσίμου της τάξεως του 8 % σε βάθος πενταετίας όπως προκύπτει από τη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης όπου προέκυψε ότι περίπου 1,5 εκατομμύριο δολάρια καυσίμου εξοικονομήθηκαν.
- Το κόστος πρόσκτησης και εφαρμογής των FRC υφαλοχρωμάτων είναι αρκετά υψηλότερο από το αντίστοιχο των SPC. Στην μελέτη περίπτωσης που έλαβε χώρα, καταγράφηκε μια συνολική διαφορά της τάξεως των 170 χιλιάδων δολλαρίων, ποσό ικανό για να αποδοθεί στην εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας χρωμάτων ο χαρακτηρισμός της επένδυσης για την εκάστοτε ναυτιλιακή εταιρία.



- Τα FRC υφαλοχρώματα οδηγούν στην επίτευξη ενός αρχικά καλύτερου δείκτη έντασης άνθρακα (CII) ο οποίος ναι μεν θα αυξάνεται αλλά με πιο αργό ρυθμό συγκριτικά με τα SPC υφαλοχρώματα. Όπως προέκυψε και στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης το πλοίο ξεκίνησε με χαμηλότερο CII (7,32 για τα FRC έναντι 7,49 για τα SPC) και κατέληξε σε αρκετά χαμηλότερο δείκτη μετά παρέλευση πενταετίας (7,73 για τα FRC έναντι 8,2 για τα SPC).
- Κατά τη διάρκεια του αρχικού χρονικού διαστήματος εφαρμογής των FRC χρωμάτων, παρατηρείται ένα αρχικό κέρδος ταχύτητας λόγω της εξαιρετικά λείας επιφάνειας σε σχέση με αυτή που προκύπτει μετά εφαρμογής SPC χρωμάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη Vref αυξημένης κατά 0,73 % - όπως προέκυψε και από τη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης – γεγονός το οποίο έχει θετικό αντίκτυπο στο δείκτη EEXI. Και αυτό γιατί επιτυγχάνεται το επιθυμητό EEXI (EEXI req) εφαρμόζοντας χαμηλότερο EPL.
- Πέραν όλων των παραπάνω πλεονεκτημάτων των FRC υφαλοχρωμάτων έναντι των SPC, τα πρώτα καταλαμβάνουν εμφανώς μικρότερο ποσοστό της αντίστοιχης αγοράς καθόσον το ενδεχόμενο της μη αναμενόμενης απόδοσης των συγκεκριμένων χρωμάτων λόγω της ευαισθησίας τους στις μηχανικές καταπονήσεις, καθώς και η γενικότερη αβεβαιότητα των ναυλαγορών, καθιστούν τη συγκεκριμένη επένδυση ως ιδιαίτερος υψηλού ρίσκου και επαφίεται στην στρατηγική της εταιρίας (asset play ή επιχειρησιακά αποτελεσματικός στόλος) η ανάληψη ή μη αυτού.

Βιβλιογραφία

1. Principles of naval architecture, Second Revision, vol.1 (1988)
2. Σημειώσεις Ναυπηγίας II, Σταμάτης Τσελεμάρκος (1999)
3. The effects of corrosion and fouling on the performance of ocean-going vessels: a naval architectural perspective, T.Munk, D. Kane, D.M Yebra (2009)
4. An assessment of the ship drag penalty arising from light calcareous tubeworm fouling J. P. Monty, E. Dogan, R. Hanson, A. J. Scardino, B. Ganapathisubramani & N. Hutchins.
5. The influence of biofilm on skin friction drag, M.P Schultz και G.W Swain
6. Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering, M.P Schultz
7. Economic impact of biofouling on a naval surface ship, M.P Schultz
8. Απαίτηση ταχύτητας, Υπολογισμός απαιτούμενης ισχύος, Υπολογισμός αντίστασης, Πλωτάρχης (Μ) Γ. Γκουγκουλίδης Π.Ν
9. Foul release systems and drag, M. Candries και C. D. Anderson (2001)



10. Estimating the impact of new-generation antifoulings on ship performance: the presence of slime, M. Candries και C. D. Anderson
11. Hull Roughness Penalty Calculator: The economic importanse of hull condition, International Marine Coatings
12. Experimental determination of added hydrodynamic resistance caused by marine biofouling on ships, Osman Turan, Yigit Kemal Demirel, Sandy Day, Tahsin Tezdogan.(2016)
13. Predicting the effect of biofouling on ship resistance using CFD, Yigit Kemal Demirel, Osman Turan, Atilla Incecik (2017)
14. Effect of barnacle fouling on ship resistance and powering, Yigit Kemal Demirel, Dogancan Uzun, Yansheng Zhang, Ho-Chun Fang, Alexander H. Day και Osman Turan (2017)
15. Investigating the effect of biofouling on propeller characteristics using CFD, David Owen, Yigit Kemal Demirel, Elif Oguz, Tahsin Tezdogan και Atilla Incecik (2018)
16. Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings, Diego Meseguer Yebra, Soren Kiil, Kim Dam-Johansen (2004)
17. Antifouling processes and toxicity effects of antifouling paints on marine environment. A review, Intissar Amara, Wafa Miled, Rihab Ben Slama και Neji Ladhari
18. Ecological risk assessment of copper and cadmium in surface waters of chesapeake bay watershed, Lenwood W., Hall, Jr., Mark C. Scott, και William D. Killen (1998).
19. Ecotoxicity of organic and organo-metallic antifouling co-biocides and implications for environmental hazard and risk assessments in aquatic ecosystems, Martins, SE, Fillmann, G, Lillicrap, A & Thomas (2018)
20. Large Accumulation of Micro-sized Synthetic Polymer Particles in the Sea Surface Microlayer, Young Kyoung Song, Sang Hee Hong, Mi Jang, Jung-Hoon Kang, Oh Youn Kwon, Gi Myung Han και Won Joon Shim (2018)