

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**



**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΩΝ**

**στην**

**ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

**«ΟΙ ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ  
ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΑ  
ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΥΦΑΛΟΧΡΩΜΑΤΩΝ»**

Αρβανίτη Μαρία

Διπλωματική εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην Ναυτιλία

Πειραιάς

Απρίλιος 2012

**Copyright© Αρβανίτη Μαρία, 2012.**

**Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.**

Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη 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 του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

## Σελίδα τριμελούς εξεταστικής επιτροπής

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από την ΓΣΕΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Τζαννάτος Ερνέστος (Επιβλέπων)
- Τσελεπίδης Αναστάσιος
- Τσελέντης Βασίλειος

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα.

## Πρόλογος και ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των σπουδών μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα στη Ναυτιλία του Πανεπιστημίου Πειραιά. Με την ολοκλήρωσή της, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους με στήριξαν και μου συμπαραστάθηκαν προκειμένου να ολοκληρώσω με επιτυχία τις σπουδές μου.

Ειδικότερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Κύριο Τζαννάτο Ερνέστο , που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα και να καταλάβω την αξία που έχει ο τομέας του περιβάλλοντος σε σχέση με την ανάπτυξη της Ναυτιλίας ιδιαίτερα στην εποχή που διανύουμε. Καθώς και για τις πληροφορίες που μου παρείχε κατά την διάρκεια της συγγραφής της εργασίας μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για την συμπαράσταση και την υπομονή που έδειξαν όλο αυτό το διάστημα.

Αρβανίτη Μαρία

Πειραιάς, Απρίλιος 2012

# Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή .....	1
2. Επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στη ναυτιλία.....	5
2.1 Γενικές επιδράσεις στη ναυτιλία .....	5
2.1.1 Άνοδος της στάθμης των θαλασσών .....	5
2.1.2 Αύξηση της συχνότητας, διάρκειας και έντασης των τυφώνων.....	5
2.1.3 Δυνατότητα αρκτικών πλόων ως συνέπεια της υποχώρησης των πάγων .....	6
2.2 Αύξηση των μικροοργανισμών λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας των θαλασσών 10	
2.2.1 Υπερθέρμανση των ωκεανών .....	10
2.2.2 Αύξηση των μικροοργανισμών που ρυπαίνουν τα ύφαλα των πλοίων .....	10
3. Υφαλοχρώματα και απόδοση γάστρας του πλοίου.....	12
3.1 Ιδιότητες των υφαλοχρωμάτων .....	14
3.2 Χρήση των υφαλοχρωμάτων .....	22
3.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υφαλοχρωμάτων .....	25
3.4 Ταχύτητες/κόστος .....	30
3.5 Κατανάλωση.....	37
3.6 Επίδραση θερμοκρασίας θαλασσών στην απόδοση της γάστρας.....	53
4. Συμπεράσματα .....	59
5. Βιβλιογραφία .....	62

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Τοξικότητα του TBT σε διάφορους θαλάσσιους οργανισμούς και συγκεντρώσεις που ανιχνεύτηκαν σ' αυτούς.....	28
Πίνακας 2. Τοξικότητα του Diuron σε διάφορους οργανισμούς.....	30
Πίνακας 3. Επίδραση της κατάστασης των υφάλων στην κατανάλωση καυσίμου (για container 7000 TEU).....	31
Πίνακας 4. Είδη υφαλοχρωμάτων.....	36
Πίνακας 5. Αποτελέσματα των μετρήσεων της μικροτραχύτητας των επιφανειών (Rz η τραχύτητα 10 σημείων, Ra ο μέσος όρος τραχύτητας).....	37
Πίνακας 6. Εποχιακές μεταβολές της βιομάζας εποίκισμου στους σταθμούς δειγματοληψίας στη διώρυγα του Σουέζ, από το φθινόπωρο του 2002 μέχρι το καλοκαίρι του 2003, με εύρος θερμοκρασίας θαλασσινού νερού 17.56 έως 30.70 °C.....	56

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας τα τελευταία 1000 χρόνια στο Βόρειο Ημισφαίριο.....	3
Σχήμα 2. Μεταβολή της θερμοκρασίας του πλανήτη από το 1760 έως το 2100.....	3
Σχήμα 3. Κύριες οδοί θαλασσίου εμπορίου .....	8
Σχήμα 4. Μελλοντικές οδοί θαλασσίου εμπορίου .....	8
Σχήμα 5. Συγκριτική παρουσίαση των οδών Β. Θάλασσας – Σουέζ.....	9
Σχήμα 6. Ο διάδρομος Ατλαντικού-Αρκτικού-Ειρηνικού.....	9
Σχήμα 7. Συντακτικοί τύποι και χημικές ονομασίες των βιοκτόνων ουσιών που χρησιμοποιούνται στα υφαλοχρώματα νέας γενιάς.....	18
Σχήμα 8. Drydocking, fouling και τραχύτητα συναρτήσεως του χρόνου.....	32
Σχήμα 9. Φυσική και βιολογική τραχύτητα.....	42
Σχήμα 10. Παραδείγματα τρόπων με τους οποίους η κατάσταση των επικαλύψεων επηρεάζει την τραχύτητα των υφάλων.....	43
Σχήμα 11. Η τυπική αύξηση της χρήσης καυσίμου για τη διατήρηση της ταχύτητας του σκάφους, σε σχέση με την αυξανόμενη τραχύτητα.....	44
Σχήμα 12. Η τυπική μείωση της ταχύτητας του σκάφους αυξανόμενης της τραχύτητας.....	44
Σχήμα 13: Εκτιμώμενη αύξηση στην ισχύ που απαιτείται/τα καύσιμα που χρειάζονται για ένα τυπικό Container λόγω της αυξανόμενης φυσικής τραχύτητας των υφάλων, για διαφορετικούς τύπους υφαλοχρωμάτων, σε συνάρτηση του χρόνου.....	47
Σχήμα 14. Αύξηση της τραχύτητας ανάλογα με το είδος των οργανισμών (λάσπη, φύκη, όστρακα).....	48
Σχήμα 15: Κατανάλωση καυσίμου σε όμοια σκάφη Container με επικαλύψεις υφαλοχρώματος CDP και SPC.....	49
Σχήμα 16. Συνολική % αύξηση ισχύος/καυσίμου για τυπικό Container σε συνάρτηση με το χρόνο για διαφορετικούς τύπους υφαλοχρωμάτων – κάθετες πλευρές.....	50
Σχήμα 17. Συνολική % αύξηση ισχύος/καυσίμου για τυπικό Container σε συνάρτηση με το χρόνο για διαφορετικούς τύπους υφαλοχρωμάτων – επίπεδος πυθμένας.....	51
Σχήμα 18. Στατική βύθιση επιφανειών (Lewis, 2008).....	52
Σχήμα 19. Επιφάνειες μετά από περιστροφή μετά τη στατική βύθιση.....	52
Σχήμα 20. Απόδοση των τεχνολογιών υφαλοχρωμάτων CDP, SPC σε συνάρτηση με το κόστος.....	53
Σχήμα 21. Απεικόνιση του ταξιδιού Πειραιάς – Σιγκαπούρη.....	58

## Σκοπός και περίληψη της εργασίας

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα φαινόμενο που λαμβάνει πλέον μεγάλες διαστάσεις, και του οποίου η παρουσία γίνεται όλο και περισσότερο αισθητή στην εποχή μας, μέσω καιρικών μεταβολών και ακραίων καιρικών φαινομένων (τυφώνες, καταγίδες, πλημμύρες), καθώς και μέσω της διαρκούς ανόδου της στάθμης της θάλασσας, λόγω της θερμικής διαστολής του νερού και λόγω του λιώσιματος των παγετώνων. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα και οι τυφώνες αποτελούν δυσμενείς επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής ιδιαίτερα στον τομέα της ναυτιλίας. Σημαντικό κομμάτι της κλιματικής αλλαγής είναι και η υπερθέρμανση του πλανήτη, και κατ' επέκταση των χερσαίων αλλά και των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Η αύξηση της θερμοκρασίας των θαλασσών, εκτός από τη θερμική διαστολή του νερού και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, επηρεάζει την ανάπτυξη των θαλασσίων μικροοργανισμών, είτε φυτικών, είτε ζωικών. Στο πλαίσιο αυτό, επηρεάζει και την απόδοση των υφαλοχρωμάτων, αφού περισσότεροι μικροοργανισμοί θα συγκεντρώνονται στη γάστρα των πλοίων και θα μειώνουν περισσότερο την απόδοσή της. Στην εργασία αυτή περιγράφονται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη ναυτιλία, τόσο γενικότερα, όσο και ειδικότερα σε σχέση με τους μικροοργανισμούς, συζητώνται οι ιδιότητες, οι χρήσεις και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υφαλοχρωμάτων, καθώς και η επίδρασή τους στη γάστρα των πλοίων (ταχύτητες/κόστος, κατανάλωση, drydocking,) και στη συνέχεια πραγματοποιείται παρουσίαση της επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας στην απόδοση της γάστρας των πλοίων με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία και συγκεκριμένα έρευνες που αφορούν τα υφαλοχρώματα.

**Λέξεις-κλειδιά:** κλιματική αλλαγή, υφαλοχρώματα, κατανάλωση καυσίμου



## **Abstract and aim of the study**

Nowadays, climate change is a phenomenon whose presence becomes more and more apparent. It is manifested by the disruption of existing weather patterns and extreme events (typhoons, storms, floods), but also by the continuous rise in sea level due to the thermal expansion of water and the melting of glaciers. Extreme events and typhoons are significant adverse effects of climate change especially in the naval sector. Overheating of the planet is another important factor of climate change, for terrestrial and marine systems. Increase of sea temperature, in addition to thermal expansion and sea level rise, also affects the growth of marine organisms, both plants and animals. It also affects the effectiveness of antifouling coatings, since more microorganisms will tend to grow on the ship hull, further decreasing its effectiveness. In the present study, the effects of climate change on the naval sector are described, both in general terms and more specifically in relation to microorganisms. The properties, uses and environmental impact of marine antifouling coatings are discussed, as well as their effectiveness on the hull (velocities/costs, consumption, drydocking) under the increasing temperature regime of the world oceans.

**Keywords:** climate change, antifouling coatings, fuel consumption

# 1. Εισαγωγή

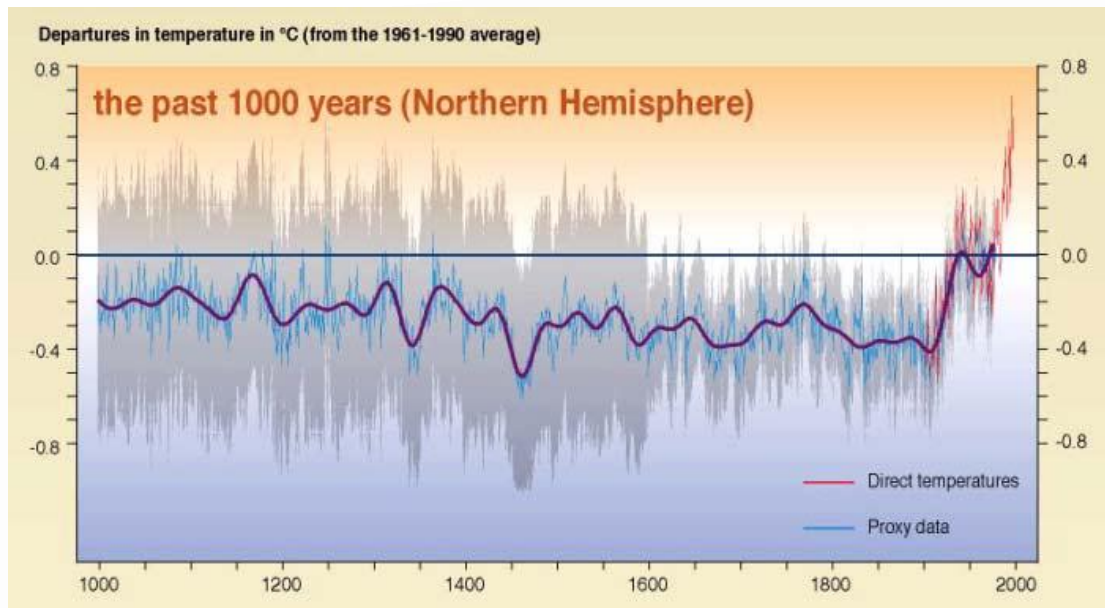
Η κλιματική αλλαγή είναι ένα ζήτημα που απασχολεί τη διεθνή επιστημονική κοινότητα όλο και περισσότερο σε παγκόσμια κλίμακα, καθώς έχουν αρχίσει να γίνονται εμφανείς οι αρνητικές του συνέπειες στην εποχή μας. Τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει έξαρση των περιβαλλοντικών προβλημάτων παγκοσμίως, που ενισχύονται από τη ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, την ολοένα και μεγαλύτερη συγκέντρωσή του στα αστικά κέντρα, την αλματώδη βιομηχανική ανάπτυξη και χρήση φυσικών πόρων, καθώς και την άνοδο του βιοτικού επιπέδου. Λόγω της εντατικής ανθρώπινης δραστηριότητας, αστικής, βιομηχανικής, μεταφορών, αυξάνονται ραγδαία τα αέρια που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, με κυριότερα το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και το όζον ( $\text{O}_3$ ). Τα αέρια αυτά, καθώς και άλλοι ρύποι της ατμόσφαιρας εκπέμπονται, μεταξύ άλλων, και από τα πλοία. Οι σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), τα οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), τα αιωρούμενα σωματίδια, και οι πτητικές οργανικές ενώσεις. Οι ουσίες αυτές έχουν δυσμενείς επιδράσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Στη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (MARPOL 73/78) προβλέπεται η μείωση των εκπομπών από τα πλοία. Νέες τεχνολογίες και μέθοδοι επίσης συμβάλλουν στην επίτευξη της μείωσης αυτής (Ραμαντάνης, 2009).

Εκτός από τα περιβαλλοντικά προβλήματα και τη ρύπανση, σε παγκόσμιο επίπεδο παρατηρούνται, με αυξανόμενο ρυθμό, σημαντικές οικονομικές καταστροφές λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως καταρρακτώδεις βροχές, πλημμύρες, ή αντίθετα παρατεταμένη ξηρασία, ανομβρία. (Zinyowera, et al., 2001; Bell et al., 2002; Ganoulis, 2003). Η συχνότητα, ένταση και διάρκεια των τυφώνων γίνεται όλο και μεγαλύτερη, επηρεάζοντας δυσμενώς τη ναυτιλία. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα μπορεί να επιφέρουν υλικές απώλειες, τραυματισμούς και απώλειες ανθρώπινης ζωής. (ΥΠΕΠΘ, 2000; WWF, 2000; Παπανικολάου και Διακάκης, 2011; Eissa and Zaki, 2011) (Paw and Thia-Eng, 1991; Purvis et al., 2008; Nicholls, 2002; Λέκκας, 2005). Τα ακραία καιρικά φαινόμενα διαρκούν για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα και είναι συνήθως τοπικής κλίμακας, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να εκτιμηθεί σε ποιο βαθμό αυτά σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή (Βερβέρογλου, 20005; Μπάκου, 2009). Ωστόσο, μεγάλος αριθμός επιστημονικών ερευνών υποστηρίζει ότι η

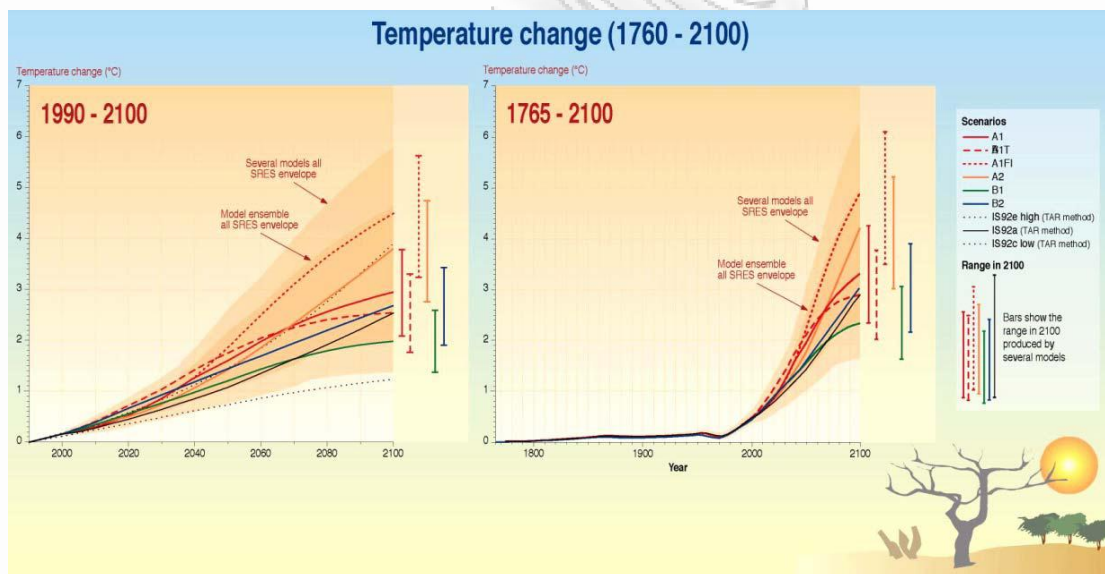
αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος είναι ήδη γεγονός, ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, δηλαδή το φαινόμενο της θέρμανσης της ατμόσφαιρας, και κατ' επέκταση της γης, που παρατηρείται στη γη θεωρείται πως έχει ενισχυθεί σημαντικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και συγκεκριμένα από την αυξημένη χρήση ορυκτών καυσίμων και τις αυξημένες εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα (Tao and Zhang, 2011; Karakurt et al., 2012). Η γη δέχεται συνολικά ηλιακή ακτινοβολία, με παροχή περίπου  $1366 \text{ W/m}^2$ , στο όριο της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος αυτής της ακτινοβολίας απορροφάται από το σύστημα γης-ατμόσφαιρας, ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα. Από την εισερχόμενη ακτινοβολία, ένα ποσοστό 30% περίπου ανακλάται, ενώ το υπόλοιπο 70% απορροφάται, κατά 16% από την ατμόσφαιρα (συμπεριλαμβανομένου και του στρατοσφαιρικού στρώματος του όζοντος), κατά 3% από τα νέφη και κατά το μεγαλύτερο ποσοστό (51%) από την επιφάνεια και τους ωκεανούς. Το αποτέλεσμα του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας, γεγονός που επιτρέπει τη ζωή στη γη. Χωρίς το «φυσικό» φαινόμενο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας θα ήταν σε παγκόσμια και ετήσια βάση, περίπου  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ωστόσο η περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας έχει επιπτώσεις, όπως ακραία καιρικά φαινόμενα, και άνοδο της στάθμης της θάλασσας, καθώς και την αλλαγή στις ισορροπίες των πληθυσμών, και των μικροοργανισμών, στην ξηρά και στη θάλασσα.

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα και γενικότερα οι δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αφορούν σε μεγάλο βαθμό την παράκτια ζώνη και τις δραστηριότητες που σχετίζονται με αυτή, όπως η ναυτιλία. Επηρεάζουν μεγάλο αριθμό ανθρώπων, καθώς πάνω από το 60% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε απόσταση μικρότερη των 60 χιλιομέτρων από κάποια ακτή. Στον αιώνα που διανύουμε, εκτιμάται ότι 100 εκατομμύρια άνθρωποι θα κινδυνεύουν ετησίως από πλημμύρα σε παράκτιες ζώνες (κυρίως Μπαγκλαντές, Ινδονησία, Κίνα, Αίγυπτος), ενώ το 25% των παράκτιων υγρότοπων ανά τον κόσμο θα χαθούν μόνιμα.



Σχήμα 1. Διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας τα τελευταία 1000 χρόνια στο Βόρειο Ημισφαίριο (Πηγή: IPCC 2001)



Σχήμα 2. Μεταβολή της θερμοκρασίας του πλανήτη από το 1760 έως το 2100 (Πηγή: IPCC 2001)

Η Ελλάδα, που με το πλήθος νησιών της διαθέτει τη μεγαλύτερη ακτογραμμή στην Ευρώπη, στην οποία λαμβάνουν χώρα πολλές δραστηριότητες, είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα χώρας που θα επηρεαστεί άμεσα από την κλιματική αλλαγή. Εκτός από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων στην παράκτια ζώνη, λόγω της αλλαγής της θερμοκρασίας στην επιφάνεια των νερών της θάλασσας, άλλες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι ο

μόνιμος κατακλυσμός των παράκτιων εκτάσεων και τη μετακίνηση των ζωνών αιγιαλού και παραλίας και η παράκτια διάβρωση από αυξημένες κυματικές καταγίδες. Κίνδυνοι αναμένεται να υπάρχουν για τη ναυσιπλοΐα, από σκοπέλους και βραχονησίδες που ενδεχομένως να καλυφθούν από νερό. Ωστόσο η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει και θετικά τη ναυτιλία, καθώς θα προκύψουν νέες θαλάσσιες οδοί, και δυνατότητα αρκτικών πλόων, ως συνέπεια της υποχώρησης των πάγων (Ραμαντάνης, 2009).

Η υπερθέρμανση του πλανήτη και κατ' επέκταση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων επιδρά αρνητικά στη ναυτιλία, σε ό,τι αφορά την αυξημένη ανάπτυξη των θαλασσίων μικροοργανισμών στα ύφαλα των πλοίων. Ειδικότερα, η αύξηση της θερμοκρασίας των θαλασσών επηρεάζει την απόδοση των υφαλοχρωμάτων, αφού περισσότεροι μικροοργανισμοί θα συγκεντρώνονται στη γάστρα των πλοίων και θα μειώνουν περισσότερο την απόδοσή της σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας. Η εργασία αυτή έχει ως στόχο τη διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη ναυτιλία, τόσο γενικότερα, όσο και ειδικότερα σε σχέση με τους μικροοργανισμούς. Επιμέρους στόχοι είναι η παρουσίαση των ιδιοτήτων, χρήσεων και περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υφαλοχρωμάτων, καθώς και η διερεύνηση της επίδρασής τους στη γάστρα των πλοίων, ως προς τις ταχύτητες, το κόστος και την κατανάλωση καυσίμου. Η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας στην απόδοση της γάστρας των πλοίων διερευνήθηκε με βάση την σχετική υπάρχουσα βιβλιογραφία και συγκεκριμένα με βάση έρευνες που αφορούν τα υφαλοχρώματα.

Στο Κεφάλαιο 2 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στη ναυτιλία (γενικές επιδράσεις, άνοδος της στάθμης των θαλασσών, αύξηση της συχνότητας, διάρκειας και έντασης των τυφώνων) και η αύξηση των μικροοργανισμών λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας των θαλασσών (υπερθέρμανση των ωκεανών, αύξηση των μικροοργανισμών που ρυπαίνουν τα ύφαλα των πλοίων). Στο Κεφάλαιο 3 αναλύονται τα υφαλοχρώματα και η απόδοση της γάστρας του πλοίου (ιδιότητες, χρήσεις και επιπτώσεις των υφαλοχρωμάτων) και η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας των θαλασσών στις ταχύτητες, το κόστος, την κατανάλωση καυσίμου και γενικότερα της απόδοσης της γάστρας σε σχέση με τα υφαλοχρώματα. Τέλος στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

## **2. Επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στη ναυτιλία**

### **2.1 Γενικές επιδράσεις στη ναυτιλία**

#### **2.1.1 Άνοδος της στάθμης των θαλασσών**

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας αναμένεται να έχει δυσμενείς επιπτώσεις σε πολλά επίπεδα. Άμεση επίπτωση θα ήταν η καταστροφή των παράκτιων οικισμών (Δρίτσας, 2002). Ιδιαίτερο πρόβλημα θα αντιμετωπίσουν οι χώρες του τρίτου κόσμου λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής προστατευτικών έργων αλλά και όλες οι παραθαλάσσιες μεγαλουπόλεις εξ' αιτίας της δυσκολίας μετακίνησης του τεράστιου αριθμού ανθρώπων που κατοικούν σε αυτές, δεδομένου ότι πρόκειται για περίπου το μισό του παγκόσμιου πληθυσμού. Κίνδυνοι υπάρχουν επίσης για τη ναυσιπλοΐα από σκοπέλους και βραχονησίδες που ενδεχομένως να καλυφθούν από νερό, αλλά και παρόμοια προβλήματα σε πολλά μικρά νησιά που χρησιμοποιούνται είτε ως θέρετρα, είτε ως επιστημονικοί σταθμοί ή στρατιωτικές βάσεις (Υφαντόπουλος και Μητράκος, 2011; Nicholls and Lowe, 2004).

#### **2.1.2 Αύξηση της συχνότητας, διάρκειας και έντασης των τυφώνων**

Έρευνα του Emanuel (2005) έδειξε ότι η πιθανή καταστροφικότητα των τυφώνων, η οποία είναι ένα μέτρο που συνδυάζει τη δύναμη, διάρκεια, και συχνότητα των τυφώνων παρουσιάζει μεγάλη συσχέτιση με την τροπική θερμοκρασία επιφάνειας θάλασσας και προβλέπει ότι θα υπάρξει ουσιαστική αύξηση των επιπτώσεων των τυφώνων στο άμεσο μέλλον (Emanuel, 2005).

Αλλά και οι Webster et al. (2005), οι οποίοι διερεύνησαν τις αλλαγές στον τροπικό αριθμό κυκλώνων, καθώς και στη διάρκεια και την έντασή τους κατά τη διάρκεια των τελευταίων 35 ετών, με χρήση δορυφορικών δεδομένων, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ενώ ο αριθμός κυκλώνων μειώθηκε σε όλες τις λεκάνες εκτός από το Βόρειο Ατλαντικό κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας, υπάρχει μια μεγάλη αύξηση στον αριθμό και το ποσοστό των τυφώνων που φθάνουν στις κατηγορίες 4

και 5. Αυτό σημαίνει ότι παρά τη μείωση του συνολικού αριθμού των κυκλώνων, παρουσιάστηκε αύξηση της έντασής τους (Webster et al., 2005).

Και οι δύο παραπάνω έρευνες υποστηρίζουν πως είναι πιθανό η παγκόσμια θέρμανση να επιτείνει αυτά τα φαινόμενα, γεγονός που αναμένεται να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στη ναυτιλία.

### **2.1.3 Δυνατότητα αρκτικών πλόων ως συνέπεια της υποχώρησης των πάγων**

Πέρα από τις αρνητικές επιπτώσεις στη ναυτιλία, που αναφέρθηκαν στις παραπάνω παραγράφους, οι κλιματικές αλλαγές φαίνεται να έχουν και μία θετική πλευρά από την άποψη της ναυτιλίας: τη δημιουργία νέων θαλασσιών οδών (Αγγελής, 2011).

Καθώς εξελίσσεται το φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη και των ωκεανών, σταδιακά ο Βόρειος Αρκτικός Ωκεανός γίνεται μια θάλασσα πλεύσιμη και ανοιχτή στη ναυσιπλοΐα. Το στρώμα πάγου γίνεται λεπτότερο, και έτσι θα επιτρέπει τη διέλευση των πλοίων (Borgerson, 2008).

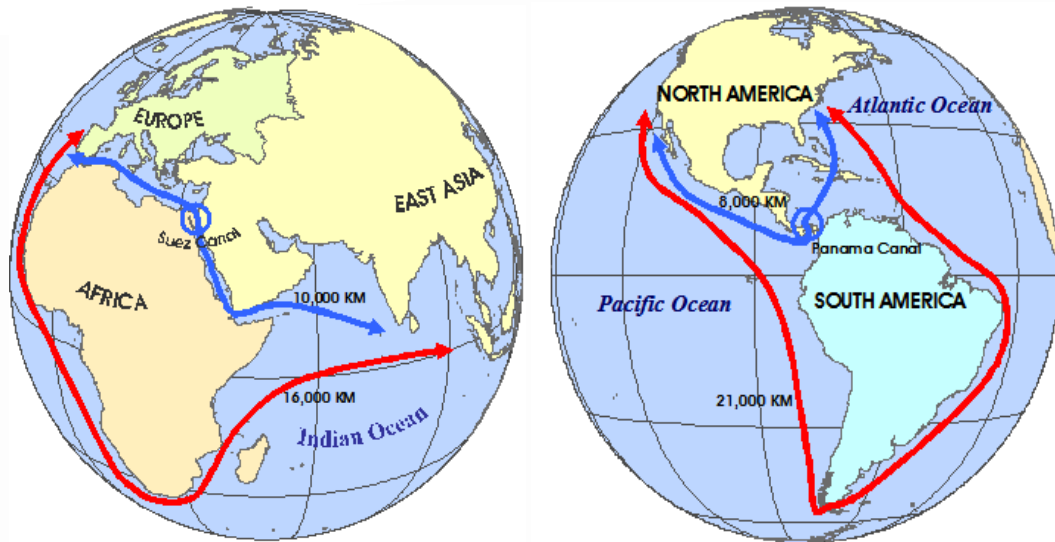
Στη Βόρεια Αμερική οι μέσες θερμοκρασίες τον χειμώνα έχουν αυξηθεί κατά 2°C τα τελευταία 60 χρόνια. Οι συνέπειες του φαινομένου είναι πιο έντονες στην Αρκτική λόγω της πιο έντονης κλίσης με την οποία οι ακτίνες του ήλιου χτυπούν την βόρεια πολική περιοχή το καλοκαίρι, καθώς και λόγω του γεγονότος ότι η θάλασσα που παίρνει τη θέση των πάγων μπορεί να απορροφά μεγαλύτερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι η διαδικασία υποχώρησης των πάγων και υπερθέρμανσης επιταχύνεται. Αν η υποχώρηση των πάγων μέσω αυτής της διαδικασίας συνεχιστεί, θα υπάρξουν σημαντικές επιδράσεις στις παγκόσμιες μεταφορές, ενώ ταυτόχρονα οι γραμμές συγκοινωνιών που θα ανοιχτούν θα κάνουν διαθέσιμες νέες πηγές ενέργειας. Αρκτικές περιοχές, όπου υπάρχουν αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου θα βγουν από την απομόνωση. Τα μεγαλύτερα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου στην Αρκτική βρίσκονται στην περιοχή κοντά στα ανοιχτά των ακτών της Ρωσίας και εκτιμώνται σε 586 δις βαρέλια πετρελαίου, ενώ στη Σαουδική Αραβία το αντίστοιχο γνωστό ποσό ανέρχεται σε μόλις 260 δις βαρέλια (Borgerson, 2008).

Υπάρχει προσπάθεια σε όλες τις γειτονικές χώρες για τη μελλοντική εκμετάλλευση της Αρκτικής, η οποία θα ανοιχτεί τόσο στον τομέα των συγκοινωνιών, όσο και στην ενεργειακή αγορά. Εκτός από τη Ρωσία, η Δανία και η Νορβηγία εγείρουν εδαφικές διεκδικήσεις, ενώ οι Καναδοί ναυπηγούν ειδικό στόλο για το ΒΔ Πέρασμα, το οποίο γίνεται και αυτό πλεύσιμο. Στη Ρωσία ήδη υπάρχει ένας σημαντικός στόλος 18 παγοθραυστικών, ενώ και η Κίνα συντηρεί 1 παγοθραυστικό. Οι ΗΠΑ, αν και διαθέτουν τον μεγαλύτερο εμπορικό και πολεμικό στόλο στον κόσμο, συντηρούν μόλις 1 παγοθραυστικό, παρά την γειτνίαση της Αλάσκας με τον Αρκτικό Ωκεανό (Borgerson, 2008).

Οι θετικές επιδράσεις που θα έχει η υποχώρηση των πάγων στον τομέα των ναυτιλιακών συγκοινωνιών αναμένεται να επεκταθούν και στον τρόπο με τον οποίο διεκπεραιωνόταν το εμπόριο μέχρι τώρα. Θα υπάρξει βελτίωση των θαλάσσιων διαδρομών, χρονική, χωρική, και οικονομική. Συγκεκριμένα, στο δυτικό ημισφαίριο ανοίγεται το Βορειοδυτικό Πέρασμα, που βρίσκεται στις βόρειες ακτές του Καναδά και ενώνει τον Ατλαντικό με τον Ειρηνικό ή αλλιώς την Ευρώπη με την Ασία. Αυτή η νέα διαδρομή που θα δημιουργηθεί είναι συντομότερη σχεδόν κατά 25% σε σχέση με την υπάρχουσα μέσω του Παναμά, ενώ συνεκτιμώντας τα διόδια και το συνωστισμό της διώρυγας, το όφελος γίνεται ακόμη μεγαλύτερο. Επίσης, η Βόρεια Αρκτική Διαδρομή, που βρίσκεται στα παράλια της αρκτικής Ρωσίας, θα ενώσει την Ευρώπη με την Άπω Ανατολή, με αποτέλεσμα να μειωθεί η απόσταση σχεδόν κατά 50% σε σχέση με το υπάρχον δρομολόγιο μέσω Μεσογείου, Σουέζ, Ινδικού και Θάλασσας της Κίνας (Borgerson, 2008) (Σχήματα 3-6).

Στο πλαίσιο των νέων αναγκών εκμετάλλευσης και ναυσιπλοΐας που θα προκύψουν, υπάρχουν ήδη ιδιωτικές εταιρίες που σχεδιάζουν και κατασκευάζουν καινούργια πλοία και καινούργιους τύπους πλοίων, όπως τα τάνκερ διπλής πλεύσης, τα οποία πλέουν στις θερμές θάλασσες συμβατικά και πρύμνα ως παγοθραυστικά. Η αύξηση της κινητικότητας στις περιοχές αυτές αναμένεται να συνεισφέρει σημαντικά στην ανάπτυξή τους, ενδεχομένως όμως θα αυξήσει και τις αντιπαλότητες για την εκμετάλλευση του Αρκτικού Κύκλου (Borgerson, 2008).

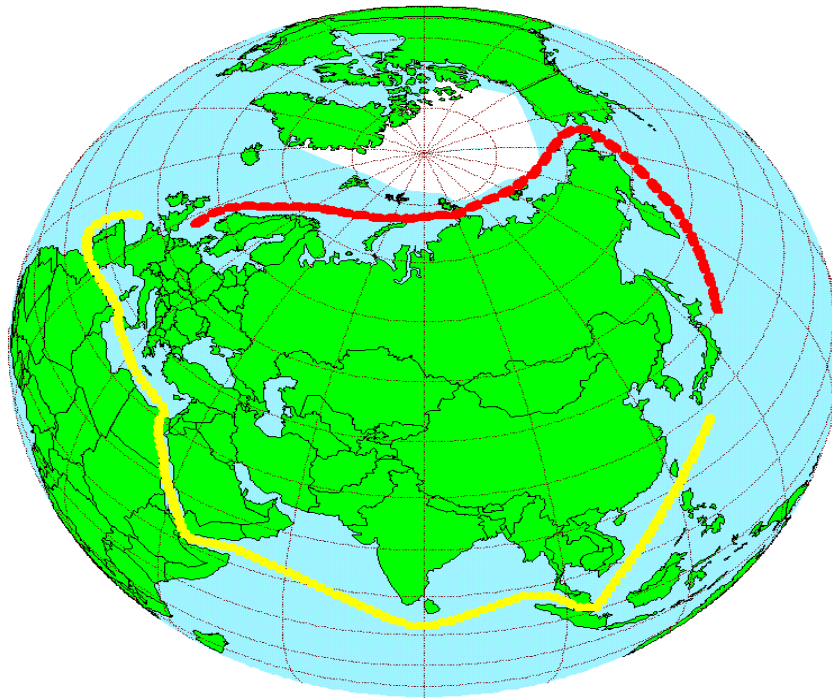




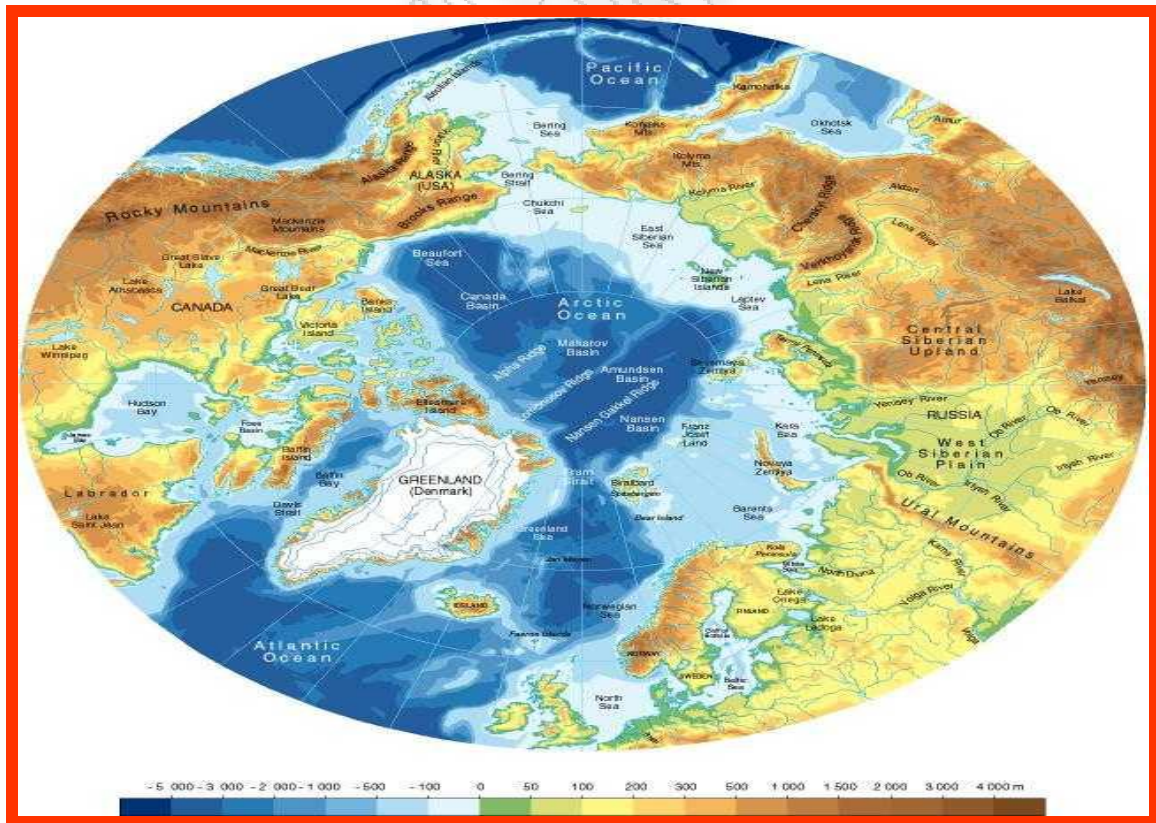
Σχήμα 3. Κύριες οδοί θαλασσίου εμπορίου (Πηγή: Gunnarsson)



Σχήμα 4. Μελλοντικές οδοί θαλασσίου εμπορίου (Πηγή: Gunnarsson)



Σχήμα 5. Συγκριτική παρουσίαση των οδών Β. Θάλασσας – Σουέζ  
(Πηγή: Gunnarsson)



Σχήμα 6. Ο διάδρομος Ατλαντικού-Αρκτικού-Ειρηνικού (Πηγή: Gunnarsson)

## **2.2 Αύξηση των μικροοργανισμών λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας των θαλασσών**

Μία άλλη πλευρά των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη ναυτιλία, είναι μέσω της παρουσίας των θαλάσσιων μικροοργανισμών στα ύφαλα των σκαφών. Η αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας που προκύπτει από την κλιματική αλλαγή και την υπερθέρμανση του πλανήτη ευνοεί την αύξηση των μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που ρυπαίνουν τα ύφαλα των πλοίων, επηρεάζοντας τους πληθυσμούς τους (ταχύτερη αναπαραγωγή), αλλά και τις περιοχές στις οποίες μπορούν να εμφανιστούν, καθώς με την αυξημένη θερμοκρασία ορισμένων περιοχών έχουν τη δυνατότητα μετανάστευσης εκεί και επιβίωσης, που δεν υπήρχε πριν.

### **2.2.1 Υπερθέρμανση των ωκεανών**

Τα θαλάσσια οικοσυστήματα είναι πολύ ευαίσθητα στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Εκτός από την αυξημένη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, πολύ σημαντική, είναι η επίδραση της μείωσης των πάγων στην αλλαγή του κλίματος. Καθώς οι πάγοι χαρακτηρίζονται από υψηλό ποσοστό ανακλαστικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας, η μείωσή τους θα αυξήσει την απορρόφηση αυτής της ακτινοβολίας συμβάλλοντας στην περαιτέρω θέρμανση της γης, και των ωκεανών. Παράλληλα, η αύξηση των υδάτινων μαζών θα μειώσει την ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα καθώς αυτό απορροφάται από τη θάλασσα. Πολύ μεγάλη είναι και η σημασία των ωκεάνιων ρευμάτων για την εξέλιξη του κλίματος, ρεύματα που δημιουργούνται ή μεταβάλλονται από την τήξη των πάγων (Cazenave and Nerem, 2004; Dawson et al., 2011).

### **2.2.2 Αύξηση των μικροοργανισμών που ρυπαίνουν τα ύφαλα των πλοίων**

Οι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί είναι μικροσκοπικοί μονοκύτταροι οργανισμοί που, σε μερικά είδη, σχηματίζουν νήματα ή αθροίσματα κυττάρων (θαλλούς). Το φυτοπλαγκτό είναι η βάση του θαλάσσιου οικοσυστήματος, καθώς μπορεί, μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, χρησιμοποιώντας ανόργανα άλατα (κυρίως νιτρικά και φωσφορικά), ηλιακή ακτινοβολία και διοξείδιο του άνθρακα, να παράγει οργανική ύλη, που αποτελεί την τροφή των οργανισμών όλων των επόμενων τροφικών επιπέδων. Στην περίπτωση αυξημένων θρεπτικών ή/και αυξημένης

ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και σε υψηλότερες θερμοκρασίες, μπορεί να υπάρξει πληθυσμιακή έκρηξη του φυτοπλαγκτού (bloom), δηλαδή απότομη αύξηση της συγκέντρωσης των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών στο θαλασσίνο νερό. Υπερβολικά μεγάλες συγκεντρώσεις φυτοπλαγκτού είναι δυνατόν να έχουν δυσμενείς συνέπειες, όπως υπερβολική παραγωγή δευτερογενών μεταβολιτών (τοξίνες) που μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα την δηλητηρίαση διαφόρων θαλάσσιων οργανισμών σε αρκετά εκτεταμένες περιοχές.

Τα τελευταία χρόνια, καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, ακόμη και στις ελληνικές θάλασσες έχει παρατηρηθεί σταδιακή αύξηση θερμόφιλων ειδών (κυρίως φυτοπλαγκτονικών οργανισμών και μεδουσών), αλλά και ιχθύων και άλλων υδρόβιων οργανισμών (Stafford et al., 2007). Τα είδη αυτά πιθανότατα ανταγωνίζονται τα “ενδημικά” είδη που απαντούν στις ελληνικές θάλασσες. Το γεγονός όμως ότι τα τελευταία χρόνια η εμφάνισή τους και η προς τις βόρειες περιοχές του Αιγαίου Πελάγους εξάπλωσή τους είναι ταχύτερη πιθανώς σχετίζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας των ελληνικών θαλασσών και τις κλιματικές μεταβολές που την προκαλούν (Pimentel et al., 2000, Pancucci-Papadopoulou et al., 2005, Minchin and Gollasch, 2003, Occhipinti-Ambrogi, 2007). Το φαινόμενο παρατηρείται γενικότερα στη Μεσόγειο, για παράδειγμα το είδος *Asterodinium* (γένος *Dinophyceae* που συναντάται σε θερμά νερά) (Gomez and Claustre, 2003). Το καλοκαίρι του 2005 και του 2006 άλλο ένα είδος του γένους *Dinophycean*, το *Ostreopsis armata*, παρουσίασε έξαρση προκαλώντας λοιμώξεις του αναπνευστικού σε τουρίστες (Occhipinti-Ambrogi, 2007). Η κλιματική αλλαγή έχει θεωρηθεί ως υπεύθυνη για την επέκταση του βιογεωγραφικού εύρους βενθικών και νηκτοβενθικών θαλασσιών ειδών στη Δυτική Μεσόγειο. (Francour et al., 1994, Vacchi et al., 1999, Bianchi and Morri, 2000, Laubier et al., 2004).

### 3. Υφαλοχρώματα

Τα υφαλοχρώματα είναι ουσίες που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των θαλασσιών οργανισμών που αναπτύσσονται στα ύφαλα των σκαφών, με αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην επιφάνεια των σκαφών (διάβρωση), όσο και στην υδροδυναμική συμπεριφορά τους (Diez et al., 2002, 2005, Dowson et al., 1992, 1996, Myers et al., 2006, Almeida et al., 2007, Piola et al., 2006, 2007, 2008). Για τον ίδιο λόγο τα υφαλοχρώματα χρησιμοποιούνται επίσης στις αποβάθρες, τα δίχτυα ψαρέματος και τους πλωτήρες.

Ο αποικισμός από μικροοργανισμούς είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει σε κάθε επιφάνεια στη θάλασσα, κινούμενη ή στατική, οποιουδήποτε υλικού. Το φαινόμενο αυτό είχε αντιμετωπιστεί από τα αρχαία χρόνια με τη χρήση διαφόρων τοξικών χημικών ουσιών, όπως ελάσματα χαλκού για την κάλυψη των υφάλων των σκαφών. Με τον τρόπο αυτό κατάφερναν να προστατεύσουν τα πλοία τους από τη διάβρωση και να εξασφαλίσουν μια ασφαλέστερη και ταχύτερη πλεύση (Bryan, 1971, Carruesco et al., 1986, Allen, 1953, Γιαννής και Γρηγορόπουλος, 2000).

Στη σημερινή εποχή γίνεται επίστρωση των υφάλων με χρώμα (υφαλόχρωμα) το οποίο απελευθερώνει στο νερό τοξικές ουσίες παρεμποδίζοντας έτσι την ανάπτυξη της θαλάσσιας πανίδας (barnacles, encrusting bryozoa, zebra mussels) και χλωρίδας (φυτοπλαγκτού και ανώτερων θαλάσσιων φυτικών οργανισμών) πάνω τους (Abd-Allah, 1995, Olsgard, 1999, Γιαννής και Γρηγορόπουλος, 2000, Brooks and Waldoock, 2009, Rivera-Duarte et al., 2005, Reichelt-Brushett and Harrison, 2000).

Οι ουσίες που βρήκαν την πιο εκτεταμένη εφαρμογή ως δραστικά στοιχεία των υφαλοχρωμάτων ήταν οι οργανομεταλλικές ενώσεις του κασσιτέρου (Organotin compounds), με κυριότερη τον τριβούτυλο κασσίτερο (TriButylTin - TBT). Το μειονέκτημα αυτών των ουσιών και ιδιαίτερα του TBT είναι ότι έχουν μεγάλη τοξικότητα τόσο στον άνθρωπο όσο και στους θαλάσσιους οργανισμούς (Alzieu et al., 1986, 1989, Iwata et al., 1995, Horiguchi et al., 1998, Amouroux et al., 2000, Garaventa et al., 2006, 2008). Οι αρνητικές επιπτώσεις των ουσιών αυτών στην ανθρώπινη υγεία, στο περιβάλλον και έμμεσα στην οικονομία, δημιούργησαν την ανάγκη αντικατάστασής τους από άλλες ουσίες, λιγότερο τοξικές. Αυτές οι ουσίες

είναι γνωστές ως υφαλοχρώματα “νέας γενιάς” στις οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως ενώσεις του χαλκού, συχνά σε συνδυασμό με ουσίες οι οποίες έχουν φυκοκτόνο δράση (Brownlee et al., 1992, AMBIO, 2008, Bryan et al., 1986, Dubey et al., 2003, Hernando et al., 2001, Sakkas et al., 2002).

Η επικάλυψη των υφάλων των πλοίων η οποία προκαλεί την ανάγκη χρήσης των υφαλοχρωμάτων οφείλεται στους παρακάτω παράγοντες (Sapozhnikova et al., 2007, Eguchi et al., 2010):

**Όστρακα:** οστρακοειδή όπως στρείδια και μύδια, απελευθερώνουν εκατομμύρια νεαρά άτομα ή κάμπιες στο νερό, που κινούνται τριγύρω με τη βοήθεια των θαλάσσιων ρευμάτων. Για να καταφέρουν τα νεαρά άτομα να προσλάβουν από το νερό τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται για να μεγαλώσουν, προσκολλώνται σε στατικά αντικείμενα, και στα κατά προτίμηση στα ύφαλα των σκαφών. Οι βάρκες, οι περισσότερες από τις οποίες παραμένουν στατικές κατά το 90 % του χρόνου πλεύσης τους, αποτελούν εξαιρετικά κατάλληλα υπόβαθρα για τη διατροφή τους.

**Θαλάσσια «ζιζάνια»:** Τα στατικά αντικείμενα ελκύουν επίσης τα διάφορα είδη θαλάσσιων ζιζανίων που υπάρχουν. Ο πληθυσμός των θαλάσσιων ζιζανίων μειώνεται όταν το σκάφος ξεκινά να ταξιδεύει, εκτός από τις περιπτώσεις ορισμένων ανθεκτικών ζιζανίων, όπως για παράδειγμα το Brown Weed, τα οποία παραμένουν πάνω στα ύφαλα ακόμα και όταν το σκάφος αναπτύξει μεγάλη ταχύτητα.

**Κολλώδες υγρό των φυκών:** Το υγρό αυτό προέρχεται από δισεκατομμύρια μονοκύτταρα φύκη και αποτελεί το θρεπτικό μέσο (medium) μέσα στο οποίο αποικίζουν. Τα ύφαλα των σκαφών παρέχουν ένα ιδανικό υπόβαθρο για περισσότερα φύκη. Έτσι η επικάλυψη από το κολλώδες υγρό συχνά καταλήγει να είναι ένα παχύ στρώμα στην επιφάνεια και παραμένει πάνω στα ύφαλα καθώς το σκάφος κινείται. Το κολλώδες υγρό είναι ένας τύπος επικάλυψης που απασχολεί ιδιαίτερα τους χημικούς των υφαλοχρωμάτων. Ο τύπος και το είδος της επικάλυψης των υφάλων εξαρτάται από την ποιότητα και τη θερμοκρασία των νερών και ποικίλει μεταξύ των διαφόρων περιοχών. Οι διαφορές στο είδος της επικάλυψης μπορεί να είναι δραματικές, ακόμα και σε μια μικρή περιοχή, εξαιτίας των εκροών, της ρύπανσης, των εισροών από τα ποτάμια και τους χείμαρρους, την ταχύτητα ροής του νερού,

ακόμα και της επισκίασης που δημιουργείται από τους βράχους, τα δέντρα και τα κτίρια τα οποία μειώνουν την ηλιακή ακτινοβολία.

### **3.1 Ιδιότητες των υφαλοχρωμάτων**

Οι ιδιότητες των υφαλοχρωμάτων εξαρτώνται από τις παρακάτω παραμέτρους (Atlas, 2008):

- τη συγκέντρωση της τοξικής ουσίας που περιέχουν
- το ρυθμό με τον οποίο διαχέεται η τοξική ουσία στο περιβάλλον
- το κατά πόσο μεταβολίζεται
- την ικανότητα βιοσυσσώρευσής της
- το συνδετικό μέσο (ρητίνη).

Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση της τοξικής ουσίας και όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός διάχυσής της στο περιβάλλον τόσο πιο δραστική θεωρείται.

Ο χρόνος ζωής του υφαλοχρώματος εξαρτάται από:

- την ποσότητα της τοξικής ουσίας
- το συνδετικό μέσο
- τις φυσικοχημικές συνθήκες του νερού
- την ταχύτητα του σκάφους
- τη συχνότητα χρήσης
- το πάχος του στρώματος του υφαλοχρώματος.

Στο εμπόριο, διατίθενται διάφορες κατηγορίες υφαλοχρωμάτων. Η διαφορά ανάμεσα στις κατηγορίες αυτές δεν εστιάζεται στην τοξική ουσία αλλά κυρίως στον τρόπο που αυτή απελευθερώνεται. Έτσι τα υφαλοχρώματα χωρίζονται σε συμβατικά (leaching antifoulings) και νέας τεχνολογίας (ablative antifoulings) (Λέκκας και Πλωμαρίτης, 1998, Anderson, 2003). Παρακάτω δίνονται πληροφορίες σχετικά με τις κατηγορίες αυτές των υφαλοχρωμάτων.

### ***Συμβατικά υφαλοχρώματα***

Τα συμβατικά υφαλοχρώματα δρουν μέσω της αργής διάχυσης των υδατοδιαλυτών τμημάτων τους, απελευθερώνοντας την τοξική ουσία στο νερό. Αφού διαλυθεί και απελευθερωθεί η τοξική ουσία στο νερό, στα ύφαλα του σκάφους παραμένει το μη υδατοδιαλυτό τμήμα του υφαλοχρώματος στο οποίο έχουν δημιουργηθεί μικρές κοιλότητες. Το νερό μπορεί πλέον να εισχωρήσει μέσα σε αυτές και να απελευθερώσει την τοξική ουσία που βρίσκεται στα βαθύτερα στρώματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διαλυθεί όλη η ποσότητα της δραστικής ουσίας που περιέχεται στο υφαλόχρωμα το οποίο εφαρμόστηκε στην επιφάνεια (Banning, 2004, Barakat et al., 2001, Clark et al., 1988, deMora et al., 1995, Kannan et al., 1996, 1997, 1999).

### ***Υφαλοχρώματα νέας τεχνολογίας***

Τα νέας τεχνολογίας υφαλοχρώματα, λειτουργούν ως ένα βαθμό όπως τα συμβατικά. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι σε αυτά συμβαίνει ελεγχόμενη διάβρωση του στρώματος του χρώματος. Αυτό επιτυγχάνεται με μηχανική διάλυση του συνδετικού μέσου και απελευθέρωση της τοξικής ουσίας στο νερό. Το τμήμα του συνδετικού μέσου που παραμένει δεν είναι αρκετά σταθερό και απομακρύνεται με την κίνηση του σκάφους, αφήνοντας μια νέα ενεργή επιφάνεια χρώματος. Μέσω της ελεγχόμενης διάβρωσης διατίθεται ανά πάσα στιγμή μια καινούρια επιφάνεια τοξικής ουσίας στους οργανισμούς, παρεμποδίζοντας έτσι την προσκόλλησή τους. Όταν απομακρυνθεί και το τελευταίο στρώμα, απαιτείται λείανση και εφαρμογή νέου στρώματος υφαλοχρώματος στο σκάφος. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι για τον ίδιο χρόνο ζωής, ένα υφαλόχρωμα νέας τεχνολογίας απαιτεί μικρότερη ποσότητα τοξικής ουσίας από ότι ένα συμβατικό (Walker et al., 1998).



### 3.1.1 Συμβατικά υφαλογρώματα

Οι οργανικές ενώσεις του κασσιτέρου έχουν γενικό τύπο  $R_nSnX(4-n)$ , όπου R είναι ένα αλκύλιο ή μια κυκλική ομάδα συνδεδεμένη με τον κασσίτερο με ισχυρό ομοιοπολικό δεσμό Sn – C, X είναι ένα ανιόν συνδεδεμένο με τον Sn με ετεροπολικό δεσμό, όπως αλογόνο, –OH, –OR', –SH, –SR', –OOCR', –OSnR3', –NR3', κ.ά., και το n κυμαίνεται από 1-4 (Φυτιάνος, 1996).

Οι κυριότερες οργανικές ενώσεις του κασσιτέρου που αποδεσμεύονται στο περιβάλλον είναι οι μονο-βούτυλο κασσίτερος, δι-βούτυλο κασσίτερος, τρι-βούτυλο κασσίτερος, τρι-φαίνυλο κασσίτερος, δι-μέθυλο κασσίτερος, τρι-κυκλοξέυλο κασσίτερος, δι-όκτυλο κασσίτερος. Το μεγάλο εύρος της τοξικότητάς τους εξαρτάται από τον αριθμό ή και τον χημικό τύπο της ομάδας R που είναι ενωμένη με τον κασσίτερο. Ελάχιστα παραδείγματα στα οποία ο κασσίτερος είναι δισθενής έχουν αναφερθεί, λόγω της πολύ μικρής πρακτικής εφαρμογής τους (Scammel et al., 1991, Φυτιάνος, 1996, Dafforn et al., 2008, 2009).

Η συνεχώς αυξανόμενη χρησιμοποίησή τους και η κατάληξή τους στο θαλάσσιο περιβάλλον, αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για τους θαλάσσιους οργανισμούς και τα θαλάσσια οικοσυστήματα, λόγω της μεγάλης τοξικότητά τους (Vaccaro et al., 1977, Callow et al., 1986, 1996, 2002, Toro et al., 2001, Hall et al., 1995, 1996, 1998, 2004). Για αυτό το λόγο οι οργανοκασσιτερικές ενώσεις περιέχονται στη λίστα προτεραιότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Οδηγία 2000/60). Μόλις οι TBT και TPhT απελευθερώνονται στο περιβάλλον, υφίστανται μια σειρά από φυσικο-χημικές διεργασίες, όπως βιοαποικοδόμηση, βιομεθυλίωση, απορρόφηση από σωματιδιακή ύλη ή εξάτμιση (Borghì and Porte, 2002, Boxall et al., 2000).

Ιδιαίτερα υψηλή τοξικότητα για το περιβάλλον έχουν τα παράγωγα των tributyl-, triphenyl-, και tricyclohexyltin, τα οποία έχουν υψηλή δράση έναντι των μυκήτων, βακτηρίων, φυκιών και ψειρών. Για το λόγο αυτό η χρήση TBT ως βιοκτόνο σε χρώματα για βαφές πλοίων, που γνώρισε ιδιαίτερη εφαρμογή τη δεκαετία 70-80, έχει περιοριστεί πλέον σημαντικά, και ελέγχεται ή απαγορεύτηκε σε πολλές χώρες (Abott et al., 2000, Choi et al., 2009).

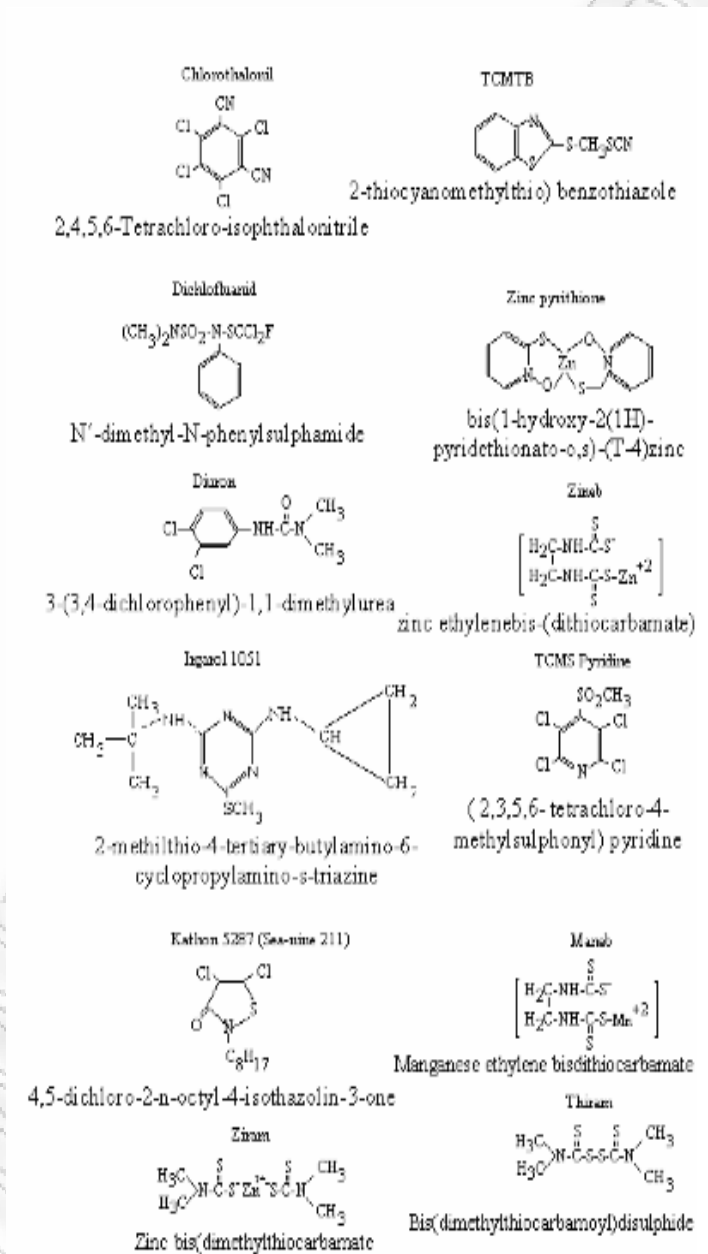
Ο triphenyltin (TPhT) χρησιμοποιείται ως συν-τοξικό με τον TBT σε ορισμένες βαφές, αλλά η κύρια χρήση του είναι ως μυκητοκτόνο στη γεωργία. Οι ενώσεις αυτές τελικά καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες από τις βαφές των πλοίων, καθώς επίσης και από τις απορροές των γεωργικών εκτάσεων. Ο tricyclohexyltin χρησιμοποιείται στα αγροτικά βιοκτόνα και ο di-n-octyltin χρησιμοποιείται ως σταθεροποιητής για περιτύλιγμα τροφών (Verschuere, 1996, Burton, 2004).

### 3.1.2 Υφαλοχρώματα νέας γενιάς

Λόγω του περιορισμού της χρήσης των πολύ τοξικών συμβατικών υφαλοχρωμάτων TBT και των άλλων οργανοκασσιτερικών ενώσεων και των παραγώγων τους, σήμερα επιδιώκεται η αντικατάστασή τους από προϊόντα που βασίζονται σε οξείδια του χαλκού με οργανικά ενισχυτικά βιοκτόνα, που είναι γνωστά ως υφαλοχρώματα νέας γενιάς. Οι κυριότερες ενισχυτικές βιοκτόνες ουσίες που περιέχονται στα υφαλοχρώματα νέας γενιάς είναι οι εξής (Voulvoulis et al., 1999, Thomas 2001, Burgess et al., 2003, Carson et al., 2009):

- Benzamide
- Chlorothalonil
- Copper pyridine
- Dichlofluanid
- Diuron
- Fluorofolpet
- Irgarol 1051
- Mancozeb
- Polyphase, pyridine-triphenyl- borane
- Sea-Nine 211
- TCMS (2,3,5,6-tetrachloro-4-methylsulfonyl) pyridine
- TCMTB [2- (thiocyanomethylthio)benzothiazole]
- Thiram
- Tolyfluanid
- Zinc pyridine (ZPT)
- Ziram
- Zineb

Οι περισσότερες από αυτές τις ουσίες είναι γνωστά φυτοφάρμακα τα οποία χρησιμοποιούνται εδώ και χρόνια στη γεωργία. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται οι συντακτικοί τους τύποι και οι χημικές τους ονομασίες. Στη χώρα μας έχει αναφερθεί ότι χρησιμοποιούνται οι ουσίες Irgarol 1051, Diuron, Diclofluanid , Clorothalonil, Ziram και Folpet καθώς και οξείδια του χαλκού (Albanis et. al., 2002).



Σχήμα 7. Συντακτικοί τύποι και χημικές ονομασίες των βιοκτόνων ουσιών που χρησιμοποιούνται στα υφαλοχρώματα νέας γενιάς

(Πηγή: Γατίδου 2001).

### ***Irgarol 1051***

Το Irgarol 1051 είναι ένα φυκοκτόνο που χρησιμοποιείται στα υφαλοχρώματα που έχουν βάση τον χαλκό, για την καταπολέμηση της προσκόλλησης των θαλάσσιων οργανισμών στα πλοία αναψυχής και στα εμπορικά. Το 1998, τα πρώτα υφαλοχρώματα τα οποία περιείχαν το Irgarol 1051 καταγράφηκε ότι χρησιμοποιήθηκαν στην Αμερική. Η παρουσία του Irgarol 1051 αναφέρθηκε το 1993 στα επιφανειακά νερά στις μαρίνες του Cote d'Azur, στη Γαλλία σε συγκεντρώσεις έως και 1700 ng l<sup>-1</sup>. Από το 1993 η παρουσία του Irgarol 1051 έχει αναφερθεί σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, όπως στο Ηνωμένο Βασίλειο, στη λίμνη της Γενεύης στην Ελβετία, στη Σουηδία, στη Γερμανία, και στη Ολλανδία, καθώς και στην Ιαπωνία και στην Αυστραλία (Dahl and Blanck, 1996, Readman et al., 1993, Okamura et al., 2000, Sargent et al., 2000, Blanck et al., 2009, Chesworth et al., 2004).

Το Irgarol 1051 ανήκει στη χημική κατηγορία των συμμετρικών τριαζινών που είναι γνωστές ως αναστολείς της φωτοσύνθεσης. Δεν θεωρείται ότι διασπάται εύκολα σε φυσικά θαλάσσια νερά και έχει t<sub>1/2</sub> περίπου 100 ημέρες. Η βιοδιάσπαση, η φωτοδιάσπαση και η χημική υδρόλυση του Irgarol 1051 καταλήγουν κυρίως στο 2-μεθυλθιο-4-τερβουτυλαμινο-6-αμινο-τριαζίνη (GS26575/ M1) ως το κύριο προϊόν της διάσπασης. Το K<sub>d</sub> είναι 3100 l kg<sup>-1</sup> και το K<sub>oc</sub> είναι ανάμεσα στα 25 l και 63095 l kg<sup>-1</sup> όπως έχει αναφερθεί, που σημαίνει ότι το Irgarol 1051 σχετίζεται κυρίως με την διαλυμένη φάση (Tóth et al., 1991, Dahl and Blanck, 1996, Scarlett et al., 1997, Ciba Geigy, 1995, Tolosa et al., 1996, Biseli et al., 2000).

Επειδή το Irgarol 1051 είναι φυτοφάρμακο που εμποδίζει την φωτοσύνθεση, είναι πολύ πιο τοξικό σε φυτά από ότι σε ζώα. Για την ανάπτυξη των φυτών βρέθηκε EC<sub>50</sub> 136 ng/l. Επίσης το Irgarol 1051 έχει μια μέτρια πιθανότητα βιοσυγκέντρωσης, αλλά όπως φαίνεται είναι ταχέως εξαλείψιμη και δεν βιοσυσσωρεύεται. Η βιοδιάσπαση του Irgarol 1051 σε ανενεργούς μεταβολίτες επέρχεται ύστερα από 25 μέρες. Το Irgarol 1051 δεν είναι μεταλλαξιογόνο και δεν προκαλεί προβλήματα στην δράση του DNA. Επίσης δεν είναι ούτε εμβρυοτοξικό, ούτε προκαλεί τερατογένεση (Ciba 2001).

### ***Sea-Nine 211***

Η παρουσία του Sea-Nine 211 έχει αναφερθεί σε έρευνα σε Δανέζικο λιμάνι μετά την επίχριση με υφαλοχρώματα που περιέχουν αυτό το βιοκτόνο σε δύο Δανέζικα ναυτικά πλοία. Επίσης αναφέρθηκε ότι παρατηρήθηκε μεγάλη μείωση στη συγκέντρωση του Sea-Nine 211 σε συνάρτηση με την απόσταση από το πλοίο. Το εύρος των συγκεντρώσεων από 283 ng/l κοντά στο πλοίο, συχνά μειώνεται σε < 5 ng/l (Jacobson and Willingham, 2000).

Το Sea-Nine 211 διασπάται συχνά σε φυσικό περιβάλλον και στο ίζημα. Η βιολογική αποδόμηση θεωρείται ότι είναι πάνω από 200 φορές πιο γρήγορη από αυτή της υδρόλυσης ή της φωτόλυσης. Η αποδόμηση περιλαμβάνει διάσπαση του δακτυλίου της ισοθιαζολόνης και επακόλουθη οξειδωση των αλκυλικών μεταβολιτών. Τα προϊόντα των αρχικών διασπάσεων είναι η 4,5 διχλωρο-θιαζόλη και το N-οκτυλοκαρδαμικό οξύ. Το Sea-Nine 211 έχει αναφερθεί ότι έχει log Kow 2,8 και διαλυτότητα 14 mg/l. Έχει αναφερθεί ότι έχει Kd 625 l/kg σε υδατικά ιζήματα, όμως παρόλα αυτά το Sea-Nine 211 έχει βρεθεί ότι σχηματίζει ισχυρούς δεσμούς με το ίζημα, που είναι ουσιαστικά μη αντιστρέψιμοι (Willingham and Jacobson, 1996).

### ***TCMTB***

Το TCMTB θεωρείται ότι δεν είναι σταθερό στο περιβάλλον. Εργαστηριακά πειράματα έδειξαν ότι το TCMTB διασπάται σε 2-μερκαπτομπενζοθιαζόλη (MBT) και σε 2-(μεθύλιο) μπενζοθιαζόλη (MTBT). Αυτό προφανώς προκύπτει από την υδρόλυση που ακολουθεί την βιολογική μεθυλίωση. Η ημιζωή του TCMTB σε φυσικά θαλάσσια νερά έχει αναφερθεί ότι είναι 740 h. Το TCMTB διασπάται εύκολα (<0.5 h) με φωτόλυση. Επίσης, η μελέτη για τον προσδιορισμό του διαμερισμού του TCMTB απέτυχε να καθορίσει κάποιον συντελεστή αφού το TCMTB διασπάται ολοκληρωτικά σε MTBT. Υπολογίστηκε ότι το log Koc είναι 2.74 και το Kd είναι 27 l/kg για το ίζημα που περιέχει 5% οργανικό άνθρακα (Brownlee et al., 1992).

### ***Dichlofluanid, Chlorothalonil, TCMS, Pyridine και Copper/zinc Pyriithione***

Από έρευνες που έχουν γίνει για την ανίχνευση των dichlofluanid, chlorothalonil, TCMS (2,3,5,6-τετραχλωρο-4-μεθυλσουλφονίλιο) Pyridine και Copper/zinc Pyriithione (CPT/ZPT) στο υδάτινο περιβάλλον λόγω της χρήσης τους ως προσθετικά βιοκτόνα στα υφαλοχρώματα, έχουν προκύψει μη ανιχνεύσιμα επίπεδα. Οι συγκεντρώσεις των Dichlofluanid, Clorothalonil, TCMS, Pyridine και ZPT σε μαρίνες του Ηνωμένου Βασιλείου ήταν κάτω από τα όρια ανίχνευσης για τις υπάρχουσες μεθόδους (<5 ng g/1). Το ZPT συχνά διασπάται σε φυσικά θαλάσσια νερά σε χρόνο  $t_{1/2} < 24h$  και επίσης φωτολύεται πολύ γρήγορα ( $t_{1/2} < 1h$ ) ενώ, αντιθέτως το εύρος της ημιζωής της υδρόλυσης είναι 96-120 d. Τόσο οι αερόβιες όσο και οι αναερόβιες διασπάσεις γίνονται πολύ γρήγορα ( $t_{1/2} < 2h$ ). Το αρχικό προϊόν της διάσπασης του ZPT έχει αναφερθεί ότι είναι το 2-πυριδίνη σουλφονικό οξύ με  $Zn^{2+}$  το οποίο ελευθερώνεται στην υδατική φάση (Thomas 2001, Turley et al., 2000). Το ZPT θεωρείται ότι συνδέεται ισχυρά με το ίζημα. Παρόλα αυτά, λόγω του σύντομου  $t_{1/2}$  η επίδραση της κατανομής στην εξέλιξη του ZPT θεωρείται ασήμαντη (Turley et al., 2000). Όσον αφορά τη διάσπαση του Dichlofluanid, σε φυσικά νερά στους 25°C, η διάσπαση ολοκληρώθηκε ύστερα από 72 h και υπολογίστηκε ότι ο  $t_{1/2}$  ήταν 18h. Για το Clorothalonil βρέθηκε ότι η ημιζωή της διάσπασης είναι μεταξύ 4 και 150h σε φυσικά νερά (Davies, 1987). Όσον αφορά την Clorothalonil η προσρόφηση στο ίζημα θεωρείται ότι είναι μια σημαντική πορεία για την μεταφορά από την διαλυμένη φάση. Όταν ενώνεται με το ίζημα η Clorothalonil θεωρείται ότι βιοδιασπάται (Davies, 1987; Walker et al., 1998).

### ***Zineb και Mancozeb***

Το Zineb διασπάται γρήγορα, μέσω της υδρόλυσης σε 5,6-dihydro-3H-imidazo(2,1-c)-1,2,4-dithiazole-3-thione (DIDT), ethylene diisothiocyanate (EDI) και ethylenethiourea (ETU). Ο  $t_{1/2}$  αναφέρεται ότι είναι 96h σε pH=10 και θερμοκρασία 20°C. Το Mancozeb θεωρείται ότι έχει παρόμοιο ρυθμό διάσπασης με το Zineb, ενώ αναφέρεται ότι το Zineb απορροφάται γρήγορα από το ίζημα οδηγώντας το έτσι σε ταχύτερους ρυθμούς διάσπασης (HSDB, 1997, Hunter & Evans, 1991, Klimesko & Veksehtein, 1970).

## ***Thiram***

Έχει αναφερθεί ότι το Thiram διασπάται γρήγορα μέσω υδρόλυσης και φωτοδιάσπασης, ειδικά κάτω από όξινες συνθήκες (Exttoxnet, 2000).

### **3.2 Χρήση των υφαλοχρωμάτων**

Ο κασσίτερος και τα οργανικά του παράγωγα έχουν μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Τα τελευταία 30 χρόνια οι οργανικές ενώσεις του κασσιτέρου έχουν εφαρμοστεί σε σημαντικά βιομηχανικά αγαθά. Οι οργανικές ενώσεις του κασσιτέρου είναι κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης, εκτός από τις μεθυλιωμένες μορφές οι οποίες μπορεί να παράγονται με βιομεθυλίωση στο περιβάλλον. Η παραγωγή τους ήταν τουλάχιστον 35.000 τόνοι το 1985, ποσό που αποτελούσε το 7% της ετήσιας παγκόσμιας κατανάλωσης κασσιτέρου. Σήμερα θεωρούνται οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες οργανομεταλλικές ενώσεις με ετήσια παγκόσμια παραγωγή που φτάνει τους 50.000 τόνους (Ko et al., 1995, Tester and Ellis, 1995, Thomas et al., 1987, 2000, 2001, 2009, 2010).

Οι οργανικές ενώσεις του κασσιτέρου παρουσιάζουν ποικίλες εφαρμογές στην βιομηχανία και στην γεωργία, οι οποίες οδηγούν σε ρύπανση των υγρών αστικών λυμάτων και την επεξεργασμένη λάσπη. Επίσης, παρουσιάζουν ιδιαίτερη εφαρμογή ως σταθεροποιητές κατά την κατασκευή σωλήνων PVC και ως καταλύτες σε βιομηχανικές διεργασίες. Περίπου το 70% της ετήσιας παγκόσμιας παραγωγής χρησιμοποιείται ως σταθεροποιητής κατά την κατασκευή σωλήνων PVC για την μεταφορά πόσιμου νερού και αποβλήτων. Οι οργανικές ενώσεις κασσιτέρου, που χρησιμοποιούνται στην παραπάνω διεργασία είναι κυρίως ενώσεις με 1 αλκύλιο (monoalkyltins) και 2 αλκύλια (dialkyltins) στον χημικό τους τύπο. Η φθορά των σωλήνων PVC είναι πιθανό να οδηγήσει σε επιβάρυνση των υγρών αστικών αποβλήτων και των λασπών με monobutyltins (MBT) και dibutyltins (DBT). Οι MBT και DBT χρησιμοποιούνται επίσης, ως καταλύτες κατά την παραγωγή αφρών πολυουρεθάνης, σιλικονών και σε άλλες βιομηχανικές διεργασίες (Thomas et al., 1987, 2000, 2001, 2009, 2010).

Περίπου το 23% της παγκόσμιας παραγωγής organotins, με τη μορφή κυρίως TBT, χρησιμοποιούνται ως αγροχημικά και βιοκτόνα για την προστασία ξύλων, χρωμάτων και σε μία ποικιλία άλλων υλικών (όπως PVC) για την προστασία τους από μικροβιακή επίθεση (Readman et al., 1993, United States Environmental protection Agency Office of Drinking Water Health Advisories, 1991).

### ***Νομοθεσία-κανονισμοί***

Στις αρχές της δεκαετίας του '80, πρώτη η Γαλλική Κυβέρνηση, λόγω του ενδιαφέροντος για τις υδατοκαλλιέργειες στρειδιών, επέβαλε απαγορεύσεις στην χρήση του TBT σε σκάφη μήκους <25 m. Αντίστοιχου τύπου απαγορεύσεις εφάρμοσαν κατόπιν οι ΗΠΑ και ο Καναδάς, η Αυστραλία, η Νέα Ζηλανδία, η Νότια Αφρική, το Χονγκ Κονγκ και οι περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες στο τέλος της δεκαετίας του '80 και τις αρχές της δεκαετίας του '90. Στην Ιαπωνία, απαγορεύτηκε η παραγωγή υφαλοχρωμάτων που περιείχαν TBT το 1997 (Pereira and Ankjaergaard, 2009).

Στόχος των απαγορεύσεων του TBT σε σκάφη μικρού μεγέθους ήταν η μείωση των συγκεντρώσεων του σε παράκτιες θαλάσσιες περιοχές και μαρίνες, περιοχές στις οποίες περιπλέουν τέτοια σκάφη. Οι παράκτιες περιοχές συγκεντρώνουν έντονες δραστηριότητες αναψυχής, θαλασσοκαλλιέργειες και αλιεία ενώ συχνά φιλοξενούν σημαντικά οικοσυστήματα (Kobayashi and Okamura, 2002, Konstantinou and Albanis, 2004).

Την 1η Φεβρουαρίου 1988, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε μια τροποποίηση στην Οδηγία 76/769/EEC με την οποία περιοριζόταν η εμπορία και χρήση ορισμένων επικίνδυνων ουσιών και σκευασμάτων. Η τροποποίηση απαγορεύει την χρήση «οργανοκασσιτερικών ουσιών» στα χρώματα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την αποτροπή επιστρώσεων θαλασσίων οργανισμών,

(α) στα ύφαλα των σκαφών συνολικού μήκους (όπως ορίζεται από το πρότυπο ISO 8666) μικρότερο από 25 m,

(β) σε κλωβούς, πλωτήρες, δίχτυα και οποιοδήποτε άλλο εξοπλισμό χρησιμοποιείται σε ιχθυοκαλλιέργειες ή οστρακοκαλλιέργειες.



(γ) Σε εγκαταστάσεις ή εξοπλισμό που βρίσκεται εν πλω ή εν μέρει κάτω από το νερό.

Επιπλέον τα σκευάσματα αυτά επιτρέπεται να πωλούνται μόνο σε επαγγελματίες χρήστες σε συσκευασίες όγκου τουλάχιστον 20 L.

Το 1990, η Επιτροπή Προστασίας του Θαλασσιού Περιβάλλοντος (Marine Environmental Protection Committee - MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization - IMO) εξέδωσε ψήφισμα στο οποίο (Champ, 2000):

1. Προτείνεται στις κυβερνήσεις να υιοθετήσουν και να προάγουν αποτελεσματικά μέτρα, στα πλαίσια των αρμοδιοτήτων τους, ώστε να ελεγχθούν οι βλάβες στο θαλάσσιο περιβάλλον που απορρέουν από την χρήση του τριβούτυλοκασίτερου στα υφάλοχρώματα. Ως προσωρινά μέτρα προτείνονται:

- Να εξαλειφθεί η χρήση υφαλοχρωμάτων που περιέχουν TBT σε σκάφη μήκους <25 m που δεν περιέχουν αλουμίνιο
- Να εξαλειφθεί η παραγωγή υφαλοχρωμάτων που εκλύουν την ουσία με ρυθμούς >4μg TBT ανά cm<sup>2</sup> ανά ημέρα
- Να αναπτυχθούν κατάλληλες πρακτικές διαχείρισης κατά την ναυπήγηση και την επισκευή πλοίων ώστε να εξαλειφθεί η εισαγωγή TBT στο θαλάσσιο περιβάλλον στην διάρκεια εργασιών όπως η βαφή, η αμμοβολή, ο καθαρισμός των πλοίων και η αποχέτευση των αποβλήτων
- Να ενθαρρυνθεί η έρευνα για την σύνθεση εναλλακτικών βιοκτόνων ουσιών στα υφαλοχρώματα που θα αντικαταστήσουν τον TBT.
- Να ελεγχθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εναλλακτικών ουσιών πριν χρησιμοποιηθούν.
- Να πραγματοποιηθούν προγράμματα ελέγχου της ρύπανσης από TBT ώστε να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα των μέτρων περιορισμού
- Να μελετήσουν οι κυβερνήσεις κατάλληλες εναλλακτικές λύσεις με στόχο πιθανή ολική απαγόρευση της χρήσης TBT στα υφαλοχρώματα, στο μέλλον.

Το 1998 η MEPC εξέδωσε νέο ψήφισμα, όπου προτείνεται (Champ, 2000):

- Απαγόρευση της χρήσης υφαλοχρωμάτων που περιέχουν TBT το 2003
- Πλήρης απαγόρευση της παρουσίας TBT σε σκάφη το 2008

Η Ελληνική νομοθεσία εναρμονίστηκε με την παραπάνω οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης με την υπ. αριθμ. Ν.1100/91 Απόφαση του Ανωτάτου Συμβουλίου Χημείας και Ν.3010875/478/92 Υπουργική Απόφαση της Ελληνικής Κυβέρνησης.( Γατίδου 2001).

Πολλά κράτη σε όλο τον κόσμο όπως στην Αμερική (Η.Π.Α., Καναδάς), στην Ευρώπη (Η.Β., Σουηδία, Ολλανδία, Βέλγιο, Φινλανδία, Αυστρία) αλλά και στην Ασία (Κίνα, Χονγκ Κονγκ) έχουν υιοθετήσει την καταγραφή της χρήσης των υφαλοχρωμάτων ώστε να ελέγχονται από τους εθνικούς νόμους για τα ζιζανιοκτόνα. Στην Σουηδία συγκεκριμένα έχουν τεθεί περιορισμοί για την χρήση υφαλοχρωμάτων που περιέχουν χαλκό, ενώ στην Ολλανδία έχει απαγορευτεί η χρήση του σε σκάφη αναψυχής που κυκλοφορούν σε περιοχές με γλυκό νερό. (Champ, 2000).

### **3.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υφαλοχρωμάτων**

#### **3.3.1 Συμβατικά υφαλοχρώματα**

Η τοξικότητα των οργανικών ενώσεων του κασσιτέρου στους ανθρώπους, στους χερσαίους οργανισμούς και στο φυτοπλαγκτόν έχει μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό. Οι οργανικές ενώσεις του κασσιτέρου είναι πολύ πιο τοξικές από τις ανόργανες ενώσεις του κασσιτέρου. Οργανικές ενώσεις του τύπου  $R_nSn(4-n)$ , ασκούν βιολογικές επιδράσεις σε όλους τους οργανισμούς, όταν το  $n=3$ . Στην τάξη των trialkyl, η τοξικότητα της ένωσης ποικίλει ανάλογα με την φύση του αλκυλίου. Για παράδειγμα, το trimethyltin είναι το πιο τοξικό· για τα θηλαστικά είναι ο triethyltin· για τα Gram-αρνητικά βακτήρια είναι ο tri-n-propyltin· για τα Gram-θετικά, τα ψάρια και τους μύκητες είναι ο tri-n-butyltin. Όσο αυξάνεται το μήκος της n-alkyl αλυσίδας, παράγεται γρηγορότερη πτώση της βιολογικής διεργασίας. Ο triphenyltin είναι γενικότερα τοξικός στο φυτοπλαγκτόν, ενώ ο tricyclohexyltin δείχνει υψηλή

ακαριοδική δράση (Negri et al., 2002, 2004, Arambarri et al., 2003, Armstrong et al., 2000, Butler et al., 1980).

Έχουν γίνει πολλές μελέτες για την τοξικότητα του tributyltin (TBT), αλλά χωρίς να μετρείται η πραγματική συγκεντρώση του TBT στο νερό. Εξαιτίας των πιθανοτήτων της αποικοδόμησης του TBT και της προσρόφησής του στα τοιχώματα των οργάνων που χρησιμοποιούνται, αυτές οι μελέτες δεν δίνουν την πραγματική τοξικότητα. Για καλύτερη προσέγγιση της τοξικότητας χρησιμοποιούνται χάρροι, όπου επικρατούν συνθήκες περιβάλλοντος, και οι μετρήσεις του TBT γίνονται καθ' όλη την πορεία του πειράματος. Επιπρόσθετα, η τοξικότητα της συγκεντρώσεως του TBT σε υδάτινο περιβάλλον είναι μεταβλητή αναλόγως της θερμοκρασίας, pH, σκληρότητα νερού, μέγεθος και φύση οργανισμών, αιωρούμενα στερεά και διαλυμένα οργανικά σωματίδια: όλα αυτά ασκούν μια επίδραση στην τοξικότητα (Nichols, 1988, Batley et al., 1989, Arnold et al., 2005, Arrhenius et al., 2006, Pettengill et al., 2007, Basheer et al., 2002, Ferrer and Barcelo, 1999, Langston, W.J., Burt, G.R., 1991).

Οι τοξικές επιδράσεις των organotins στους υδρόβιους οργανισμούς είχε σαν αποτέλεσμα να προκύψει ένα ζήτημα με αυξημένο ενδιαφέρον. Οι ενώσεις που το προκαλούν είναι κυρίως οι tributyltin και triphenyltin, οι οποίες είναι τα ενεργά συστατικά της αντιδιαβρωτικής βαφής για την προστασία των σκαφών. Οι tributyltin και triphenyltin εμφανίζουν υψηλή τοξικότητα απέναντι στην υδρόβια χλωρίδα και πανίδα του οικοσυστήματος, σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από ppt έως ppm. Τα φύκια, τα μαλάκια και νεαρά ψάρια είναι μεταξύ των πιο ευαίσθητων οργανισμών (Antizar-Ladislao, 2008, Fernández-Alba et al., 2002, Berge et al., 2004, Evans et al., 1991, 1999, EXTTOXNET, 2000).

Τα φαινόμενα αυτά παρατηρούνται σε περιοχές όπου δεν συμβαίνει καλή ανακύκλωση του νερού και υπάρχει μεγάλη δραστηριότητα σκαφών, και έτσι αναπόφευκτα οι συγκεντρώσεις των organotins παρουσιάζουν αύξηση.

Το πρόβλημα ρύπανσης με τον TBT αναγνωρίστηκε την προηγούμενη δεκαετία, λόγω ελάττωσης της συγκομιδής στρειδιών στον κόλπο d' Arcachon της Γαλλίας. Ο TBT χρησιμοποιήθηκε σαν προσθετικό χρωμάτων στα πλοία. Από τα χρώματα ο TBT κατέληγε στα γύρω νερά, όπου προκαλεί τοξική δράση στα φυτά και στα ζώα. Πρόκειται πιθανώς για την πιο τοξική ουσία που εσκεμμένα διοχετεύτηκε στο

θαλάσσιο περιβάλλον. Υγιή στρείδια που μεταφέρθηκαν σε περιοχές ρυπασμένες με TBT παρουσίασαν θνησιμότητα 50% σε διάστημα 30 ημερών. Ο TBT είναι γνωστό ότι προκαλεί παραμορφώσεις σε μερικά γαστερόποδα σε συγκεντρώσεις ppt στο υδατικό περιβάλλον. Το φαινόμενο αυτό, γνωστό σαν imposex, κατά το οποίο θηλυκοί οργανισμοί αναπτύσσουν χαρακτηριστικά αρσενικών οργανισμών λόγω προφανώς της επίδρασης του TBT στο ορμονικό σύστημα (Φυτιάνος, 1996, Bhosle et al., 2006).

Ο TBT είναι ιδιαίτερα τοξικός και θανατηφόρος σε μία ποικιλία πλαγκτονικών οργανισμών, περιλαμβάνοντας τις κάμπιες μαλακίων που είναι 10-100 φορές πιο ευαίσθητες από τα ώριμα, σε συγκεντρώσεις μόνο 1 μg/l. Τέτοιες συγκεντρώσεις προσδιορίζονται συχνά στα νερά μέσα και γύρω από τις μαρίνες των θαλαμηγών και έχουν συσχετισθεί με την αποτυχία συλλογής οστράκων και στρειδιών στις περιοχές που έχουν προσβληθεί (Biseli et al., 2000, Gibbs et al., 1986, 2009, Gibson and Wilson, 2003, Michel and Averty, 1999).

Η υπο-θανατηφόρα επίδραση μικρών συγκεντρώσεων του TBT είναι μεγάλης σημασίας στις αλιευτικές περιοχές οστρακοειδών. Συγκεντρώσεις του TBT ως και 0.01 μg/l προκαλούν μειωμένη ανάπτυξη και άλλες υπο-θανατηφόρες συνέπειες σε πολύ νεανικά στρείδια του Ειρηνικού, τα *Crassostrea gigas*. Σοβαρότερο ακόμη είναι ότι ο TBT προκαλεί φανερή πάχυνση των κελυφών των οστράκων, μειώνοντας σημαντικά το μέγεθος του ζώου στο εσωτερικό και καθιστώντας τα μη εμπορεύσιμα.

Αν και οι νομοθετικές απαγορεύσεις κατάφεραν να μειώσουν τα επίπεδα των TBT, η ρύπανση από υπολείμματα των συστατικών των οργανοκασσιτερικών ενώσεων είναι εκτεταμένη και έχει οικολογικές συνέπειες (Lau Wong, 1991, Rees et al., 2001, Rilov et al., 2000). Αποτέλεσμα αυτών των περιορισμών είναι η αντικατάσταση των οργανοκασσιτερικών ενώσεων σε μικρά σκάφη από προϊόντα που βασίζονται σε οξειδία του χαλκού με οργανικά ενισχυτικά βιοκτόνα (υφαλοχρώματα νέας γενιάς). Αυτά είναι πιο δραστικά όσον αφορά την παρεμπόδιση της δημιουργίας του κολλώδους στρώματος, της αρχικής δηλαδή ανάπτυξης οργανισμών, που αντέχουν σε χρώματα με χαλκό (Reed and Moffat, 1983, Voulvoulis et al., 1999).

Πίνακας 1. Τοξικότητα του TBT σε διάφορους θαλάσσιους οργανισμούς και συγκεντρώσεις που ανιχνεύθηκαν σ' αυτούς

Είδος Οργανισμού	Τοξικότητα	Χρόνος Έκθεσης (h)	Συγκέντρωση (mg/g)
<b>Ψάρια</b> Σολωμός ( <i>Salmo gairdneri</i> )	LC <sub>50</sub> 6,27-7,8 ppb	96	4,1-11,0
<i>Lepomis macrochirus</i>	LC <sub>50</sub> 5,6-10 ppb	96	5,6-14,0
<i>Ictalurus punctatus</i>	LC <sub>50</sub> 7,3-20 ppb	96	7,5-28,0
<b>Άλγη</b> Διάτομα ( <i>Skeletonoma costatum</i> )	LC <sub>50</sub> 0,33 ppb	72	0,5-25,0
<b>Οστρακοειδή</b> Γαρίδες ( <i>Gragon Gragon</i> ) προνύμφες ενήλικες <i>Acartia tonsa</i> προνύμφες ενήλικες Αστακός ( <i>Homarus americanus</i> ) προνύμφες	LC <sub>50</sub> 1,5 ppb 41 ppb LC <sub>50</sub> 2,1 ppb 1,0 ppb 0,4 ppb 90% παρεμπόδιση ανάπτυξης στα 1 ppb	96   72 96 144	Δεν αναφέρονται “ “ 0,3-3,0  1,0-20
<b>Μαλάκια</b> Μύδια ( <i>Mytilus edulis</i> ) αυγά προνύμφες Στρείδια ( <i>crassostrea gigas</i> ) αυγά προνύμφες	Παρεμπόδιση ανάπτυξης 0,24 ppb LC <sub>50</sub> 2,3 ppb  Παρεμπόδιση ανάπτυξης 0,24 ppb LC <sub>50</sub> 1,6 ppb	 48  48	0,24+/-0,23 έως 2,62+/-1,09  0,24+/-0,23 έως 2,62+/-1,09

(Πηγή: Φυτιάνος, 1996)

### 3.3.2 Υφαλοχρώματα νέας γενιάς

Στη βιβλιογραφία δεν υπάρχουν αρκετές έρευνες σχετικά με τη βιολογική απορρόφηση και την βιοσυσσώρευση των προσθετικών βιοκτόνων στα

υφαλοχρώματα. Για το Irgarol 1051 παρατηρήθηκε ότι συμβαίνει βιολογική απορρόφηση στα μακρόφυτα γλυκών νερών με παράγοντες βιοσυγκέντρωσης (BCFs) έως και 30000, καθώς και ανάμεσα στα μακρόφυτα που βρίσκονται στις μαρίνες (Tóth et al., 1996, Lamoree et al., 2002). Για το diuron έχουν αναφερθεί αναμενόμενες τιμές συντελεστών βιοσυσώρευσης ίσες με 75 και 22 οι οποίες υποδηλώνουν ότι η ένωση αυτή δεν βιοσυσσωρεύεται σε υδατικούς οργανισμούς (Kenaga, 1980, Giacomazzi and Cochet, 2004, Marzo et al., 2008).

Για το Sea-Nine 211, η βιοσυσώρευση σε ψάρια θεωρείται ότι είναι χαμηλή (<1% του αρχικού συστατικού) (Larsen et al., 2003, Willingham & Jacobson, 1996). Αυτό οφείλεται στο ότι μεταβολισμός του Sea-Nine 211 ότι είναι συχνός, και οι μεταβολίτες του σχετίζονται με πρωτεΐνες.

Για το Zineb και το Thiram, έχει αναφερθεί ότι δεν βιοσυσσωρεύονται (HSDB & Verschueren, 1996).

Το Irgarol 1051 ανήκει στη χημική κατηγορία των συμμετρικών τριαζινών που είναι γνωστές ως αναστολείς της φωτοσύνθεσης (Dahl and Blanck, 1996). Ως φυτοφάρμακο που εμποδίζει την φωτοσύνθεση, είναι πολύ πιο τοξικό σε φυτά από ότι σε ζώα. Για την ανάπτυξη των φυτών έχει αναφερθεί τιμή τοξικότητας EC<sub>50</sub> 136 ng/l. Επίσης το Irgarol 1051 έχει μια μέτρια πιθανότητα βιοσυγκέντρωσης, αλλά φαίνεται ότι δεν βιοσυσσωρεύεται σε σημαντικό βαθμό (Ciba 2001, Martinez et al., 2000, 2001, Tolhurst et al., 2007, Meena et al., 2009).

Το Diuron επίσης αναστέλλει τη φωτοσύνθεση, όπως και το Irgarol 1051 (Ελευθεροχωρινός, 1996, Molander and Blanck, 1992, Heines et al., 2002, 2008). Χρησιμοποιείται σαν επιλεκτικό ζιζανιοκτόνο σε αρκετά είδη καλλιεργειών αλλά και ως ενισχυτική βιοκτόνος ουσία στα υφαλοχρώματα νέας γενιάς (Meister, 1988). Το diuron προκαλεί ελαφρό ερεθισμό στο δέρμα. Επειδή αναστέλλει τη φωτοσύνθεση είναι πιο τοξικό στους φυτικούς από ότι στους ζωικούς οργανισμούς. Είναι ελαφρά τοξικό στα πουλιά και στα θηλαστικά, μέτρια τοξικό για τα ψάρια και υψηλά τοξικό για τα ασπόνδυλα (Αμπαρτζάκη και Βαγιάννη, 1998). Έχει βρεθεί EC<sub>50</sub> για το μικροφύκος *Selenastrum capricornotum* ίση με 0,045±0,0079 mg/l και για τη *Daphnia magna*, είδος ζωοπλαγκτού, ίση με 8.6±1.3 mg/l (Fernandez-Alba et al., 2002). Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η τοξικότητα του diuron σε διάφορους οργανισμούς.

Πίνακας 2. Τοξικότητα του Diuron σε διάφορους οργανισμούς

Οργανισμός	Δείκτης Τοξικότητας	Εκθεση (hr)	Συγκέντρωση
Rat	Oral LD <sub>50</sub>	-	>2000 mg/Kg
Rat	Dermal LD <sub>50</sub>	-	>2000 mg/Kg
Birds	LC <sub>50</sub>	-	1730->5000 mg/l
Fish	LC <sub>50</sub>	48	4,3-4,2 mg/l
Invertebrate	LC <sub>50</sub>	48	1-2,5 mg/l

(Πηγή: Γατίδου, 2001)

### 3.4 Ταχύτητες/κόστος

Εκτός από το σχεδιασμό του σκάφους και της προπέλας, υπάρχουν και άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τη συνολική αποδοτικότητα χρήσης της ενέργειας. Μία σημαντική παράμετρος είναι η χρήση υφαλοχρωμάτων που αποτρέπουν τον αποικισμό των υφάλων των σκαφών, ο οποίος, αποδεδειγμένα, έχει αρνητική επίδραση στην υδροδυναμική των σκαφών (Rosen et al., 1971, Loeb et al., 1984, Lewthwaite et al., 1985, Isensee and Bertram, 2004, Lewkowicz and Das, 1986).

Τα υφαλοχρώματα παίζουν μεγάλο ρόλο στο να διατηρείται η αντίσταση των σκαφών στην τριβή σε όσο το δυνατό πλησιέστερα επίπεδα με εκείνα της αρχικής κατασκευής του σκάφους (Naval Sea Systems Command, 2003, Molland et al., 2011, Munk et al., 2009). Η αντίσταση στην τριβή επηρεάζει δραματικά την κατανάλωση καυσίμων του σκάφους (Πίνακας 3) καθώς επίσης και τις εκπομπές αερίων ρύπων, όπως διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και του θείου και ιπτάμενης τέφρας, στην ατμόσφαιρα (Nurmi, 2001, Schultz, 2007).

Πίνακας 3. Επίδραση της κατάστασης των υφάλων στην κατανάλωση καυσίμου (για container 7000 TEU)

Κατάσταση των υφάλων	% ΔST*
Μόλις εφαρμοστεί η επικάλυψη	-
Παλιό σύστημα ή λεπτό στρώμα αποικιών	9.4
Παχύ στρώμα αποικιών	26.8
Φύκη και μικρά όστρακα	50.7
Μεσαίου μεγέθους όστρακα	82.3

\* Μεταβολή στη συνολική ισχύ

(Πηγή: Yebra and Catala, 2011)

### ***Επίδραση ποιότητας ύφαλης επιφάνειας στην αντίσταση πλεύσης***

Κατά τη διάρκεια του service οι μεταλλικές γάστρες υποβαθμίζονται σε ποιότητα, καθώς η διάβρωση και η αποκολλούμενη βαφή αυξάνουν την τραχύτητα. Η αρχική ποιότητα της επιφάνειας μπορεί να προσεγγιστεί σε κάποιο βαθμό μετατρέποντας τη γάστρα και πάλι σε γυμνό μέταλλο. Τυπικές τιμές της τραχύτητας για πλοία (Townsin et al., 1980) είναι:

Αρχική τραχύτητα, 80-120  $\mu\text{m}$

Ετήσια αύξηση, 10  $\mu\text{m}$  για επικάλυψη υψηλής απόδοσης και καθοδικής προστασίας, 75-150  $\mu\text{m}$  με επικαλύψεις ρητινών και χωρίς καθοδική προστασία και μέχρι -3  $\mu\text{m}$  για επικαλύψεις self-polishing.

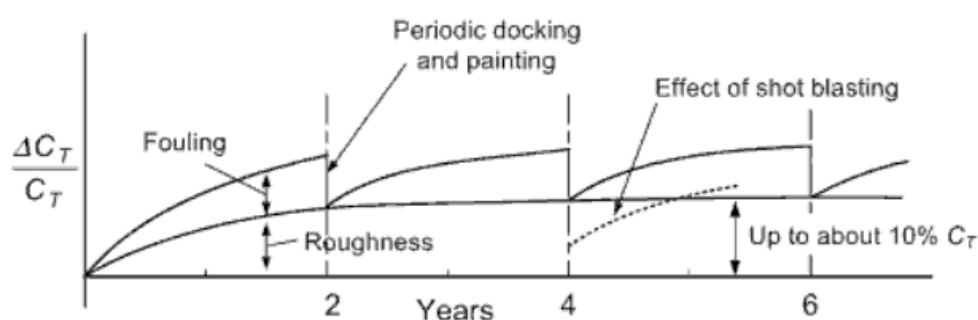
Οι αντίστοιχες αυξήσεις σε απαίτηση ισχύος είναι 1% ανά 10  $\mu\text{m}$  αύξηση τραχύτητας (με βάση σχετικά ομαλή γάστρα, 80-100  $\mu\text{m}$ ) ή περίπου 0.5% ανά 10  $\mu\text{m}$  ξεκινώντας από σχετικά τραχεία γάστρα (200-300  $\mu\text{m}$ ).

Επιπρόσθετη τραχύτητα προκαλείται από το fouling (Cassé et al., 2006), δηλαδή την ανάπτυξη οργανισμών. Η συνολική αύξηση της τραχύτητας, συμπεριλαμβανομένου του fouling, οδηγεί σε αυξήσεις στη CF της τάξης του 2-4% CF/μήνα (Aertssen 1963,



Aertssen 1966, Aertssen 1966-1967, Aertssen 1972, Aertssen 1969). Αν  $C_F$  είναι περίπου 60% της  $C_T$ , η αύξηση στη  $C_T$  είναι 1-2% μηνιαία, δηλ. 10-30% ετησίως (περίπου μισή τραχύτητα, μισό fouling).

Ο αρχικός ρυθμός αύξησης είναι συχνά υψηλότερος, αλλά στη συνέχεια η ανάπτυξη γίνεται με πιο αργούς ρυθμούς. Οι ρυθμοί του fouling εξαρτώνται από τα λιμάνια και την εποχή του χρόνου. Η τυπική επίδραση της ανάπτυξης της τραχύτητας και του fouling στη συνολική αντίσταση παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8. Drydocking, fouling και τραχύτητα συναρτήσει του χρόνου (Πηγή: Molland et al., 2011)

Η περίοδος του docking και του shot blasting ενώ ακολουθεί ταξινομημένες απαιτήσεις συχνότητας, θα εξαρτάται επίσης από την οικονομία επικάλυψης της επιφάνειας - καυσίμου που εξοικονομείται (Towsin, 1980, Towsin, 1975).

Η αύξηση της τραχύτητας της βρεχόμενης επιφάνειας από " $k_1$ " σε " $k_2$ " οδηγεί σε αύξηση της συνολικής αντίστασης ( $\Delta R_T$ ), που εκφράζεται ως ακολούθως (κατά Townsin):

$$\frac{\Delta R_T}{R_T} = \frac{\Delta C_F}{C_T} = \frac{0.044[(k_2/L)^{1/3} - (k_1/L)^{1/3}]}{C_T}$$

όπου

$\Delta$  = Μεταβολή λόγω αύξησης της τραχύτητας

$C_F$  = Συντελεστής αντίστασης τριβής

$R_T$  = Συνολική αντίσταση

$C_T$  = Συνολικός συντελεστής αντίστασης =  $R_T / (0.5 \rho S V^2)$  ή κατά προσέγγιση =  $0.018 L^{-1/3}$

$\rho$  = Πυκνότητα θαλάσσιου νερού ( $\text{kg/m}^3$ )

$S$  = Βρεχόμενη επιφάνεια πλοίου ( $\text{m}^2$ )

$V$  = Ταχύτητα πλοίου ( $\text{m/s}$ )

$L$  = Μήκος μεταξύ καθέτων του πλοίου (m)

Οι ισοδύναμες μέσες τιμές της τραχύτητας των υφάλων του σκάφους ( $Rt50$ ) για διαφορετικά σενάρια αποικισμού που προτάθηκαν από τον Schultz μετατράπηκαν σε τιμές σταθερών τριβής με χρήση των εξισώσεων International Towing Tank Conference, και ανήχθησαν σε εκτιμώμενες αυξήσεις κατανάλωσης ισχύος με βάση μεγάλο αριθμό δεδομένων ελέγχου μοντέλων σκαφών. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, η παρουσία φυκών στα ύφαλα των σκαφών μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση καυσίμου μέχρι και 50%, ποσοστό σημαντικά υψηλότερο σε σχέση με τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του πηδαλίου ή της προπέλας ή ακόμη και της χρήσης βοηθητικών συστημάτων κίνησης όπως συστήματα ρυμούλκησης. Παρόλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι τα υφαλοχρώματα και η επίδρασή τους στην απόδοση των σκαφών δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς τα προηγούμενα χρόνια. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι τα υφαλοχρώματα χωρίς κασσίτερο (tin-free self-polishing copolymer, SPC) (Candries et al., 2003) δεν κυριαρχούν στην αγορά, και μάλιστα σημαντικός αριθμός ιδιοκτητών σκαφών προτιμούν να μειώσουν το κόστος dry docking costs με την επιλογή φθηνότερων υφαλοχρωμάτων. Η απόφαση αυτή θα μπορούσε να σημαίνει ποσοστό αύξησης του κόστους καυσίμου μέχρι και μεγαλύτερο του 5%. Αυτό το σενάριο είναι αποτέλεσμα των παρακάτω παραμέτρων:

- Της “παραδοσιακής” χρήσης φθηνών, αποτελεσματικών αλλά ταυτόχρονα τοξικών υφαλοχρωμάτων που περιέχουν οργανομεταλλικές ενώσεις του κασσιτέρου, η οποία

κυριαρχούσε στην αγορά μέχρι την εγκατάλειψή τους από τους κύριους παραγωγούς υφαλοχρωμάτων το 2001

- Της έλλειψης σχεδίων καταχώρησης βιοκτόνων, που επέτρεψε σε οικονομικά βιοκτόνα να μπουν στην παγκόσμια αγορά χωρίς εκτεταμένες έρευνες σχετικά με το περιβαλλοντικό τους προφίλ και την αποτελεσματικότητά τους.
- Της έλλειψης αξιόπιστων μελετών που να συσχετίζουν την απόδοση των υφαλοχρωμάτων με την κατανάλωση καυσίμου.
- Του πολύ μικρού αριθμού συστημάτων παρακολούθησης της απόδοσης, ώστε να εκτιμηθεί η αξία της επένδυσης σε συστήματα υφαλοχρωμάτων υψηλής απόδοσης.
- Του σχετικά μικρού κόστους του βαρέος μαζούτ πλοίων.

Η αύξηση των τιμών του πετρελαίου καθώς και η παγκόσμια οικονομική κρίση έχει επηρεάσει τη ναυτική βιομηχανία. Οι ιδιοκτήτες σκαφών αναγκάστηκαν να μεγιστοποιήσουν το κέρδος εφαρμόζοντας αυστηρές πολιτικές εξοικονόμησης καυσίμων (π.χ. χαμηλή ροή ατμού) και επαναξιολογώντας την επιλογή των υφαλοχρωμάτων και των προμηθευτών τους. Παράλληλα υφίσταται και η αυξανόμενη ανησυχία για την κλιματική αλλαγή που επίσης έχει επηρεάσει τη ναυτιλιακή βιομηχανία, όπως περιγράφεται στο έγγραφο MEPC 60/4/21 και στους οδηγούς του International Marine Organization (IMO) για τη θέσπιση σχεδίων διαχείρισης αποδοτικότητας της ενέργειας των πλοίων (Ship Energy Efficiency Management Plans). Στο MEPC.176(58)7 τονίζεται η αναγκαιότητα μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, των οξειδίων του θείου, του αζώτου, και της ιπτάμενης τέφρας, η οποία θα οδηγήσει σε αυξημένο λειτουργικό κόστος.

Η χρήση βελτιωμένων συστημάτων υφαλοχρωμάτων (Callow and Milne, 1985) συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στην ελαχιστοποίηση του κόστους των καυσίμων και των εκπομπών αερίων (Townsin et al., 1981, 1985, 1986, 2000, 2003, 2009, Turley et al., 2000). Επιπρόσθετα, η στροφή προς υφαλοχρώματα υψηλής απόδοσης αναμένεται να ελαχιστοποιήσει τον κίνδυνο εισαγωγής αλλόθρονων ειδών σε ευαίσθητα οικοσυστήματα, πρόβλημα που έχει ήδη αναγνωριστεί από τον IMO (Rittschof, 2000). Επομένως η αυξημένη αποδοτικότητα και η ελαχιστοποιημένη

περιβαλλοντική επίδραση αποτελούν τους κύριους στόχους της ναυπηγίας σήμερα (Turner, 2010).

### ***Τεχνολογίες υφαλοχρωμάτων Self-Polishing, βασισμένων σε βιοκτόνα***

Υπάρχουν ήδη αρκετές τεχνολογίες υφαλοχρωμάτων χωρίς κασσίτερο οι οποίες είναι εμπορικά διαθέσιμες σήμερα (Yebra and Catala, 2011, ANZECC, 2009, Hellio and Yebra, 2009, <http://www.nstcenter.com>, <http://www.sainc.com>), και έχουν βελτιστοποιηθεί σε ό,τι αφορά το κόστος και την απόδοση. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται αυτές οι νέες τεχνολογίες. Τέτοια προϊόντα είναι τα SeaQuantum, Seamate, Intersmooth 460-465, Intersmooth 7460HS, Sea Grandprix 1000/2000, Sea Grandprix 660 HS CF-10 (copper free), SylAdvance 800, Eco-Fleet 530, Alphagen 230/240, SeaCare Plus A/F 850, SeaCare A/F 795, Dynamic, Globic NCT, and Oceanic. Ορισμένα από αυτά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για διαστήματα δεξαμενισμού (dry-docking) μέχρι και 90 μήνες ([www.intersleek700.com](http://www.intersleek700.com), [www.intersmoothSPC.com](http://www.intersmoothSPC.com)).

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4, τα προϊόντα σιλυλιωμένων ακρυλικών (silylated acrylate, SA) ήδη προσφέρονται από τους περισσότερους κατασκευαστές υφαλοχρωμάτων, με αρκετά νέα προϊόντα να έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια (Risberg et al., 2010). Δύο εταιρείες ήδη διέθεταν προϊόντα SA όταν εγκαταλείφθηκαν τα οργανοκασσιτερικά υφαλοχρώματα από τους κύριους προμηθευτές το 2001, και πλέον διαθέτουν μια σειρά από νέα προϊόντα τα τελευταία χρόνια.

Πίνακας 4. Είδη υφαλοχρωμάτων

Product <sup>(A)</sup>	Description	Global Launch Date
A	SA	2000
B	SA	2008
C	Copper acrylate	First versions 1994
D	<b>Higher solids version</b>	2008
E	SA <sup>(B)</sup>	1995
F	Advanced fusion zinc acrylate ionomer	1995
G	SA	2009
H	Unknown	2009
I	<b>Pure organic SA</b>	2009
J	SA	
K	SA	
L	<b>Fiber-reinforced SA</b>	2002 (first version)
M	<b>Fiber-reinforced NanoCapsule Technology</b>	2006
N	Fiber-reinforced zinc carboxylate	2000

(A) οι συντομογραφίες περιγράφονται στο κείμενο

(B) από διαφορετικό προμηθευτή

(Πηγή: Yebra and Catala, 2011)

Υπάρχει πλέον μια τάση στροφής προς προϊόντα SA που παρέχουν καλή απόδοση και μειωμένο κόστος καυσίμων, ειδικά για τα σκάφη που επιτρέπεται να κυκλοφορούν για μέχρι 90 μήνες χωρίς δεξαμενισμό, όπως έχουν δείξει σχετικές έρευνες που απέδειξαν την αποτελεσματικότητα των SA για χρονικά διαστήματα μεγαλύτερα των 60 μηνών (<http://www.international-marine.com/>).

Τα υφαλοχρώματα SA επίσης εμφανίζουν ομαλότερη επιφάνεια κατά το service. Επιφάνειες που επικαλύφθηκαν με εμπορικό υφαλόχρωμα SA και με ακρυλικό υφαλόχρωμα χαλκού ελέγχθηκαν σε φυσικό θαλασσινό νερό. Μετά από περιφερειακή ταχύτητα μεγαλύτερη των 20,000 NM μετρήθηκε η μικρο-τραχύτητα των επιφανειών και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Το ακρυλικό υφαλόχρωμα χαλκού είχε 100% μεγαλύτερη τραχύτητα από το SA.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα των μετρήσεων της μικροτραχύτητας των επιφανειών ( $R_z$  η τραχύτητα 10 σημείων,  $R_a$  ο μέσος όρος τραχύτητας)

	Handysurf, $R_z$ ( $\mu\text{m}$ )	Interferometry, $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
SA	$5.82 \pm 0.08$	$0.92 \pm 0.1$
Cu-acrylate	$12.45 \pm 0.60$	$1.88 \pm 0.2$
Relative increase	114.0%	104.3%

(Πηγή: Yebra and Catala, 2011)

### 3.5 Κατανάλωση

Η αύξηση της αποδοτικότητας των καυσίμων μέσω της χρήσης νέων τεχνολογιών υφαλοχρωμάτων είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα για τους ιδιοκτήτες και χειριστές σκαφών, καθώς οι τιμές των καυσίμων συνεχίζουν να αυξάνουν. Τα υφαλοχρώματα, εκτός από την προστασία που παρέχουν από τον επιοικισμό και τη διάβρωση, αποτελούν σημαντικό παράγοντα που συνεισφέρει στην αύξηση της αποδοτικότητας καυσίμου του σκάφους και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Weinell et al., 2003, Pedersen and Larsen, 2009, Woods Hole Oceanographic Institution, 1952 <https://darchive.mblwhoilibrary.org/handle/1912/191>).

Ετησίως εκτιμάται ότι καταναλώνονται 300 εκατομμύρια τόνοι καυσίμου από τον παγκόσμιο στόλο, γεγονός που προκαλεί ανησυχία και για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς με αυτήν την κατανάλωση υπάρχουν εκπομπές της τάξεως των 960 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα και 9 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του θείου. Ο IMO εκτιμά ότι χωρίς διορθωτικές δράσεις και χωρίς την εισαγωγή νέων τεχνολογιών, οι εκπομπές αερίων από τα σκάφη παγκοσμίως αναμένεται να αυξηθούν μεταξύ 38% και 72% μέχρι το 2020.

Τα υφαλοχρώματα είναι μία μέθοδος αύξησης της αποδοτικότητας του καυσίμου. Χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ταχύτητας και της αποτελεσματικότητας των σκαφών εμποδίζοντας την προσκόλληση οργανισμών στα ύφαλα οι οποίοι θα περιόριζαν την κίνηση του σκάφους στο νερό. Αν τα σκάφη δεν χρησιμοποιούσαν υφαλοχρώματα, εκτιμάται ότι η κατανάλωση καυσίμου θα ήταν αυξημένη κατά 40%.

Η εξοικονόμηση κόστους που προκύπτει από την εξοικονόμηση καυσίμου λόγω της χρήσης υφαλοχρωμάτων υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 60 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως, και η εξοικονόμηση εκπομπών αερίων ρύπων σε 384 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα και 3.6 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του θείου ([http://findarticles.com/p/articles/mi\\_hb053/is\\_5\\_13/ai\\_n29437897/](http://findarticles.com/p/articles/mi_hb053/is_5_13/ai_n29437897/)).

Η μελλοντική αύξηση των τιμών των υφαλοχρωμάτων είναι πιθανή αν συνεχιστεί η τάση αύξησης της τιμής του χαλκού που παρατηρείται. Το κόστος του χαλκού είχε μεγάλη επίδραση στην αγορά αυξάνοντας σημαντικά το κόστος των υφαλοχρωμάτων. Ειδικότερα η αύξηση αυτή ήταν της τάξεως των 15%. Οπότε απαιτείται η ανάπτυξη νέας τεχνολογίας που να παρέχει καλή απόδοση και σχετικά χαμηλό κόστος.

Μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις στην αγορά των υφαλοχρωμάτων τα τελευταία χρόνια ήταν η απαγόρευση των οργανοκασσιτερικών ενώσεων από τον IMO που τέθηκε σε ισχύ τον Ιανουάριο του 2008.

Οι πέντε προμηθευτές υφαλοχρωμάτων παγκοσμίως είχαν συμφωνήσει να εξαλείψουν τα προϊόντα που περιείχαν TBT από τον Ιανουάριο του 2003, παρότι οι περιορισμοί του IMO δεν είχαν τεθεί ακόμη σε ισχύ. Στη συνέχεια η έμφαση δόθηκε στα υφαλοχρώματα χωρίς TBT (Yebra and Weinell, 2009). Τέτοιου είδους υφαλοχρώματα είναι αυτά της σειράς SeaQuantum και SeaForce (silyl-acrylate binder system) που κατασκευάστηκαν με σκοπό την αύξηση της απόδοσης και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Yebra et al., 2004).

Καθώς το κόστος των καυσίμων αυξάνει συνεχώς, η ικανότητα αυτο-λείανσης του SeaQuantum και του SeaForce είναι χρήσιμη για την εξοικονόμηση καυσίμου. Επίσης υπάρχει το SeaLion, υψηλής απόδοσης υφαλόχρωμα με βάση σιλικονη και χωρίς βιοκτόνα.

Επίσης το 2007 δημιουργήθηκε το Intersleek 900, υφαλόχρωμα με φθοροπολυμερές, χωρίς βιοκτόνα. Και αυτό είναι εξαιρετικά ομαλό με χαμηλά επίπεδα τραχύτητας των υφάλων σε συνδυασμό με πολύ καλή απόθεση οργανισμών και καλή αντίσταση σε μηχανική φθορά.

Τρία υφαλοχρώματα εξετάστηκαν σε διεθνή έρευνα (International Paint study). Τα προϊόντα είχαν την ακόλουθη σύνθεση:

- Υφαλόχρωμα με βιοκτόνο που περιείχε χαλκό,
- Υφαλόχρωμα απελευθέρωσης (foul-release) με βάση τεχνολογία σιλικόνης (Intersleek 700),
- Υφαλόχρωμα απελευθέρωσης (foul-release) με βάση τεχνολογία φθοροπολυμερούς (Intersleek 900).

Επειδή καθένα από αυτά τα προϊόντα είναι συστατικό ενός σχήματος βαφής, χρειάστηκε ανάλυση των προϊόντων που συμμετείχαν σε κάθε σχήμα. Ως αποτέλεσμα, ελέγχθηκαν έξι επικαλύψεις συμπεριλαμβανομένων των τριών που αναφέρθηκαν, μιας αντι-διαβρωτικής εποξυ-επικάλυσης, ενός epoxy tie-coat και μιας σιλικόνης tie-coat.

Τα υφαλοχρώματα με βιοκτόνο λειτουργούν απελευθερώνοντας το βιοκτόνο που απωθεί τους οργανισμούς και τους εμποδίζει να προσκολληθούν στο σκάφος. Όμως, το πρόβλημα είναι ότι τέτοιου είδους επικαλύψεις εκπλένονται με το χρόνο, με αποτέλεσμα να μειώνεται η δράση τους, και τα ύφαλα των σκαφών πρέπει να ξαναβάφονται σε κάθε δεξαμενισμό.

Το Intersleek 700, είναι επικάλυψη-υφαλόχρωμα με βάση τη σιλικόνη, και λειτουργεί λόγω της υδρόφοβης φύσης της επιφάνειάς του. Αυτό σημαίνει ότι οι θαλάσσιοι οργανισμοί μπορούν να συνδεθούν στην επιφάνεια με πολύ ασθενείς δεσμούς. Δεν απελευθερώνονται βιοκτόνα στο θαλάσσιο περιβάλλον αλλά η μηχανική τριβή μειώνει την αποτελεσματικότητα της επικάλυψης με το χρόνο, και η εξωτερική επικάλυψη αυτού του τύπου χρειάζεται ανανέωση κάθε πέντε χρόνια.

Το Intersleek 900, μια επικάλυψη-υφαλόχρωμα φθοροπολυμερούς, λειτουργεί μέσω της πολύ ομαλής και αμφίφιλης φύσης της επιφάνειάς του. Οι περισσότεροι οργανισμοί απωθούνται, ενώ όσοι τελικά προσκολλώνται στην επιφάνεια, προσκολλώνται με ασθενείς δυνάμεις. Και πάλι δεν υπάρχει απελευθέρωση βιοκτόνων. Η μηχανική διάβρωση μειώνει την αποτελεσματικότητα της επικάλυψης με το χρόνο και η εξωτερική επικάλυψη χρειάζεται ανανέωση κάθε πέντε χρόνια.



Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία που αφορούσαν την κατανάλωση πρωτογενών υλικών, την ενέργεια επεξεργασίας, την παραγωγή και διάθεση αποβλήτων, την τοξική δράση στο περιβάλλον, την τοξική δράση στον άνθρωπο και όλες τις εκπομπές, στον αέρα, το έδαφος και το νερό. Για παράδειγμα, το ενεργό συστατικό που χρησιμοποιήθηκε στο «παραδοσιακό» υφαλόχρωμα με βιοκτόνο, είναι το οξείδιο του χαλκού. Η διαδικασία θεώρησης του κύκλου ζωής για αυτό το προϊόν περιλαμβάνει:

- την εξόρυξη του χαλκού: πόρους που καταναλώνονται, εκπομπές ρύπων, καύσιμα που χρησιμοποιούνται, ανθρώπινη έκθεση, απόβλητα, κόστος μεταφοράς στο εργοστάσιο, εκ νέου κατανάλωση καυσίμων, εκπομπές, κόστος
- την επεξεργασία για τη μετατροπή του σε οξείδιο του χαλκού – καύσιμα που χρησιμοποιούνται, εκπομπές, απόβλητα, ανθρώπινη έκθεση, κόστος
- τη μεταφορά στη βιομηχανία χρωμάτων – καύσιμα, εκπομπές
- τη μετατροπή σε χρώμα – χρήση ενέργειας, εκπομπές, απόβλητα, ανθρώπινη έκθεση
- τη μεταφορά του προϊόντος στο καρνάγιο – καύσιμα, εκπομπές
- την εφαρμογή του χρώματος στο σκάφος - τοξικότητα στο περιβάλλον και τον άνθρωπο, καύσιμο που χρησιμοποιείται, εκπομπές, απόβλητα και διάθεσή τους
- το πλοίο εισέρχεται στην κυκλοφορία – εξοικονόμηση καυσίμου, εξοικονόμηση εκπομπών, μεγαλύτερες ταχύτητες, διάλυση του οξειδίου του χαλκού στον ωκεανό
- δεξαμενισμός – τοξικότητα στον άνθρωπο και το περιβάλλον, κατανάλωση καυσίμου, εκπομπές, παραγωγή και διάθεση αποβλήτων
- το πλοίο εισέρχεται εκ νέου στην κυκλοφορία – εξοικονόμηση καυσίμου, εξοικονόμηση εκπομπών, μεγαλύτερες ταχύτητες, διάλυση του οξειδίου του χαλκού στον ωκεανό

Για την ανάλυση επιλέχθηκε σκάφος 300,000 dwt Very Large Crude Carrier (VLCC) με ταχύτητα 15 κόμβων, δραστηριότητα 80% και κατανάλωση βαρέος καυσίμου περίπου 100 τόνους ημερησίως, με αντίστοιχες εκπομπές αερίων ρύπων 320 τόνους διοξειδίου του άνθρακα, έξι τόνους οξειδίων του θείου και 0.5 τόνους οξειδίων του αζώτου.

Υιοθετήθηκε κύκλος ζωής της επικάλυψης 15 χρόνων κατά τον οποίο το VLCC θα επικαλυπτόταν 3 φορές – μία κατά τη ναυπήγησή του, και δύο ακόμη σε επόμενους δεξαμενισμούς. Υιοθετήθηκε η υπόθεση ότι στο τέλος της 15ετούς περιόδου, τα ύφαλα του σκάφους θα έπρεπε να καταστραφούν και να ανανεωθούν όλες οι επικαλύψεις.

Με βάση τα αποτελέσματα, το υφαλόχρωμα Intersleek 900 ήταν το πλέον αποτελεσματικό, τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά, λόγω των μέγιστων εξοικονομήσεων καυσίμων και της αντίστοιχης μείωσης των εκπομπών, αλλά και λόγω των δραστικά μειωμένων όγκων χρώματος που απαιτούνται.

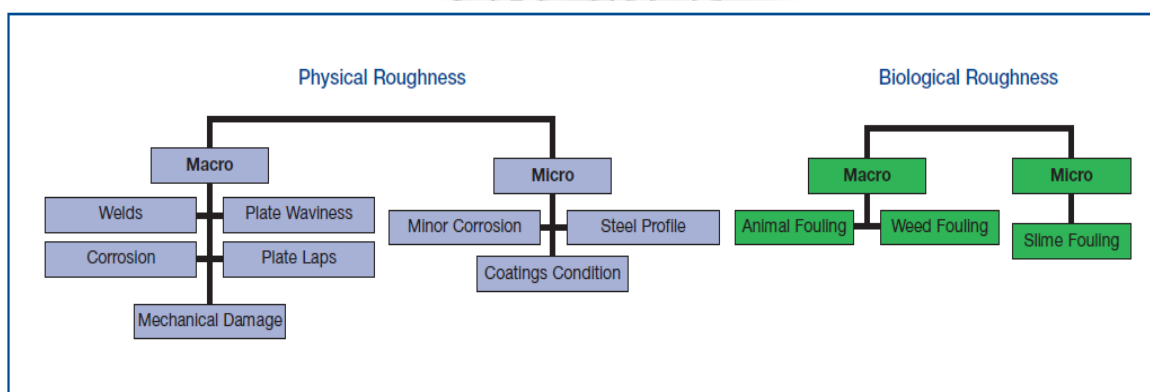
Η οικονομική σημασία της κατάστασης των υφάλων των σκαφών κάτω από το νερό είναι μεγάλη. Οποιαδήποτε αύξηση στην υποθαλάσσια τραχύτητα μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μία σημαντική αύξηση του λειτουργικού κόστους του σκάφους (Hundley et al., 1998, 1999, ICS&ISF, 2009, Eco-efficiency, 2010). Η σύνοδος του IMO «Convention on the Control of Harmful Antifoulings on Ships» και η συζήτηση που ακολούθησε έδειξαν ότι οι αρχές της τραχύτητας των υφάλων καθώς και οι επιδράσεις και το κόστος της αυξημένης τραχύτητας δεν έχουν γίνει ακόμη πλήρως κατανοητές.

Η International Paint δημιούργησε έναν «υπολογιστή επιπτώσεων τραχύτητας», τον 'Hull Roughness Penalty Calculator'. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα software που προβλέπει την αναπόφευκτη αύξηση της υποθαλάσσιας τραχύτητας των υφάλων για δεδομένη χρονική περίοδο κυκλοφορίας του σκάφους και τη συνδυάζει με τον κίνδυνο αποικισμού σε σχέση με διαφορετικούς τύπους υφαλοχρωμάτων. Στη συνέχεια το πρόγραμμα συγκρίνει τη χρήση καυσίμου του σκάφους και το κόστος με το κόστος εφαρμογής των διαφόρων υφαλοχρωμάτων χωρίς TBT και των συστημάτων επικαλύψεων-υφαλοχρωμάτων και επίσης υπολογίζει τις εκπομπές (CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>) που σχετίζονται με την επιπρόσθετη κατανάλωση καυσίμου.

Το πρόγραμμα είναι χρήσιμο κατά τη διαδικασία επιλογής επικάλυψης συγκρίνοντας την προβλεπόμενη αύξηση ισχύος και καυσίμου με την πάροδο του χρόνου για τα υφαλοχρώματα Intersleek 700, Intersmooth SPC, Interswift 655 and Interspeed 340 και προβλέποντας τη διαφορά στο κόστος καυσίμου και την εξοικονόμησή του.

Υπάρχουν δύο τύποι τραχύτητας των υφάλων των σκαφών: η φυσική και η βιολογική (αποικισμός) (Schultz, 1999-2007, Coutts and Dodgshun, 2007). Καθένας από αυτούς τους τύπους έχει τα δικά του μακρο- (μεγάλης κλίμακας) και μικρο- (μικρής κλίμακας) χαρακτηριστικά (Σχήμα 9):

- Η μακρο-φυσική τραχύτητα οφείλεται κυρίως στον κυματισμό, τις συγκολλήσεις και τη μηχανική καταστροφή και διάβρωση.
- Η μακρο-βιολογική τραχύτητα οφείλεται κυρίως σε αποικισμό από οργανισμούς.
- Η μικρο-φυσική τραχύτητα μπορεί να οφείλεται στο μεταλλικό προφίλ, τη μικρο-διάβρωση και την κατάσταση των επικαλύψεων.
- Η μικρο-βιολογική τραχύτητα οφείλεται κυρίως στη συσσώρευση ακαθαρσιών /λάσπης.



Σχήμα 9. Φυσική και βιολογική τραχύτητα

(Πηγή: Taylan, 2010)

Examples of how coatings condition can influence hull roughness:

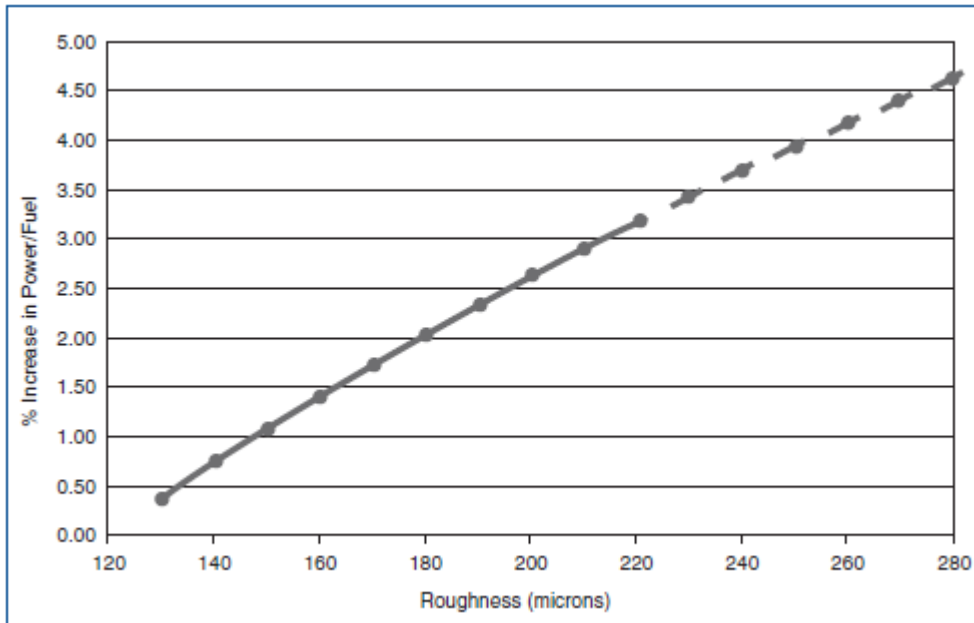


Σχήμα 10. Παραδείγματα τρόπων με τους οποίους η κατάσταση των επικαλύψεων επηρεάζει την τραχύτητα των υφάλων

(Πηγή: [www.international-marine.com](http://www.international-marine.com))

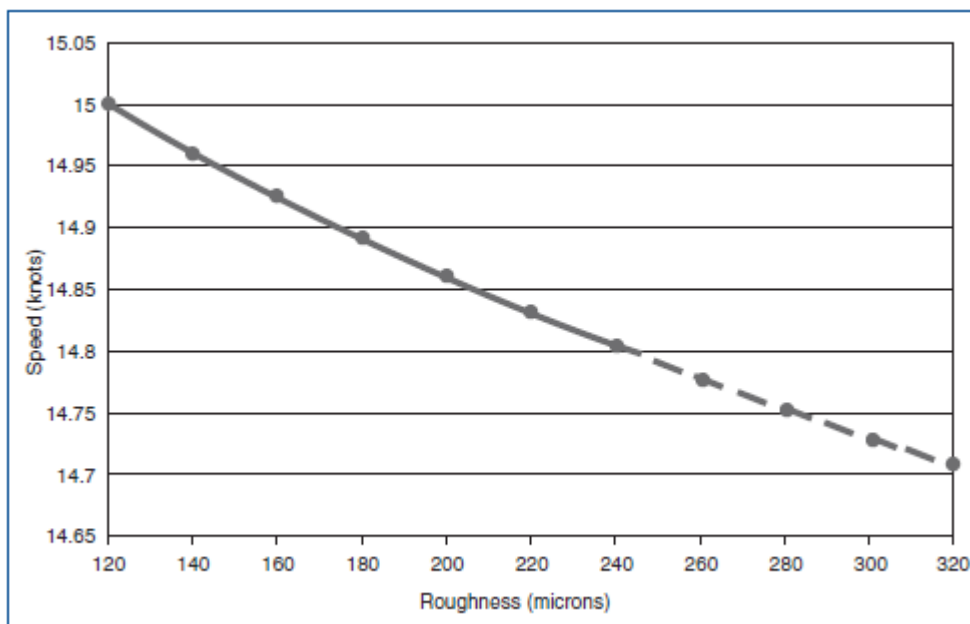
Οποιαδήποτε αύξηση της τραχύτητας των υφάλων θα προκαλέσει αύξηση στην αντίσταση λόγω τριβών, με αποτέλεσμα επιπρόσθετη απαίτηση ισχύος με αυξημένη κατανάλωση καυσίμου και κόστους ώστε να διατηρηθεί η ταχύτητα του σκάφους. Αντίστροφα, η διατήρηση σταθερής ισχύος θα μειώσει την ταχύτητα του σκάφους και θα αυξήσει τους χρόνους πλεύσης (U.S. Navy, 2006, <http://www.supsalv.org/pdf/s9086-cq-stm-010.pdf>, U.S. Navy Research Laboratory 2000, <http://chemistry.nrl.navy.mil/6110/6113/duplexsilicone.php>).

Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η τυπική αύξηση της χρήσης καυσίμου για τη διατήρηση της ταχύτητας του σκάφους (τάνκερ), σε σχέση με την αυξανόμενη τραχύτητα, και στο Σχήμα 12 η τυπική μείωση της ταχύτητας του σκάφους (τάνκερ) αυξανόμενης της τραχύτητας.



Σχήμα 11. Η τυπική αύξηση της χρήσης καυσίμου για τη διατήρηση της ταχύτητας του σκάφους, σε σχέση με την αυξανόμενη τραχύτητα

(Πηγή: [www.international-marine.com](http://www.international-marine.com))



Σχήμα 12. Η τυπική μείωση της ταχύτητας του σκάφους αυξανόμενης της τραχύτητας.

(Πηγή: [www.international-marine.com](http://www.international-marine.com))

### *Πώς επηρεάζεται η τραχύτητα από τον τύπο του υφαλοχρώματος*

Κατά τη δεκαετία 1976 – 1986, πραγματοποιήθηκαν δύο σημαντικές έρευνες για την τραχύτητα των υφάλων των σκαφών. Οι έρευνες αυτές έδειξαν ότι, με την πάροδο του χρόνου, η τραχύτητα των υφάλων των σκαφών αυξάνεται λόγω μηχανικής φθοράς από τις αλυσίδες της άγκυρας, ρυμουλκά, ελλιμενισμό κ.λπ. καθώς και λόγω μηχανικής φθοράς, «σκασιμάτων», αποκολλήσεων, διάβρωσης κλπ των εφαρμοζόμενων επικαλύψεων. Η αύξηση της τραχύτητας βρέθηκε ότι διέφερε σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του υφαλοχρώματος που είχε χρησιμοποιηθεί. Με τη χρήση των «παραδοσιακών» υφαλοχρωμάτων, η αύξηση της μέσης τραχύτητας των υφάλων (Average Hull Roughness, AHR) με το χρόνο βρέθηκε ότι ήταν 40 μικρά το χρόνο. Ένα μέρος της αύξησης αυτής αποδόθηκε στους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω και ένα άλλο μέρος στη βαφή συντήρησης σε κάθε δεξαμενισμό. Οι αποικίες είχαν αφαιρεθεί πριν τη μέτρηση της τραχύτητας.

Για τα υφαλοχρώματα Self Polishing Copolymer (SPC), η μέση αύξηση της τραχύτητας βρέθηκε ότι ήταν σημαντικά μικρότερη, στα 20 μικρά ετησίως. Αυτή η μείωση είναι αποτέλεσμα της γυαλιστικής και εξομαλυντικής δράσης των υφαλοχρωμάτων SPC. Από το 1986, τα «παραδοσιακά» υφαλοχρώματα τροποποιήθηκαν με ρητίνες και τώρα ονομάζονται υφαλοχρώματα “Controlled Depletion Polymer” (CDP), όπως π.χ. το Interspeed 340. Η αύξηση της AHR αυτών των επικαλύψεων είναι περίπου 40 μικρά ετησίως.

Εκτός από τα CDP, υπάρχουν τρεις ακόμη τεχνολογίες που περιγράφονται ως εξής:

- Τεχνολογία «Foul Release» (Intersleek 425 and Intersleek 700).

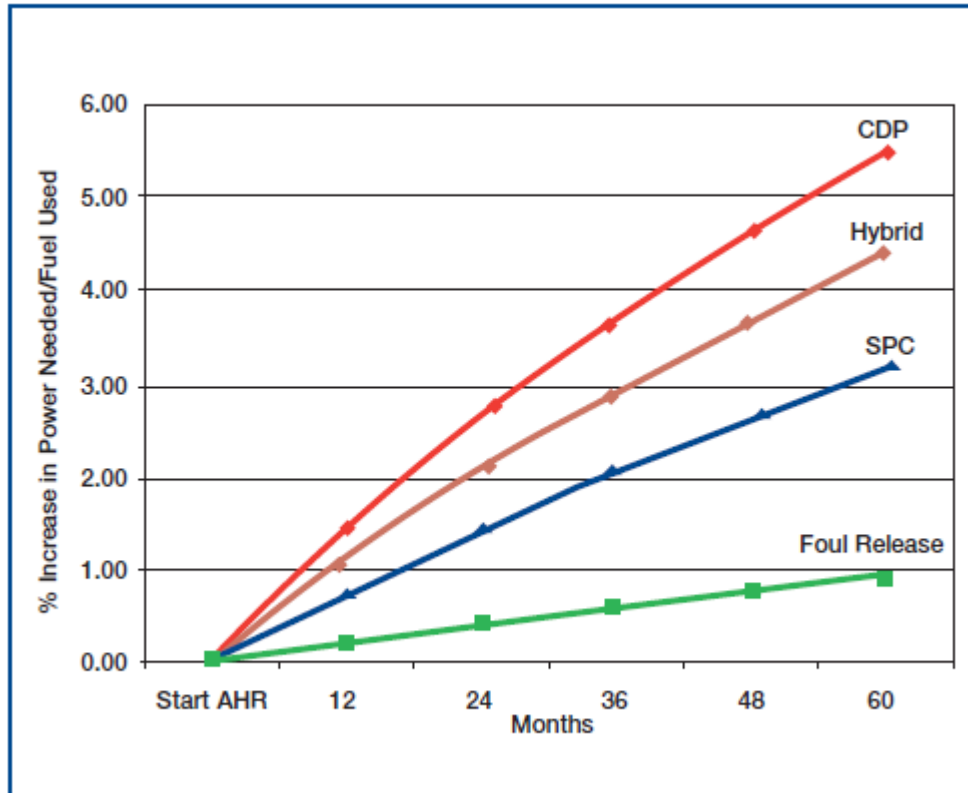
Αυτά τα υφαλοχρώματα δεν χρησιμοποιούν βιοκτόνα για τον έλεγχο των οργανισμών, αλλά βασίζονται στη γλιστερή, αντικολλητική επιφάνεια ώστε να δυσκολεύουν την προσκόλλησή τους στα ύφαλα. Αυτά τα υφαλοχρώματα προσδίδουν μια πολύ ομαλή επιφάνεια και επειδή το κόστος εφαρμογής τους είναι σχετικά μεγάλο, οι ιδιοκτήτες και χειριστές σκαφών είναι γενικά πολύ προσεκτικοί ώστε να αποφύγουν τη φθορά σε σκάφη επικαλυμμένα με αυτά τα προϊόντα. Η AHR εκτιμάται ότι είναι μόνο 5 μικρά το χρόνο.

- Τεχνολογία «TBT Free» SPC (Intersmooth SPC).

Τα υφαλοχρώματα αυτά έχουν δοκιμαστεί σε περισσότερα από 1.600 σκάφη παγκοσμίως και αποδείχτηκε ότι παρέχουν παρόμοιο επίπεδο αποτελεσματικότητας με εκείνο που επιτυγχάνεται με προϊόντα TBT SPC. Η αύξηση της AHR εκτιμάται στα 20 μικρά ετησίως, ίδια με τα προϊόντα TBT SPC.

- Τεχνολογία υβριδικών «TBT Free» Self Polishing υφαλοχρωμάτων (Interswift 655).

Αυτή η τεχνολογία προσφέρει μια ισορροπία των ιδιοτήτων των τύπων CDP και SPC με αποτελεσματικότητα και αύξηση AHR κάπου μεταξύ των δύο στα 30 μικρά το χρόνο. Το πρόγραμμα International Paint Hull Roughness Penalty Calculator εκτιμά την αύξηση στην ισχύ που απαιτείται με την πάροδο του χρόνου για τις τέσσερις κύριες τεχνολογίες που περιγράφηκαν με βάση τη μέση αύξηση της φυσικής τραχύτητας ετησίως. Η αρχική τραχύτητα θεωρείται 120 μικρά που είναι η κατά προσέγγιση τιμή της τραχύτητας σε καινούριο σκάφος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 13:



Σχήμα 13: Εκτιμώμενη αύξηση στην ισχύ που απαιτείται/τα καύσιμα που χρειάζονται για ένα τυπικό Container λόγω της αυξανόμενης φυσικής τραχύτητας των υφάλλων, για διαφορετικούς τύπους υφαλοχρωμάτων, σε συνάρτηση του χρόνου.

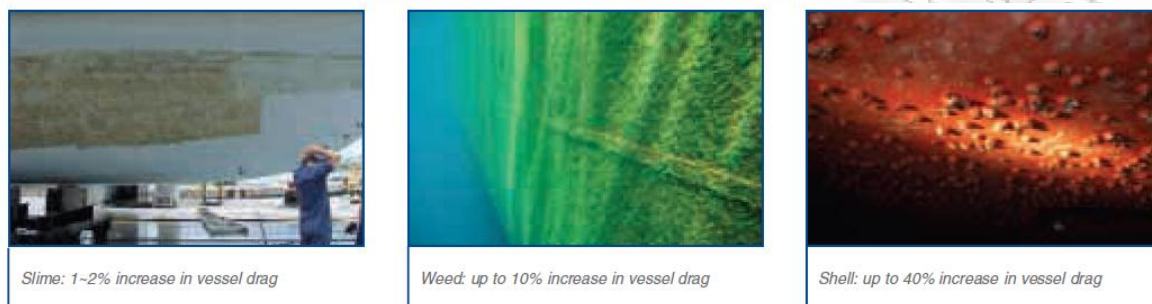
(Πηγή: Taylan, 2010)

*Ο κίνδυνος και η επίδραση του αποικισμού σε υφαλοχρώματα TBT Free Antifouling και Foul Release*

Ο αποικισμός είναι ένα βιολογικό φαινόμενο του οποίου η εμφάνιση είναι δύσκολο να προβλεφθεί και να ελεγχθεί. Ο τύπος, η ένταση και η έκταση στην οποία συμβαίνει ποικίλλει κατά πολύ, ανάλογα με τον τύπο του υφαλοχρώματος και το προφίλ του σκάφους (ταχύτητα και δραστηριότητα). Μόνο με τη μελέτη ενός μεγάλου αριθμού σκαφών για μακρές χρονικές περιόδους μπορούν να εξαχθούν στατιστικά αξιόπιστες πληροφορίες (Steinberg et al., 2002, Sanchez and Yebra, 2009).



Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται η αύξηση της τραχύτητας ανάλογα με το είδος των οργανισμών που προσκολλώνται στα ύφαλα του σκάφους.



Σχήμα 14. Αύξηση της τραχύτητας ανάλογα με το είδος των οργανισμών (λάσπη, φύκη, όστρακα)

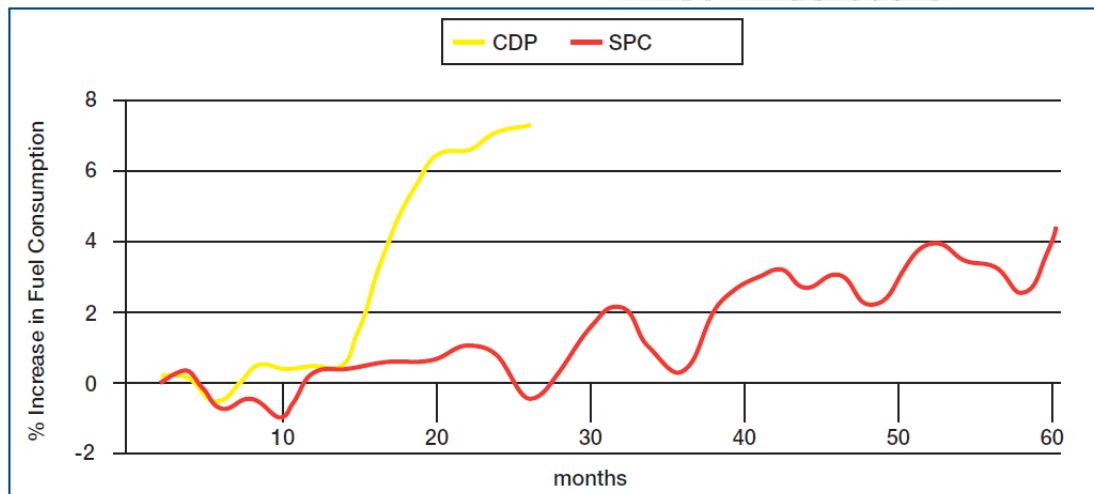
(Πηγή: [www.international-marine.com](http://www.international-marine.com))

Η International Paint παρακολουθεί την αποτελεσματικότητα όλων των υφαλοχρωμάτων της μέσω ενός συστήματος που ονομάζεται Datarplan. Από το 1977, το Datarplan έχει καταγράψει τις λεπτομέρειες της υποθαλάσσιας κατάστασης των υφάλων για πάνω από 70.000 σκάφη. Όταν ένα σκάφος μπαίνει στο δεξαμενισμό, ο τύπος, η ένταση και η έκταση του αποικισμού στις πλευρές και στον πυθμένα καταγράφονται. Από αυτή την πληροφορία το Datarplan μπορεί να υπολογίσει τον παράγοντα “Fouling Rating” σε κλίμακα από 0 (εντελώς καθαρό) έως 100 (εντελώς αποικισμένο). Έχοντας έναν ικανοποιητικό αριθμό σκαφών, η μέση βαθμολογία με το χρόνο, που είναι ένα μέτρο του κινδύνου αποικισμού για τους διάφορους τύπους υφαλοχρωμάτων, μπορεί να εκτιμηθεί με μεγαλύτερο βαθμό αξιοπιστίας.

Αν 100% φύκη προσκολληθούν στις κάθετες πλευρές ενός σκάφους (Datarplan Fouling Rating = 100) τότε η τυπική εμπειρία από χειριστές του σκάφους δείχνει ότι επέρχεται τουλάχιστον 10% αύξηση στην κατανάλωση καυσίμου. Χρησιμοποιώντας αυτήν την ισοδυναμία, η αύξηση επί τοις % στην κατανάλωση καυσίμου με το χρόνο λόγω του αποικισμού σε διαφορετικά συστήματα υφαλοχρωμάτων μπορεί να

υπολογιστεί με βάση τις μέσες βαθμολογίες τους από το Datarplan (βαθμολογία 10 ή λιγότερο δείχνει ικανοποιητική αποτελεσματικότητα).

Στο Σχήμα 15 παρουσιάζεται η αύξηση στην κατανάλωση καυσίμου για δύο ίδια σκάφη container, ένα εκ των οποίων επικαλυμμένο με υφαλόχρωμα CDP και το άλλο με υφαλόχρωμα SPC. Αρχικά, παρατηρήθηκε μικρή διαφορά μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων, αλλά μετά από 18 μήνες το σκάφος με επικάλυψη CDP απέκτησε αποικίες σε τμήμα των κάθετων πλευρών του με αποτέλεσμα δραματική αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου.



Σχήμα 15: Κατανάλωση καυσίμου σε όμοια σκάφη Container με επικαλύψεις υφαλοχρώματος CDP και SPC

(Πηγή: [www.international-marine.com](http://www.international-marine.com))

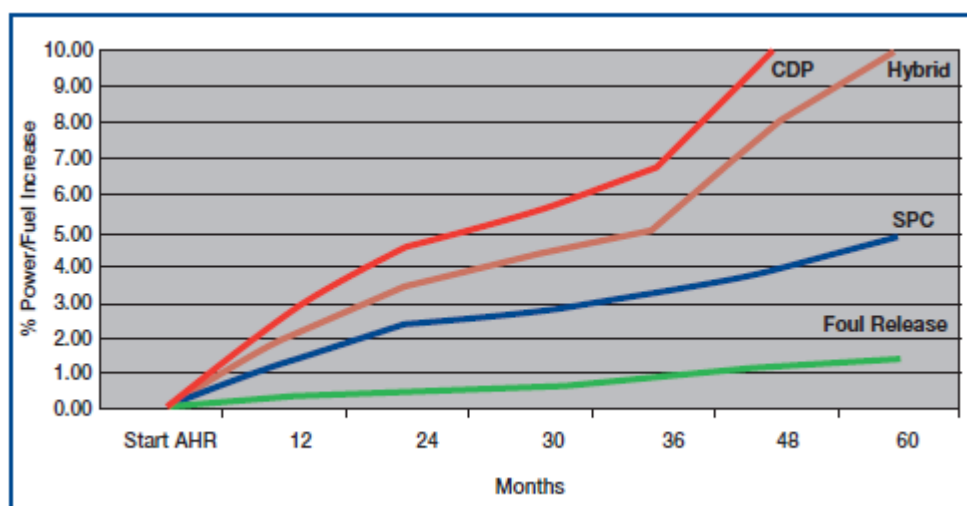
*Η συνδυασμένη επίδραση της φυσικής τραχύτητας και του κινδύνου αποικισμού στην ισχύ και την απαίτηση σε καύσιμα*

Οι συνδυασμένες επιδράσεις της αυξημένης φυσικής τραχύτητας καθώς και του κινδύνου αποικισμού για τους διάφορους τύπους υφαλοχρωμάτων στην ισχύ και την απαίτηση καυσίμων ώστε να διατηρηθεί η τραχύτητα του σκάφους παρουσιάζεται στα Σχήματα 16 και 17.

Πρέπει να σημειωθεί ότι:

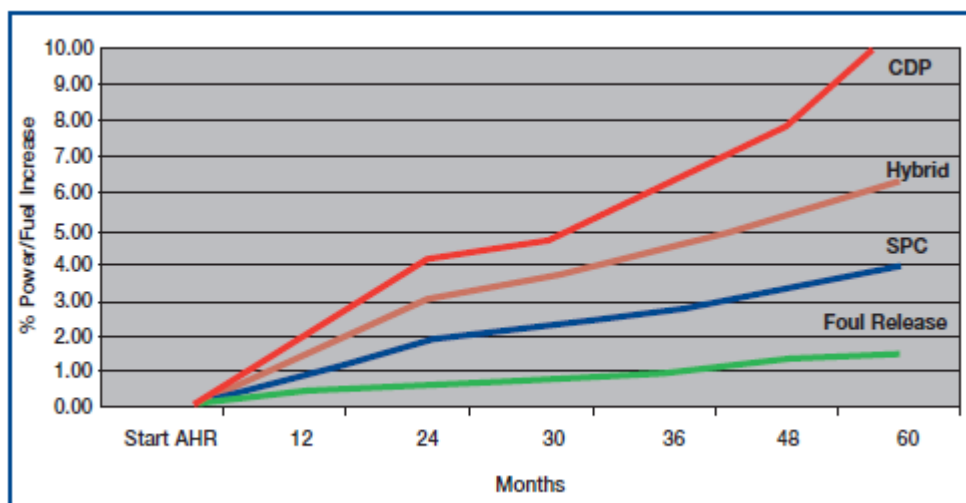
1) Συνήθως υπάρχει λιγότερος αποικισμός από φυτικούς οργανισμούς στον πυθμένα λόγω του ότι η ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας είναι μειωμένη, οπότε σε αυτήν την περίπτωση η αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου θα είναι μικρότερη σε σχέση με τις κάθετες πλευρές.

2) Εφόσον οι τεχνολογίες CDP και υβριδικών υφαλοχρωμάτων δεν σχεδιάζονται για χρονικό διάστημα πλεύσης μεγαλύτερο των 36 μηνών, η αύξηση κατανάλωσης καυσίμου λόγω αποικισμού των κάθετων πλευρών αυξάνει απότομα μετά τους 36 μήνες.



Σχήμα 16. Συνολική % αύξηση ισχύος/καυσίμου για τυπικό Container σε συνάρτηση με το χρόνο για διαφορετικούς τύπους υφαλοχρωμάτων – κάθετες πλευρές

(Πηγή: [www.international-marine.com](http://www.international-marine.com))



Σχήμα 17. Συνολική % αύξηση ισχύος/καυσίμου για τυπικό Container σε συνάρτηση με το χρόνο για διαφορετικούς τύπους υφαλοχρωμάτων – επίπεδος πυθμένας (Πηγή: [www.international-marine.com](http://www.international-marine.com))

#### *Κατανάλωση καυσίμου του σκάφους*

Η κατανάλωση υποβάθρου (baseline) καυσίμου ετησίως για ένα συγκεκριμένο σκάφος μπορεί να υπολογιστεί από την ημερήσια χρήση καυσίμου (τόνους/ημέρα) πολλαπλασιάζοντας με τον αριθμό των ημερών στη θάλασσα το χρόνο. Πολλαπλασιάζοντας αυτόν τον αριθμό με  $(1 + \text{τη μέση ετήσια επιπρόσθετη } \%)$  χρήση καυσίμου που παρουσιάζεται στο Σχήμα 16 (κάθετες πλευρές) και στο Σχήμα 17 (επίπεδος πυθμένας), και αθροίζοντας αυτές τις τιμές για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, βρίσκοντας τη συνολική κατανάλωση καυσίμου (σε τόνους) για κάθε τύπο υφαλοχρώματος. Το συνολικό αθροιστικό κόστος καυσίμου υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την τιμή αυτή με την τιμή ανά τόνο καυσίμου.

#### *Drydocking*

Ο στόχος των νέων τεχνολογιών υφαλοχρωμάτων είναι η μικρότερη συχνότητα δεξαμενισμού (drydocking), για τη μείωση του κόστους και της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει τα υφαλοχρώματα να διατηρούν τις επιφάνειες καθαρές από οργανισμούς για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα (Σχήμα 18,

19). Αυτό ήταν δυνατό με τις «παραδοσιακές» τεχνολογίες TBT, αλλά λόγω της υψηλής τοξικότητας και της απαγόρευσής τους, η έρευνα στρέφεται προς άλλου τύπου υφαλοχρώματα και επιδιώκει τη μείωση της συγκρότησης του drydocking.



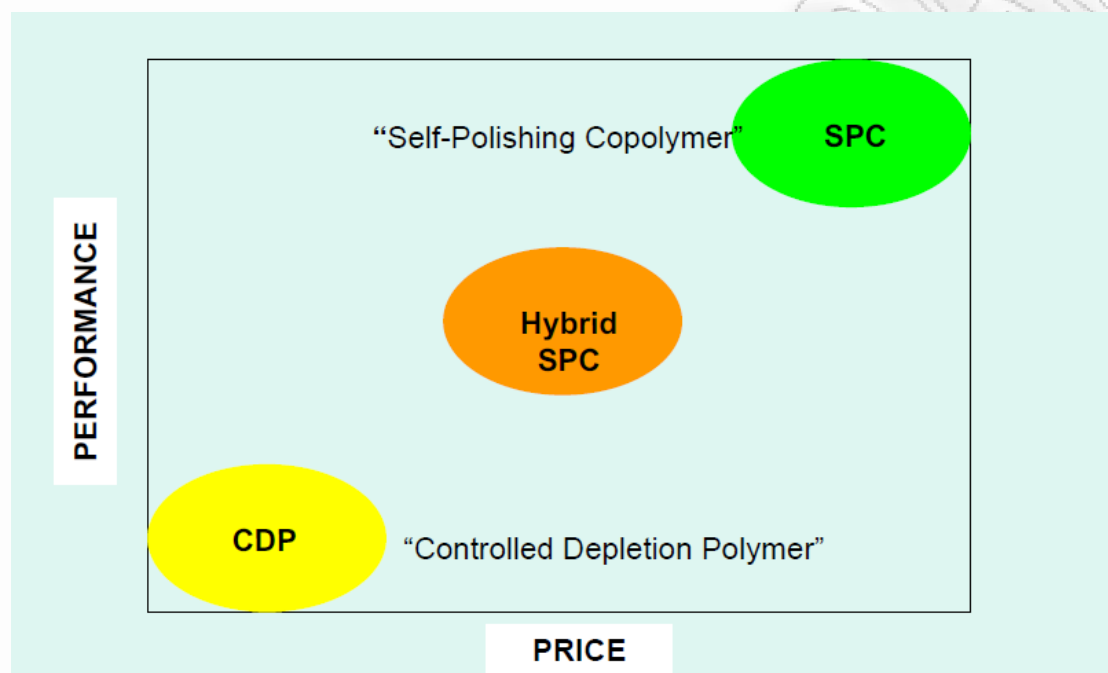
Σχήμα 18. Στατική βύθιση επιφανειών (Lewis, 2008).



Σχήμα 19. Επιφάνειες μετά από περιστροφή μετά τη στατική βύθιση (Lewis, 2008).

Οι νέες τεχνολογίες όπως SPC και CDP, προσφέρουν μεγαλύτερη διάρκεια, ορισμένες μέχρι και 90 μήνες, έως το επόμενο drydocking (<http://www.international-marine.com/Literature/AntifoulingCoatingsRangeBrochure.pdf>)

Η απόδοση αυτών των τεχνολογιών υφαλοχρωμάτων σε συνάρτηση με το κόστος τους παρουσιάζεται στο Σχήμα 20 (Lewis, 2008).



Σχήμα 20. Απόδοση των τεχνολογιών υφαλοχρωμάτων CDP, SPC σε συνάρτηση με το κόστος (Πηγή: Lewis, 2008)

### **3.6 Επίδραση θερμοκρασίας θαλασσών στην απόδοση της γάστρας**

Η αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών, που αναμένεται να υπάρξει με βάση τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής και της υπερθέρμανσης του πλανήτη που ήδη παρατηρείται, εκτιμάται ότι θα επηρεάσει αρνητικά την απόδοση στη γάστρα του πλοίου, καθώς θα ενισχύσει τους ρυθμούς ανάπτυξης των οργανισμών στα ύφαλα των σκαφών και θα αυξήσει τις ανάγκες αντιμετώπισής τους, καθώς και τις ανάγκες σε καύσιμα για τα πλοία (Perkins, 2011).

Οι Coutts et al. (2010) πραγματοποίησαν έρευνα της αντοχής των οργανισμών στη γάστρα του πλοίου σε διάφορες ταχύτητες (χαμηλή, μεσαία, γρήγορη, εύρος 4.0-21.5 κόμβων), και συμπέραναν ότι τόσο η κάλυψη όσο και ο εμπλουτισμός με οργανισμούς ήταν σημαντικά αυξημένος στην περίπτωση των χαμηλών ταχυτήτων (<14 κόμβων). Αν λάβουμε υπόψη τη μείωση της ταχύτητας που επέρχεται λόγω του εποικισμού της γάστρας του πλοίου, ο οποίος είναι μεγαλύτερος σε μεγαλύτερη θερμοκρασία, αυτό αποτελεί έναν παράγοντα για περαιτέρω μείωση της απόδοσης της γάστρας του πλοίου. Η διατήρηση της ίδιας ταχύτητας, θα συνεπάγεται μεγαλύτερη κατανάλωση και κόστος καυσίμου όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (Coutts et al., 2010).

Οι Woodhead and Moss (2007) κατά την έρευνά τους για το είδος *Enteromorpha*, από τα σημαντικότερα είδη που εγκαθίστανται στις γάστρες των πλοίων, διαπίστωσαν ότι ο ρυθμός γονιμοποίησής τους υπερδιπλασιάζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας από τους 10 στους 20°C (Woodhead and Moss, 2007).

Οι Kiil et al., (2002) πραγματοποίησαν προσομοίωση self-polishing υφαλοχρώματος που εκτέθηκε σε θαλασσινό νερό, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές παραμέτρους θερμοκρασία, pH, αλατότητα καθώς και την ταχύτητα του σκάφους και διαπίστωσαν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την έκπλυση του υφαλοχρώματος. Οι ερευνητές αναφέρουν ότι η μεταβολή στη θερμοκρασία του θαλασσινού νερού επηρεάζει τις σταθερές υδρόλυσης, διάλυσης και διάχυσης (Kiil et al., 2002). Από τα αποτελέσματα αυτά γίνεται φανερό πως θα απαιτείται τακτικότερη ανανέωση του υφαλοχρώματος σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας, για το λόγο ότι με την ταχύτερη έκπλυση, θα δίνεται η δυνατότητα εποικισμού της γάστρας από οργανισμούς.

Ο Lewis (1999) διερεύνησε τον αποικισμό της γάστρας πλοίων από μύδια, και ειδικότερα το είδος *M. Galloprovincialis*, για το οποίο παρατηρήθηκε αυξημένος εποικισμός σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Επίσης παρατηρήθηκαν μεγαλύτεροι πληθυσμοί του είδους σε περιπτώσεις ευτροφικών συνθηκών, οι οποίες αναμένεται να είναι συχνότερες σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας. Ταυτόχρονα, σε τέτοιου

είδους συνθήκες αναπτύσσονται σε υπέρμετρο βαθμό και άλλα είδη, τα οποία συνεισφέρουν στην ανάπτυξη των μυδιών (Lewis, 1999, Byers, 2000, Didham et al., 2005). Ο Lewis (1999) αναφέρει ότι σε μελέτη στη Σιγκαπούρη διαπιστώθηκε ότι ο εποικισμός σε θερμά τροπικά νερά κατά τη διάρκεια ενός έτους ήταν σημαντικά μεγαλύτερος από εκείνον σε ψυχρότερα νερά.

Οι Emara and Belal (2004) πραγματοποίησαν διερεύνηση του αποικισμού σκαφών από μικροοργανισμούς στη διώρυγα του Σουέζ από το φθινόπωρο του 2002 μέχρι και το καλοκαίρι του 2003, και διαπίστωσαν συσχετίσεις με τη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού κατά τη διάρκεια της έρευνας κυμάνθηκε από 17.56 έως 30.70 °C. Οι ερευνητές ανίχνευσαν συνολικά 114 είδη οργανισμών (κυρίως φύκη, υδροειδή, βρυόζωα, πολύχαιτους, αμφίποδα, ισόποδα και δεκάποδα) που εμπλέκονται στον εποικισμό των panel του πειράματος, τα οποία είχαν τοποθετηθεί σε βάθος 2 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η συνολική βιομάζα των μικροοργανισμών ήταν μεγαλύτερη σε περιόδους με αυξημένη θερμοκρασία. Ειδικότερα, το καλοκαίρι ανερχόταν σε  $70 \text{ g } 10^{-2}\text{cm}^{-2}$  ενώ το χειμώνα ήταν μόλις  $24 \text{ g } 10^{-2}\text{cm}^{-2}$  (Πίνακας 6). Οι ερευνητές, κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με εκείνα προηγούμενων ερευνητών για τη θερινή περίοδο στην ίδια περιοχή, ήδη διαπιστώνουν αύξηση: ειδικότερα οι μέγιστες ποσότητες βιομάζας που είχαν ανιχνευτεί ήταν  $38 \text{ g } 10^{-2}\text{cm}^{-2}$  το 1991,  $45.1 \text{ g } 10^{-2}\text{cm}^{-2}$  το 1992,  $47 \text{ g } 10^{-2}\text{cm}^{-2}$  το 1994 και το  $27.8 \text{ g } 10^{-2}\text{cm}^{-2}$  το 2002.



Πίνακας 6. Εποχιακές μεταβολές της βιομάζας εποίκισμού στους σταθμούς δειγματοληψίας στη διώρυγα του Σουέζ, από το φθινόπωρο του 2002 μέχρι το καλοκαίρι του 2003, με εύρος θερμοκρασίας θαλασσινού νερού 17.56 έως 30.70 °C

Σταθμοί δειγματοληψίας	Φθινόπωρο 2002 (Σεπ.-Νοέ.)	Χειμώνας 2003 (Δεκ.-Φεβ.)	Άνοιξη 2003 (Μαρ.-Μαϊ.)	Καλοκαίρι 2003 (Ιούν.-Αύγ.)
	Συνολική βιομάζα (g 10 <sup>-2</sup> cm <sup>-2</sup> )			
1	35	24	32	43
2	38	26	35	50
3	42	29	38	51
4	46	31	42	55
5	52	35	46	58
6	56	37	50	63
7	63	44	56	70
8	60	42	53	67
Μέσος όρος	49	33.5	44	57.1

(Πηγή: Emara and Belal, 2004)

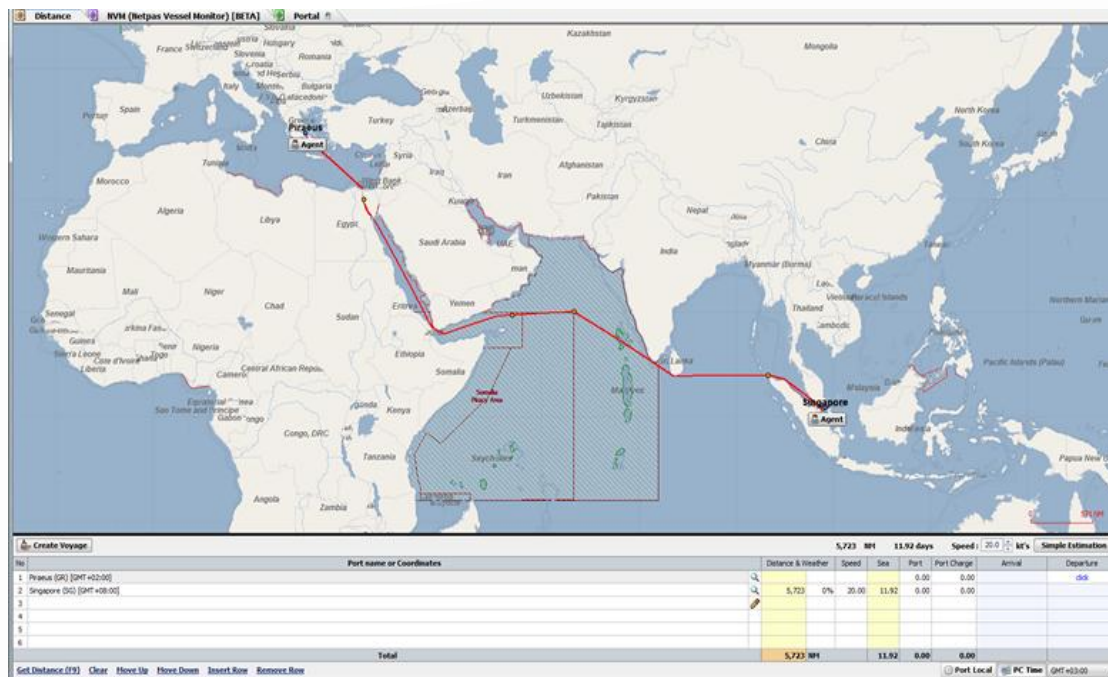
Οι Pedersen and Larsen (2009) αναφέρουν την επίδραση της θερμοκρασίας του νερού στην απόδοση της γάστρας του πλοίου. Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού επηρεάζει την πυκνότητα και το ιζώδες του, και κατ' επέκταση την αντίσταση. Η διαφορά πλεύσης μεταξύ 0 °C και 30 °C δίνει αντίσταση λόγω τριβής 7% (Pedersen and Larsen, 2009).

Ο Perkins (2011) αναφέρει ότι στις θάλασσες που αναμένεται να είναι θερμότερες στο μέλλον, λόγω της κλιματικής αλλαγής, η θαλάσσιοι οργανισμοί που αναπτύσσονται στη γάστρα του πλοίου θα αναπτύσσονται ταχύτερα και θα δημιουργούν παχύτερα στρώματα, γεγονός που θα συνεισφέρει με ποσά της τάξης των δισεκατομμυρίων στην αύξηση του κόστους της παγκόσμιας ναυτιλίας. Σε ένα μεγάλο σκάφος το βάρος των αποικιών των οργανισμών μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 10 τόνους. Αυτό συνεπάγεται μεγάλο κόστος. Σύμφωνα με μια μελέτη, η

ναυτιλιακή βιομηχανία στις ΗΠΑ ξοδεύει περισσότερα από 36 δις δολάρια το χρόνο σε επιπλέον καύσιμα για την αντιμετώπιση της επιβράδυνσης που προκαλείται από τους οργανισμούς, ή για υφαλοχρώματα που να αποτρέπουν την ανάπτυξή τους. Και στα κόστη αυτά δεν συμπεριλαμβάνεται το κόστος του τακτικού καθαρισμού των επιφανειών που είναι \$4.50 για κάθε τετραγωνικό πόδι της επιφάνειας της γάστρας (Perkins, 2011).

Στο μέλλον αυτά τα κόστη μπορεί να αυξηθούν σημαντικά λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας. Σε εργαστηριακές δοκιμές όπου το θαλασσινό νερό είχε θερμανθεί 3.5°C πάνω από το σημερινό μέσο όρο —ένα σενάριο που αντιπροσωπεύει τις θερμοκρασίες των νερών που αναμένονται το 2100— οι οργανισμοί μιας τυπικής βιοκοινωνίας που αναπτύσσεται στη γάστρα του πλοίου αναπτύσσονταν 2 φορές πιο γρήγορα σε σχέση με τις σημερινές συνθήκες. Εκτός από την ταχύτερη ανάπτυξη στο θερμό νερό, επίσης σχημάτισαν παχύτερα στρώματα (Perkins, 2011).

Ας υποθέσουμε ότι ένα Container ship με χωρητικότητα 10.000 TEU, Maximum Container Rating (MCR) 80.080 Kw και με Specific Fuel Consumption (SFC) 170g/kWh ξεκινάει από το λιμάνι Πειραιά με προορισμό το λιμάνι της Σιγκαπούρης. Πρόκειται για ένα ταξίδι 12 περίπου ημερών με μέση ταχύτητα 20 knots.



Σχήμα 21. Απεικόνιση του ταξιδιού Πειραιάς – Σιγκαπούρη (Πηγή: Netras Distance)

Η ισχύς του πλοίου μας θα είναι  $80\%MCR = 0.8 \times 80.080 = 64.000 \text{ kW}$ , με Ημερήσια Κατανάλωση Καυσίμου  $170 \times 64.000 \times 24 \times 10^{-6} = 261 \text{ ton/day}$ .

Έστω οτι τα καύσιμα κοστίζουν  $800 \text{ USD/MT}$ , για το συγκεκριμένο ταξίδι θα καταναλωθούν  $261 \text{ ton/day} \times 12 \text{ days} = 3.132 \text{ ton}$ . Άρα, το τελικό κόστος είναι  $800 \text{ USD} \times 3.132 = 2.505.600 \text{ USD}$ .

Αν ίσχυε η παραπάνω συνθήκη οτι η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού κατά  $3.5^\circ\text{C}$  οδηγεί σε 2 φορές πιο γρήγορη ανάπτυξη των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στη γάστρα του πλοίου, τότε βάση του Σχήματος 17 στους 36 μήνες θα είχαμε διπλάσια αύξηση κατανάλωσης καυσίμου στο 6,4.

Αυτό το σενάριο, θα έχει ως αποτέλεσμα πολύ συχνότερη συντήρηση στο μέλλον, πράγμα που θα αυξήσει τα λειτουργικά κόστη ακόμη περισσότερο. Η πρόσφατη θέρμανση φαίνεται ότι ήδη έχει αυξήσει την ανάγκη για περιοδικό καθαρισμό των υφάλων των σκαφών. Πριν δέκα χρόνια οι ιδιοκτήτες σκαφών αναψυχής

πραγματοποιούσαν καθαρισμό μια φορά κάθε τρεις μήνες, ενώ σήμερα ο καθαρισμός πραγματοποιείται μηνιαία (Perkins, 2011).

Όπως προκύπτει από τις παραπάνω έρευνες σε σχέση με την επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας στην απόδοση της γάστρας του πλοίου, αυτή αναμένεται να είναι σημαντική, και να προκαλέσει αύξηση της τραχύτητας και της κατανάλωσης καυσίμων, αύξηση της ανάγκης για χρήση υφαλοχρωμάτων και για τακτικότερη συντήρηση της γάστρας. Η σχέση της απόδοσης της γάστρας του πλοίου και της κλιματικής αλλαγής είναι αμφίδρομη, καθώς η μείωση της απόδοσης, η οποία θα επιφέρει μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου και άρα περισσότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, θα ενισχύσει ακόμη περισσότερο την υπερθέρμανση των ωκεανών και την επιταχυνόμενη ανάπτυξη των οργανισμών που προσκολλώνται στη γάστρα του πλοίου.

#### **4. Συμπεράσματα**

Η κλιματική αλλαγή έχει πολλαπλές επιδράσεις στην παγκόσμια ναυτιλία: τη θερμική διαστολή του νερού, την άνοδο της στάθμης των θαλασσών, την αύξηση της συχνότητας, διάρκειας και έντασης των τυφώνων. Επίσης δημιουργεί κινδύνους για τη ναυσιπλοΐα από σκοπέλους και βραχονησίδες που ενδεχομένως να καλυφθούν από νερό. Ταυτόχρονα υπάρχουν ορισμένες θετικές επιδράσεις, όπως η δυνατότητα αρκτικών πλόων ως συνέπεια της υποχώρησης των πάγων. Υπάρχει ήδη προσπάθεια σε όλες τις γειτονικές χώρες για τη μελλοντική εκμετάλλευση της Αρκτικής, η οποία θα ανοιχτεί τόσο στον τομέα των συγκοινωνιών, όσο και στην ενεργειακή αγορά. Οι θετικές επιδράσεις της υποχώρησης των πάγων στον τομέα των ναυτιλιακών συγκοινωνιών εκτιμάται ότι θα επεκταθούν και στον τρόπο με τον οποίο διεκπεραιωνόταν το εμπόριο μέχρι τώρα. Ειδικότερα θα υπάρξει χρονική, χωρική, και οικονομική βελτίωση των θαλάσσιων διαδρομών, καθώς στο δυτικό ημισφαίριο ανοίγεται το Βορειοδυτικό Πέρασμα, που βρίσκεται στις βόρειες ακτές του Καναδά και ενώνει τον Ατλαντικό με τον Ειρηνικό ή αλλιώς την Ευρώπη με την Ασία.

Η αύξηση της θερμοκρασίας των θαλασσών με τη σειρά της επηρεάζει την ανάπτυξη των θαλασσίων μικροοργανισμών, είτε φυτικών, είτε ζωικών. Στο πλαίσιο αυτό, επηρεάζει και την απόδοση των υφαλοχρωμάτων, αφού περισσότεροι μικροοργανισμοί θα συγκεντρώνονται στη γάστρα των πλοίων και θα μειώνουν περισσότερο την απόδοσή της. Η αύξηση της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού που προκύπτει από την κλιματική αλλαγή ευνοεί την αύξηση των μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που ρυπαίνουν τα ύφαλα των πλοίων, επηρεάζοντας τους πληθυσμούς τους, λόγω ταχύτερης αναπαραγωγής, αλλά και τις περιοχές στις οποίες μπορούν να εμφανιστούν, καθώς με την αυξημένη θερμοκρασία ορισμένων περιοχών έχουν τη δυνατότητα μετανάστευσης εκεί και επιβίωσης, που δεν υπήρχε πριν.

Το φαινόμενο της αύξησης των θαλασσίων οργανισμών που συσσωρεύονται στη γάστρα των πλοίων έχει εμφανιστεί τα τελευταία χρόνια τόσο στις μεσογειακές, όσο και στις ελληνικές θάλασσες, όπου έχει παρατηρηθεί σταδιακή αύξηση θερμοφίλων ειδών (κυρίως φυτοπλαγκτονικών οργανισμών και μεδουσών), αλλά και ιχθύων και άλλων υδρόβιων οργανισμών. Τα είδη αυτά πιθανότατα ανταγωνίζονται τα “ενδημικά” είδη που απαντούν στις ελληνικές θάλασσες, και έχουν ταχύτερη εξάπλωση προς τις βόρειες περιοχές του Αιγαίου Πελάγους. Εξάρσεις φυτοπλαγκτονικών ειδών όπως *Asterodinium* (γένος *Dinophyceae* που συναντάται σε θερμά νερά) παρατηρήθηκαν στη Μεσόγειο και αποδίδονται στην αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Η αύξηση των μικροοργανισμών που προκύπτει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας των θαλασσών επιφέρει σημαντική επίδραση στη ναυτιλία λόγω της ρύπανσης των υφάλων των σκαφών. Ο βαθμός της αύξησης της τραχύτητας και της επερχόμενης μείωσης της ταχύτητας, και αντίστοιχης αύξησης της απαίτησης σε καύσιμα, εξαρτάται από τα είδη των οργανισμών που αναπτύσσονται, τις περιοχές της γάστρας όπου αναπτύσσονται, και τις υδροδυναμικές συνθήκες. Λόγω της υπερθέρμανσης των ωκεανών το φαινόμενο ενισχύεται, με αποτέλεσμα να προκύπτει αύξηση των μικροοργανισμών που ρυπαίνουν τα ύφαλα των πλοίων, με αρνητικές επιδράσεις στην τραχύτητα της γάστρας (αύξηση), στην ταχύτητα των πλοίων (μείωση), στην κατανάλωση καυσίμου (αύξηση) και στις εκπομπές αερίων ρύπων (αύξηση). Ο αποικισμός των υφάλων των σκαφών αποδεδειγμένα έχει αρνητική επίδραση στην

υδροδυναμική των σκαφών. Ειδικότερα, η παρουσία φυκών στα ύφαλα των σκαφών μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση καυσίμου μέχρι και 50%.

Για την αντιμετώπιση των θαλασσίων οργανισμών που αναπτύσσονται στα ύφαλα των σκαφών, χρησιμοποιούνται διάφορα είδη υφαλοχρωμάτων. Τα «παραδοσιακά» υφαλοχρώματα απελευθερώνουν στο νερό τοξικές ουσίες, όπως χαλκό ή κασσίτερο, παρεμποδίζοντας έτσι την ανάπτυξη της θαλάσσιας πανίδας (barnacles, encrusting bryozoa, zebra mussels) και γλωρίδας (φυτοπλαγκτού και ανώτερων θαλάσσιων φυτικών οργανισμών) πάνω τους. Τα αρχικά υφαλοχρώματα που είχαν χρησιμοποιηθεί (π.χ. TBT) είχαν καλή αποτελεσματικότητα στην απόθεση των οργανισμών (Chagot et al., 1990, Champ, 2000, 2003), όμως λόγω υψηλής τοξικότητας για τους υδρόβιους οργανισμούς, το περιβάλλον και τον άνθρωπο, καθώς και λόγω της εμμονής τους και της συσσώρευσης στο περιβάλλον για μεγάλα χρονικά διαστήματα, αντικαταστάθηκαν στη συνέχεια από νέας γενιάς υφαλοχρώματα (π.χ. irgarol) (Carbery et al., 2006), ώστε να περιοριστεί η τοξική δράση στο περιβάλλον. Στη συνέχεια η τεχνολογία των υφαλοχρωμάτων εξελίχθηκε περαιτέρω παρέχοντας υφαλοχρώματα ελεύθερα από βιοκτόνα, τα οποία μπορούν να είναι αποτελεσματικά για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Τα υφαλοχρώματα, ανάλογα με τον τύπο τους, επιδρούν στην απόδοση της γάστρας του πλοίου, αντιμετωπίζοντας την τραχύτητα, που μειώνει την ταχύτητα του σκάφους. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομούν την κατανάλωση σε καύσιμα, μειώνοντας το λειτουργικό κόστος, και ορισμένες κατηγορίες περιορίζουν τη συχνότητα του δεξαμενισμού (drydocking). Παρόλα αυτά, όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία, ειδικά τα νέα υφαλοχρώματα και η επίδρασή τους στην απόδοση των σκαφών δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς τα προηγούμενα χρόνια. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι τα υφαλοχρώματα χωρίς κασσίτερο (tin-free self-polishing copolymer, SPC) δεν κυριαρχούν στην αγορά, παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν, και μάλιστα σημαντικός αριθμός ιδιοκτητών σκαφών προτιμούν να μειώσουν το κόστος του dry docking με την επιλογή φθηνότερων υφαλοχρωμάτων, πράγμα που πέραν της αυξημένης τοξικότητας θα μπορούσε να σημαίνει ποσοστό αύξησης του κόστους καυσίμου μέχρι και μεγαλύτερο του 5%. Υπάρχει ανάγκη περαιτέρω μελέτης και

βελτιστοποίησης καθώς και πρακτικών εφαρμογών ώστε να επεκταθεί η χρήση των νέων αυτών τεχνολογιών.

Η αυξανόμενη ανησυχία για την κλιματική αλλαγή έχει επηρεάσει τη ναυτιλιακή βιομηχανία, όπως περιγράφεται στους οδηγούς του International Marine Organization (IMO) όπου θεσπίζονται σχέδια διαχείρισης αποδοτικότητας της ενέργειας των πλοίων και τονίζεται η αναγκαιότητα μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, των οξειδίων του θείου, του αζώτου, και της ιπτάμενης τέφρας, η οποία θα οδηγήσει σε αυξημένο λειτουργικό κόστος. Ο IMO εκτιμά ότι χωρίς διορθωτικές δράσεις και χωρίς την εισαγωγή νέων τεχνολογιών, οι εκπομπές αερίων από τα σκάφη παγκοσμίως αναμένεται να αυξηθούν μεταξύ 38% και 72% μέχρι το 2020. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις παραμέτρους είναι πλέον αναγκαία η στροφή σε νέες τεχνολογίες περιβαλλοντικά φιλικών και ενεργειακά πιο αποδοτικών τεχνολογιών υφαλοχρωμάτων που είναι πλέον διαθέσιμα. Για παράδειγμα, τα προϊόντα σιλυλιωμένων ακρυλικών (silylated acrylate, SA) ήδη προσφέρονται από τους περισσότερους κατασκευαστές υφαλοχρωμάτων, με αρκετά νέα προϊόντα να έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια. Υπάρχει πλέον μια τάση στροφής προς τα προϊόντα SA επειδή συνδυάζουν καλή απόδοση με μειωμένο κόστος καυσίμων, και δυνατότητα για σκάφη να κυκλοφορούν μέχρι 90 μήνες χωρίς δεξαμενισμό.

Τα υφαλοχρώματα και ιδιαίτερα τα υφαλοχρώματα νέων τεχνολογιών που έχουν σημαντικά μειωμένη περιβαλλοντική επιβάρυνση και διατηρούν τις επιφάνειες καθαρές για μεγάλα χρονικά διαστήματα περιορίζοντας τη συχνότητα του drydocking, είναι μία σημαντική μέθοδος αύξησης της αποδοτικότητας του καυσίμου, καθώς επιφέρουν βελτίωση της ταχύτητας και της αποτελεσματικότητας των σκαφών εμποδίζοντας την προσκόλληση οργανισμών στα ύφαλα οι οποίοι θα περιόριζαν την κίνηση του σκάφους στο νερό. Αν τα σκάφη δεν χρησιμοποιούσαν υφαλοχρώματα, εκτιμάται ότι η κατανάλωση καυσίμου θα ήταν αυξημένη κατά 40%. Η αντίστοιχη εξοικονόμηση κόστους που προκύπτει από την εξοικονόμηση καυσίμου λόγω της χρήσης υφαλοχρωμάτων είναι πολύ σημαντική και συγκεκριμένα υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 60 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως. Αντίστοιχα και η εξοικονόμηση εκπομπών αερίων ρύπων εκτιμάται σε 384 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα και 3.6 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του θείου ετησίως.

Η αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών, που αναμένεται να υπάρξει με βάση τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής και της υπερθέρμανσης του πλανήτη που ήδη παρατηρείται, εκτιμάται ότι θα επηρεάσει αρνητικά την απόδοση στη γάστρα του πλοίου, όπως προκύπτει και από σχετικές πειραματικές έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί. Συγκεκριμένα θα ενισχύσει τους ρυθμούς ανάπτυξης των οργανισμών στα ύφαλα των σκαφών και θα αυξήσει τις ανάγκες αντιμετώπισής τους, καθώς και τις ανάγκες σε καύσιμα για τα πλοία. Η αύξηση της τραχύτητας και της κατανάλωσης καυσίμων, με τη σειρά της θα προκαλέσει αύξηση της ανάγκης για χρήση υφαλοχρωμάτων και ανάγκη για τακτικότερη συντήρηση της γάστρας. Έτσι η αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει τελικά σε μεγαλύτερες ανάγκες χρήσης υφαλοχρωμάτων για να διατηρηθούν οι ίδιες ταχύτητες πλεύσης των σκαφών, καθώς λόγω της υπερθέρμανσης οι ρυθμοί ανάπτυξης των οργανισμών και εποικισμού των υφάλων των σκαφών θα είναι μεγαλύτεροι και θα δημιουργούνται παχύτερα στρώματα fouling σε συντομότερα χρονικά διαστήματα. Η μείωση της απόδοσης που θα προκύψει, εκτιμάται ότι θα επιφέρει μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου και άρα περισσότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, ενισχύοντας ακόμη περισσότερο την υπερθέρμανση των ωκεανών και την επιταχυνόμενη ανάπτυξη των οργανισμών που προσκολλώνται στη γάστρα του πλοίου.



Με βάση τις παραπάνω εκτιμήσεις, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι για την πρόληψη και την αντιμετώπιση αυτών του φαινομένου, είναι επιτακτική η ανάγκη της περαιτέρω ανάπτυξης και αξιοποίησης των νέων τεχνολογιών υφαλοχρωμάτων, ώστε αυτά να γίνουν ακόμη πιο αποτελεσματικά και πιο φιλικά στο περιβάλλον, περιορίζοντας έτσι έγκαιρα τις εκπομπές αερίων ρύπων από τη ναυτιλία, αλλά και την απαιτούμενη συχνότητα χρήσης τους, βελτιώνοντας την απόδοση της γάστρας των πλοίων καθώς θα τη διατηρούν καθαρή από οργανισμούς για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

## 5. Βιβλιογραφία

Αγγελής Ιωάννης (2011) Εκπομπές ρύπων από τον παγκόσμιο ναυτικό στόλο- Κλιματική αλλαγή, Διπλωματική εργασία, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Φυσικής Περιβάλλοντος, Φυσικού Τμήματος Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2011

Γατίδου Γ. ,2001 , «Μελέτη του φαινομένου της προσρόφησης στα συστατικά των υφαλοχρωμάτων irgalor 1051 και diuron και ανίχνευση τους στο θαλάσσιο περιβάλλον», Πρόταση διδακτορικής διατριβής, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη.

Γιαννής Α. και Γρηγορόπουλος Α. , 2000 , «Ανίχνευση οργανικών ενώσεων κασσιτέρου στο υδατικό περιβάλλον της Ελλάδας και εκτίμηση τοξικότητας τους στη βιομάζα της ενεργούς ιλύος», Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη .

Λέκκας Δ. και Πλωμαρίτης Θ. (1998), "Επιπτώσεις Δύο Τύπων Υφαλοχρωμάτων σε Συστήματα Εργαστηριακών Μονοκαλλιιεργειών και Μικροκόσμων", Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη.

Ραμαντάνης, Ηλίας (2009), Στοιχεία για την αλληλεπίδραση ναυτιλίας και κλιματικών αλλαγών, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλασσιών Μεταφορών, Αθήνα, Μάρτιος 2009

Φυτιάνος Κ. (1996), "Η Ρύπανση των Θαλασσών", University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Abbott, A., Abel, P.D., Arnold, D.W., Milne, A., 2000. Cost-benefit analysis of the use of TBT: the case for a treatment approach. *Sci. Total Environ.* 258, 5–19.

Aertseen, G. Service-performance and seakeeping trials on MV Lukuga. *Transaction of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 105, 1963, pp. 293-335.

Aertseen, G. Service-performance and trials at sea. *App. V Performance Committee*, 12th ITTC, 1969.

- Aertssen, G. Service-performance and seakeeping trials on MV Jordaens. Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Vol. 108, 1966, pp. 305-343.
- Aertssen, G., Ferdinande, V. and de Lembre, R. Service-performance and seakeeping trials on astern trawler. Transactions of the North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, Vol. 83, 1966-1967, pp. 13-27.
- Aertseen, G. and Van Sluys, M.F. Service-performance and seakeeping trials on a large containership. Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Vol. 114, 1972, pp. 429-447.
- Abd-Allah, A.M.A., 1995. Occurrence of organotin compounds in water and biota from alexandria harbours. *Chemosphere* 30, 707–715.
- Albanis T.A., Readman J.W., Hattum B. van., Barcelo D., Riemann B., Blank H., Gustarson K., Tronczynski J., Jacobson A. (2002) Assessment of antifouling Agents in coastal Environments (ACE) (MAS3-CT98-0178).
- Allen, F.E., 1953. Distribution of marine invertebrates by ships. *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.* 4, 307–316.
- Almeida, E., Diamantino, T.C. and Sousa, O., 2007. Marine Paints: the Particular Case of Antifouling Paints, *Progress in Organic Coatings* 59, 2–20.
- Alzieu, C., Sanjuan, J., Michel, P., Borel, M., Dreno, J.P., 1989. Monitoring and assessment of butyltins in Atlantic coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.* 20, 22–26.
- Alzieu, C.L., Sanjuan, J., Deltreil, J.P., Borel, M., 1986. Tin contamination in Arcachon Bay: effects on oyster shell anomalies. *Mar. Pollut. Bull.* 17, 494–498.
- AMBIO (2008) Advanced Nanostructured Surfaces for the Control of Biofouling. <http://www.ambio.bham.ac.uk/>.
- Amouroux, D., Tessier, E., Donard, O.F.X., 2000. Volatilization of organotin compounds from estuarine and coastal environment. *Environ. Sci. Technol.* 34, 988–995.
- Anderson, C. et al, 2003. The Development of Foul-Release Coatings for Seagoing Vessels. *Journal of Marine Design and Operations*, No. B4.
- Antizar-Ladislao, B., 2008. Environmental levels, toxicity and human exposure to tributyltin (TBT)-contaminated marine environment: a review. *Environ. Int.* 34, 292–308.
- ANZECC (2009) Code of Practice for Antifouling and In-water Hull Cleaning and Maintenance. Australia and New Zealand Environment and Conservation Council <http://www.deh.gov.au/coasts/pollution/antifouling/code/index.html>.
- Arambarri, I., Garcia, R., Millán, E., 2003. Assessment of tin and butyltin species in estuarine superficial sediments from Gipuzkoa, Spain. *Chemosphere* 51, 643–649.
- Armstrong, E., Boyd, K.G., Pisacane, A., Peppiatt, C.J., Burgess, J.G., 2000. Marine microbial natural products in antifouling coatings. *Biofouling* 16, 215–224.
- Arnold, W.R., Santore, R.C., Cotsifas, J.S., 2005. Predicting copper toxicity in estuarine and marine waters using the biotic ligand model. *Mar. Pollut. Bull.* 50, 1634–1640.

Arrhenius, Å., Backhaus, T., Grönvall, F., Junghans, M., Scholze, M., Blanck, H., 2006. Effects of three antifouling agents on algal communities and algal reproduction: mixture toxicity studies with TBT, Irgarol, and Sea-Nine. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 50, 335–345.

Atlar M. (2008), An update on marine antifouling, School of Marine Science & Technology, UK, Newcastle University 2008, 25th ITTC Group Discussions 3 – Global Warming and Impact on ITTC Activities

Bannink, A.D., 2004. How Dutch drinking water production is affected by the use of herbicides on pavements. *Water Sci. Technol.* 49, 173–181.

Barakat, A.O., Kim, M., Qian, Y., Wade, T.L., 2001. Butyltin compounds in sediments from the commercial harbor of Alexandria City, Egypt. *Environ. Toxicol. Chem.* 20, 2744–2748.

Basheer, C., Tan, K.S., Lee, H.K., 2002. Organotin and Irgarol 1051 contamination in Singapore coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.* 44, 697–703.

Batley, G.E., Mann, K.J., Brockbank, C.I., Maltz, A., 1989. Tributyltin in Sydney harbor and georges river waters. *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.* 40, 39–48.

Batley, G.E., Scammell, M.S., Brockbank, C.I., 1992. The impact of the banning of tributyltin-based antifouling paints on the Sydney rock oyster, *Saccostrea commercialis*. *Sci. Total Environ.* 122, 301–314.

Berge, J.A., Brevik, E.M., Bjørge, A., Følsvik, Norunn, Gabrielsen, G.W., Wolkers, H., 2004. Organotins in marine mammals and seabirds from Norwegian territory. *J. Environ. Monitor.* 6, 108–112.

Bhosle, N.B., Garg, A., Harji, R., Jadhav, S., Sawant, S.S., Krishnamurthy, V., Anil, C., 2006. Butyltins in the sediments of Kochi and Mumbai harbours, west coast of India. *Environ. Int.* 32, 252–258.

Biseli S, Bester K, Huhnerfuss H, Fent K (2000) Concentration of the antifouling Irgarol 1051 and of organotins in water and sediments of German North and Baltic Sea marinas. *Mar Pollut Bull* 40: 233-243.

Blanck, H., Eriksson, K.M., Grönvall, F., Dahl, B., Guijarro, K.M., Birgersson, G., Kylin, H., 2009. A retrospective analysis of contamination and periphyton PICT patterns for the antifoulant Irgarol 1051, around a small marina on the Swedish west coast. *Mar. Pollut. Bull.* 58, 230–237.

Borghesi, V., Porte, C., 2002. Organotin pollution in deep-sea fish from the northwestern Mediterranean. *Environ. Sci. Technol.* 36, 4224–4228.

Boxall, A.B.A., Comber, S.D., Conrad, A.U., Howcroft, J., Zaman, N., 2000. Inputs, monitoring and fate modelling of antifouling biocides in UK estuaries. *Mar. Pollut. Bull.* 40, 898–905.

Brooks, S., Waldock, M., 2009. The use of copper as a biocide in marine antifouling paints. In: Hellio, C., Yebra, D. (Eds.), *Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 492–521.

Brownlee BG, Garey JH, Maclinnis GA, Pellizzari IT (1992) Aquatic environmental chemistry of 2-(thiocyanomethyl)benzothiazole and related benzothiazoles, *Environ Toxicol Chem* 11:1153-1168.

- Bryan, G.W., 1971. The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. *Proc. Royal Soc. London* 177, 389–410.
- Bryan, G.W., Gibbs, P.E., 1983. Heavy metals in the Fal Estuary, Cornwall: a study of long-term contamination by mining waste and its effects on estuarine organisms. *Occas. Pap. Mar. Biol. Assoc. UK* 2, 112.
- Bryan, G.W., Langston, W.J., 1992. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: a review. *Environ. Pollut.* 76, 89–131.
- Bryan, G.W., Gibbs, P.E., Hummerstone, L.G., Burt, G.R., 1986. The decline of the gastropod *Nucella lapillus* around southwest England – evidence for the effect of tributyltin from antifouling paints. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 66, 611–640.
- Burgess, J.G., Boyd, K.G., Armstrong, E., Jiang, Z., Yan, L., Berggren, M., May, U., Pisacane, T., Granmo, Å., Adams, D.R., 2003. The development of a marine natural product-based antifouling paint. *Biofouling* 19, 197–205.
- Burton, E.D., Phillips, I.R., Hawker, D.W., 2004. Sorption and desorption behavior of tributyltin with natural sediments. *Environ. Sci. Technol.* 38, 6694–6700.
- Butler, M., Haskew, A.E.J., Young, M.M., 1980. Copper tolerance in the green alga, *Chlorella vulgaris*. *Plant Cell Environ.* 3, 119–126.
- Byers, J.E., 2000. Competition between two estuarine snails: implications for invasions of exotic species. *Ecology* 81, 1225–1239.
- Callow M E, Milne A (1985) Non-biocidal anti-fouling processes. In: Smith R (ed) *Polymers in a Marine Environment*. *Trans IMarE (C)* 97: 229–233
- Callow M.E. and Willingham G.L. (1996) Degradation of antifouling biocides, *Biofouling* 10: 239-249
- Callow, M E; Callow, J A (2002) Marine Biofouling: A Sticky Problem. *Biologist* 49 (1). 1-5.
- Callow, M.E., 1986. Fouling algae from “in-service” ships. *Bot. Mar.* 24, 351–357.
- Candries M, Atlar M, Mesbahi E, Pazouki K (2003) The measurement of drag characteristics of tin-free, self polishing copolymers and fouling release coatings using a rotor apparatus. *Biofouling* 19(suppl.):S27–S36
- Carbery, K., Owen, R., Frickers, T., Otero, E., Readman, J., 2006. Contamination of Caribbean coastal waters by the antifouling herbicide Irgarol 1051. *Mar. Pollut. Bull.* 52, 635.
- Carruesco, C., Lapaquellerie, Y., Labourg, P., Prunier, D., 1986. The heavy metal input on an intertidal biotic environment: the Arachon Bay. *Bull. Inst. Geol. Bass. Aquitaine* 30, 85–93.
- Carson, R.T., Damon, M., Johnson, L.T., Gonzalez, J.A., 2009. Conceptual issues in designing a policy to phase out metal-based antifouling paints on recreational boats in San Diego Bay. *J. Environ. Manage.* 90, 2460–2468.
- Cassé, F., Swain, G.W., 2006. The development of microfouling on four commercial antifouling coatings under static and dynamic immersion. *Int. Biodeterior. Biodegradation* 57, 179–185.

Chagot, D., Alzieu, C., Sanjuan, J., Grizel, H., 1990. Sublethal and histopathological effects of trace levels of tributyltin fluoride on adult oysters *Crassostrea gigas*. *Aquat. Living Resour.* 3, 121–130.

Champ M.A. (2000). A Review of Organotin Regulatory Strategies, Pending Actions, Related Costs and Benefits, *The Science of the Total Environment*, 258: 21-71.

Champ, M.A., 2003. Economic and environmental impacts on ports and harbors from the convention to ban harmful marine anti-fouling systems. *Mar. Pollut. Bull.* 46, 935–940.

Chesworth, J.C., Donkin, M.E., Brown, M.T., 2004. The interactive effects of the antifouling herbicides Irgarol 1051 and Diuron on the seagrass *Zostera marina* L.. *Aquat. Toxicol.* 66, 293–305.

Choi, M., Choi, H.-G., Moon, H.-B., Kim, G.-Y., 2009. Spatial and temporal distribution of tributyltin (TBT) in seawater, sediments and bivalves from coastal areas of Korea during 2001–2005. *Environ. Monit. Assess.* 151, 301–310.

Clark, E.A., Sterritt, R.M., Lester, J.N., 1988. The fate of tributyltin in the aquatic environment. *Environ. Sci. Technol.* 22, 600–604.

Coutts, A.D.M., Dodgshun, T.J., 2007. The nature and extent of organisms in vessel sea-chests: a protected mechanism for marine bioinvasions. *Mar. Pollut. Bull.* 54, 875–886.

Coutts A.D.M., Piola R.F., Taylor M.D., Hewitt C.L. and Gardner J.P.A., The effect of vessel speed on the survivorship of biofouling organisms at different hull locations, *Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, Volume 26, Issue 5, 2010 pages 539-553

Dafforn, K.A., Glasby, T.M., Johnston, E.L., 2008. Differential effects of tributyltin and copper anti-foulants on recruitment of non-indigenous species. *Biofouling* 24, 23–33.

Dafforn, K.A., Glasby, T.M., Johnston, E.L., 2009. Links between estuarine condition and spatial distributions of marine invaders. *Divers. Distrib.* 15, 807–821.

Dahl B, Blank H (1996) Toxic effectw or the antifouling agent Irgarol 1051 on periphyton communities in coastal water microcosms. *Mar Pollut Bull* 32 :342-350.

Dahl, B., Blanck, H., 1996. Toxic effects of the antifouling agent Irgarol 1051 on periphyton communities in coastal water microcosms. *Mar. Pollut. Bull.* 32, 342–350.

DARPA (2009) Dynamic Prevention of Biofouling: Proposers Day Workshop Briefing, 13

de Mora, S.J., Stewart, C., Phillips, D., 1995. Sources and rate of degradation of tri(nbutyl) tin in marine sediments near Auckland, New Zealand. *Mar. Pollut. Bull.* 30, 50–57.

Didham, R.K., Tylianakis, J.M., Hutchison, M.A., Ewers, R.M., Gemmill, N.J., 2005. Are invasive species the drivers of ecological change? *Trends Ecol. Evol.* 20, 470–474.

Diez, S., Ábalos, M., Bayona, J.M., 2002. Organotin contamination in sediments from the Western Mediterranean enclosures following 10 years of TBT regulation. *Water Res.* 36, 905–918.

Diez, S., Lacorte, S., Viana, P., Barceló, D., Bayona, J.M., 2005. Survey of organotin compounds in rivers and coastal environments in Portugal 1999–2000. *Environ. Pollut.* 136, 525–536.

- Dinning, A.-A.E.A.C., 1998. Pyrithione biocides as inhibitors of bacterial ATP synthesis. *J. Appl. Microbiol.* 85, 141–146.
- Dowson, P.H., Bubb, J.M., Lester, J.N., 1992. Organotin distribution in sediments and waters of selected east coast estuaries in the UK. *Mar. Pollut. Bull.* 24, 492–498.
- Dowson, P.H., Bubb, J.M., Lester, J.N., 1996. Persistence and degradation pathways of tributyltin in freshwater and estuarine sediments. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 42, 551–562.
- Dubey, S.K., Roy, U., 2003. Review: biodegradation of tributyltins (organotins) by marine bacteria. *Appl. Organomet. Chem.* 17, 3–8.
- Eco-efficiency – a new tool to support better decisions on hull coating investments, Eco-efficiency, Sept 2010
- Eguchi, S., Harino, H., Yamamoto, Y., 2010. Assessment of antifouling biocides contaminations in Maizuru Bay, Japan. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 58, 684–693.
- Emara A.M., Belal A.A. (2004) Marine fouling in Suez canal, Egypt, *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 30(A), 2004: 189-206.
- Evans, S.M., 1999. TBT or not TBT? That is the question. *Biofouling* 14, 117–129.
- Evans, S.M., Hutton, A., Kendall, M.A., Samosir, A.M., 1991. Recovery in populations of dogwhelks *Nucella lapillus* (L) suffering from imposex. *Mar. Pollut. Bull.* 22, 331–333.
- EXTOXNET (2000) [www.ace.ace.orst.edu/info/extoxnet/pips/](http://www.ace.ace.orst.edu/info/extoxnet/pips/)
- Fernández-Alba, A.R., Hernando, M.D., Piedra, L., Chisti, Y., 2002. Toxicity evaluation of single and mixed antifouling biocides measured with acute toxicity bioassays. *Anal. Chim. Acta* 456, 303–312.
- Ferrer I, Barcelo D (1999) Simultaneous determination of antifouling herbicides in marina water samples by on line SPE followed by LC/MS. *J Chromatog A* 854:197-206.
- Garaventa, F., Faimali, M., Terlizzi, A., 2006. Imposex in pre-pollution times. Is TBT to blame? *Mar. Pollut. Bull.* 52, 701–702.
- Garaventa, F., Centanni, E., Fiorini, S., Noventa, S., Terlizzi, A., Faimali, M., Pavoni, B., 2008. New implications in the use of imposex as a suitable tool for tributyltin contamination: experimental induction in *Hexaplex trunculus* (Gastropoda, Muricidae) with different stressors. *Cell Biol. Toxicol.* 24, 563–571.
- Giacomazzi, S., Cochet, N., 2004. Environmental impact of diuron transformation: a review. *Chemosphere* 56, 1021–1032.
- Gibbs, P.E., 2009. Long-term tributyltin (TBT)-induced sterilization of neogastropods: persistence of effects in *Ocenebra erinacea* over 20 years in the vicinity of Falmouth (Cornwall, UK). *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 89, 135–138.
- Gibbs, P.E., Bryan, G.W., 1986. Reproductive failure in populations of the dogwhelk, *Nucella lapillus*, caused by imposex induced by the tributyltin from antifouling paints. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 66, 767–777.
- Gibson, C.P., Wilson, S.P., 2003. Imposex still evident in eastern Australia 10 years after tributyltin restrictions. *Mar. Environ. Res.* 55, 101–112.

Gonzales, J A; Johnson, L T (2005) Managing Hull Transport of Aquatic Invasive Species. Proceedings of the May 11, 2005 Workshop in San Francisco, Ca. USA., University of California. <http://www.masgc.org/pdf/masgp/05-050.PDF>.

Gunnarsson B., Environmental Security: The Impacts of Climate Change in the Arctic, presentation, Iceland.

Hellio, C; Yebra, D M (2009) Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies. Oxford. Woodhead Publishing in Materials.

Holzappel A C A (1904) Ships compositions. Trans INA 46: 252–265 ITTC (1990)

Hall Jr., L.W., Bushong, S.J., 1996. A review of acute effects of tributyltin compounds on aquatic biota. In: Champ, M.A., Seligman, P.F. (Eds.), Organotins: Environmental Fate and Effects. Chapman and Hall, London, pp. 157–190.

Hall, J.A., Frid, C.L.J., 1995. Responses of estuarine benthic macrofauna in coppercontaminated sediments to remediation of sediment quality. Mar. Pollut. Bull. 30, 694–700.

Hall Jr., L.W., Gardinali, P., 2004. Ecological risk assessment for Irgarol 1051 and its major metabolite in United States surface waters. Hum. Ecol. Risk Assess. 10, 525–542.

Hall Jr., L.W., Scott, M.C., Killen, W.D., 1998. Ecological risk assessment of copper and cadmium in surface waters of Chesapeake Bay watershed. Environ. Toxicol. Chem. 17, 1172–1189.

Haynes, D., Loong, D., 2002. Antifoulant (butyltin and copper) concentrations in sediments from the Great Barrier Reef World Heritage Area, Australia. Environ. Pollut. 120, 391–396.

Haynes, D., Ralph, P., Prange, J., Dennison, B., 2000. The impact of the herbicide diuron on photosynthesis in three species of tropical seagrass. Mar. Pollut. Bull. 41, 288–293.

Hernando, M.D., Piedra, L., Belmonte, A., Aguera, A., Fernandez-Alba, A.R., 2001. Determination of five antifouling agents in water by gas chromatography with positive/negative chemical ionization and tandem mass spectrometric detection. J. Chromatogr. A 938, 103–111.

Horiguchi, T., Imai, T., Cho, H.S., Shiraishi, H., Shibata, Y., Morita, M., Shimizu, M., 1998. Acute toxicity of organotin compounds to the larvae of the rock shell, *Thais clavigera*, the disk abalone, *Haliotis discus discus* and the giant abalone, *Haliotis madaka*. Mar. Environ. Res. 46, 469–473.

Horikoshi, A., Okamoto, K., 2005. The first finding of the introduced barnacle, *Amphibalanus variegatus* (Darwin) in the Tokyo Bay. Sess. Org. 22, 47–50.

Hornung, H., Krom, M.D., Cohen, Y., 1989. Trace metal distribution in sediments and benthic fauna of Haifa Bay, Israel. Estuar. Coast. Shelf Sci. 29, 43–56.

Hull Roughness Penalty Calculator, 2004, International Marine Coatings, [www.international-marine.com](http://www.international-marine.com).

Hundley, L L; Bohlander, G S (1999). Antifouling Characteristics of the Intersleek Paint System as Indicated by Speed/Power Trials on USS SCOTT (DDG 995). NSWCCD-50-TR--1999/029, February 1999; David Taylor Model. Surface Warfare Center, West Bethesda, Maryland

Hundley, L; Tate Sr, C; Taylor, D W (1980) Hull-Fouling Studies and Ship Powering; Trial Results on Seven FF 1052 Class Ships. Naval Ship Research and Development Center, Bethesda, Md. DTNSRDC 80/027.

Hunter JE, Evans LV (1991) Degradation of the biocide Zineb in marine culture medium. *Biofouling* 3:113-137.

ICS&ISF, 2009. Overview of the international shipping industry. International Chamber of Shipping and International Shipping Federation, Web publication: <<http://www.marisec.org/shippingfacts/keyfacts/>> (accessed 14.12.09).

IMO, 2001. International convention on the control of harmful antifouling systems on ships. International Maritime Organisation, London.

IMO MEPC 58/123 Annex 13, Resolution MEPC.176 (58), "Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as Modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto" (London, U.K.: IMO, 2008).

IMO MEPC.1/Circ. 683, "Guidance for the Development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)" (London, U.K.: IMO, 2009).

IMO, 2001. Adoption of the final act of the conference and any instruments, recommendations and resolutions resulting from the work of the conference: International Convention on the Control of Harmful Anti-Fouling Systems on Ships.

Interlux (1999), "What is Fouling": [www.yuachtpaint.com](http://www.yuachtpaint.com)

International Convention on the Control of Harmful Antifouling Systems on Ships (2001) Adoption of the Final Act of the Conference and any Instruments, Recommendations and Resolutions Resulting from the Work of the Conference. October 2008, <http://www.nstcenter.com/docs/PDFs/TREATY-Antifouling-TBTBan.pdf>.

Irvine, I., Birch, G.F., 1998. Distribution of heavy metals in surficial sediments of Port Jackson, Sydney, New South Wales. *Aust. J. Earth Sci.* 45, 297–304.

Isensee, J. and Bertram, V., 2004. Quantifying external costs of emissions due to ship operation. *Proc. Instn Mech. Engrs* Vol. 218 Part M: J. Engineering for the Maritime Environment.

Iwata, H., Tanabe, S., Mizuno, T., Tatsukawa, R., 1995. High accumulation of toxic butyltins in marine mammals from Japanese coastal waters. *Environ. Sci. Technol.* 29, 2959–2962.

Jacobson, A.H., Willingham, G.L., 2000. Sea-nine antifoulant: an environmentally acceptable alternative to organotin antifoulants. *Sci. Total Environ.* 258, 103–110.

Kannan, K., Falandysz, J., 1997. Butyltin residues in sediment, fish, fish-eating birds, harbour porpoise and human tissues from the Polish coast of the Baltic Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 34, 203–207.

Kannan, K., Corsolini, S., Focardi, S., Tanabe, S., Tatsukawa, R., 1996. Accumulation pattern of butyltin compounds in dolphin, tuna and shark collected from Italian coastal waters. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 31, 19–23.

Kannan, K., Grove, R.A., Senthilkumar, K., Henny, C.J., Giesy, J.P., 1999. Butyltin compounds in river otters (*Lutra canadensis*) from the Northwestern United States. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 36, 462–468.



Kiil S., Dam-Johansen K., Weinell C.E. and Pedersen M.S. (2002) Dynamic Simulations of a Self-Polishing Antifouling Paint Exposed to Seawater, John A Lewis (Editor) Maritime Platforms Division, Aeronautical and Maritime Research Laboratory, DSTO-GD-0287 Vol. 74, No. 929, June 2002

Kiil, S. (2007). Marine Biofouling Protection: Design of Controlled Release Antifouling Paints. Chapter 7, Chemical Product Design: Toward a Perspective through Case Studies, Elsevier.

Klerks, P.L., Weis, J.S., 1987. Genetic adaptation to heavy metals in aquatic organisms: a review. *Environ. Pollut.* 45, 173–205.

Knott, N.A., Aulbury, J., Brown, T., Johnston, E.L., 2009. Contemporary ecological threats from historical pollution sources: impacts of large-scale resuspension of contaminated sediments on sessile invertebrate recruitment. *J. Appl. Ecol.* 46, 770–781.

Ko, M.M.C., Bradley, G.C., Neller, A.H., Broom, M.J., 1995. Tributyltin contamination of marine sediments of Hong Kong. *Mar. Pollut. Bull.* 31, 249–253.

Kobayashi, N., Okamura, H., 2002. Effects of new antifouling compounds on the development of sea urchin. *Mar. Pollut. Bull.* 44, 748–751.

Konstantinou, I.K., Albanis, T.A., 2004. Worldwide occurrence and effects of antifouling paint booster biocides in the aquatic environment: a review. *Environ. Int.* 30, 235–248.

Lamoree, M.H., Swart, S.P., van der Horst, A., van Hattum, B., 2002. Determination of diuron and the antifouling paint biocide Irgarol 1051 in Dutch marinas and coastal waters. *J. Chromatogr. A* 970, 183–190.

Langston, W.J., Burt, G.R., 1991. Bioavailability and effects of sediment-bound TBT in deposit-feeding clams, *Scrobicularia plana*. *Mar. Environ. Res.* 32, 61–77.

Larsen, D.K., Wagner, I., Gustavson, K., Forbes, V.E., Lund, T., 2003. Long-term effect of sea-nine on natural coastal phytoplankton communities assessed by pollution induced community tolerance. *Aquat. Toxicol.* 62, 35–44.

Lau Wong, M.M.-M., 1991. Tributyltin antifouling: a threat to the Hong Kong marine environment. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 20, 299–304.

Lewis, J.A., 1998. Marine biofouling and its prevention on underwater surfaces. *Mater. Forum* 22, 41–61.

Lewis, A.G., Cave, W.R., 1982. The biological importance of copper in oceans and estuaries. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 20, 471–695.

Lewis, J.A., Watson, C., ten Hove, H.A., 2006. Establishment of the Caribbean serpulid tubeworm *Hydroides sanctaerucis* Kroyer [in] Morch, 1863, in Northern Australia. *Biol. Invasions* 8, 665–671.

Lewis, J.A. and Gillham, A.C., 2007. Antifouling Paint Patch Trial Project, Final Report”, Maritime Platforms Division Defence Science and Technology Organisation and Australian Shipowners Association, DSTO-CR-2007-0153.

Lewis, J.A., 2008. Performance of the Tin-Free Antifouling Coating International Ecoloflex in DSTO/RAN Trials, Australian Department of Defence, Maritime Platforms Division, Defence Science and Technology Organisation, DSTO-TR-2203.

- Lewkowicz A, Das D K (1986) Turbulent boundary layers on rough surfaces with and without a pliable overlay: a simulation of marine fouling. *Int Shipbuilding Prog* 33: 174–185
- Lewthwaite J C, Molland A F, Thomas KW(1985) An investigation into the variation of ship skin frictional resistance with fouling. *Trans RINA* 127: 268–279
- Loeb G, Laster D, Gracik T (1984) The influence of microbial fouling films on hydrodynamic drag of rotating disks. In: Costlow J D, Tipper R C (eds) *Marine Biodeterioration: an Interdisciplinary Study*. US Naval Institute Press, Annapolis, MD, USA, pp 88–94
- Maguire, R.J., Chau, Y.K., Bengert, G.A., Hale, E.J., 1982. Occurrence of organotin compounds in Ontario lakes and rivers. *Environ. Sci. Technol.* 16, 698–702.
- Manzo, S., Buono, S., Cremisini, C., 2008. Predictability of copper, Irgarol, and diuron combined effects on sea Urchin *Paracentrotus lividus*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 54, 57–68.
- Martinez, K., Barcelo, D., 2001. Determination of antifouling pesticides and their degradation products in marine sediments by means of ultrasonic extraction and HPLC-APCI-MS. *Fresenius' J. Anal. Chem.* 370, 940–945.
- Martinez, K., Ferrer, I., Barcelo, D., 2000. Part-per-trillion level determination of antifouling pesticides and their byproducts in seawater samples by off-line solid-phase extraction followed by high-performance liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* 879, 27–37.
- Matthiessen, P., Gibbs, P.E., 1998. Critical appraisal of the evidence for tributyltin-mediated endocrine disruption in mollusks. *Environ. Toxicol. Chem.* 17, 37–43.
- Meena, R., Garg, A., Jadhav, S., 2009. Seasonal variation in organotins in the waters of the Dona Paula Bay, West Coast of India. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 82, 586–589.
- Michel, P., Averty, B., 1999. Distribution and fate of tributyltin in surface and deep waters of the Northwestern Mediterranean. *Environ. Sci. Technol.* 33, 2524–2528.
- Minchin, D., Gollasch, S., 2003. Fouling and ships' hulls: how changing circumstances and spawning events may result in the spread of exotic species. *Biofouling* 19, 111–122.
- Molander, S., Blanck, H., 1992. Detection of pollution-induced community tolerance (PICT) in marine periphyton communities established under diuron exposure. *Aquat. Toxicol.* 22, 129–144.
- Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A. (2011) *Ship resistance and propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*, Cambridge University Press, USA, 2011, pp. 54-55.
- Morton, B., 2009. Recovery from imposex by a population of the dogwhelk, *Nucella lapillus* (Gastropoda: Caenogastropoda), on the southeastern coast of England since May 2004: A 52-month study. *Mar. Pollut. Bull.* 58, 1530–1538.
- Myers, J.H., Gunthorpe, L., Allinson, G., Duda, S., 2006. Effects of antifouling biocides to the germination and growth of the marine macroalga, *Hormosira banksii* (Turner) Desicaine. *Mar. Pollut. Bull.* 52, 1048–1055.
- Munk T., D. Kane, D.M. Yebra, “The Effects of Corrosion and Fouling on the Performance of Ocean-Going Vessels: A Naval Architecture Perspective,” C. Hellio, D.M. Yebra, eds., *Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies* (Cambridge, U.K.: Woodhead Publishing, Ltd., 2009).

Naval Sea Systems Command; Office of Water (2003) Discharge Assessment Report: Hull Coating Leachate. EPA-842-D-06-002. 63pp.  
[http://www.epa.gov/owow/oceans/regulatory/unds/hullcoating/HCL\\_DAR\\_draft.pdf](http://www.epa.gov/owow/oceans/regulatory/unds/hullcoating/HCL_DAR_draft.pdf).

Negri, A.P., Smith, L.D., Webster, N.S., Heyward, A.J., 2002. Understanding shipgrounding impacts on a coral reef: potential effects of anti-foulant paint contamination on coral recruitment. *Mar. Pollut. Bull.* 44, 111–117.

Negri, A.P., Hales, L.T., Battershill, C., Wolff, C., Webster, N.S., 2004. TBT contamination identified in Antarctic marine sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 48, 1142–1144.

Nichols, J.A., 1988. Antifouling paints: use on boats in San Diego Bay and a way to minimize adverse impacts. *Environ. Manage.* 12, 243–247.

New Orleans, Louisiana; July 17 to 21, 2005.  
[http://www.csc.noaa.gov/cz/2005/CZ05\\_Proceedings\\_CD/pdf%20files/Savarese.pdf](http://www.csc.noaa.gov/cz/2005/CZ05_Proceedings_CD/pdf%20files/Savarese.pdf).

Nurmi J (2001) Achieving the optimum 'green' level by minimising exhaust emissions. The Future of Ship Design—Part 2. *Deltamarin/Journal The Naval Architect. RINA*, pp 30–34

Occhipinti-Ambrogi Anna, Global change and marine communities: Alien species and climate change, *Marine Pollution Bulletin* 55 (2007) 342–352.

Okamura, H., Aoyama, I., Liu, D., Maguire, R.J., Pacepavicius, G.J., Lau, Y.L., 2000. Fate and ecotoxicity of the new antifouling compound Irgarol 1051 in the aquatic environment. *Water Res.* 34, 3523–3530.

Olsgard, F., 1999. Effects of copper contamination on recolonisation of subtidal marine soft sediments – an experimental field study. *Mar. Pollut. Bull.* 38, 448–462.

Pancucci-Papadopoulou, M. A., K. Kevrekidis, M. Corsini-Foka and N. Simboura (2005), “Changes in Species: Invasion of Exotic Species”, State of the Hellenic Marine Environment, Hellenic Centre for Marine Research, Institute of Oceanography.

Paquin, P.R., Gorsuch, J.W., Apte, S., Batley, G.E., Bowles, K.C., Campbell, P.G.C., Delos, C.G., Di Toro, D.M., Dwyer, R.L., Galvez, F., Gensemer, R.W., Goss, G.G., Hogstrand, C., Janssen, C.R., McGeer, J.C., Naddy, R.B., Playle, R.C., Santore, R.C., Schneider, U., Stubblefield, W.A., Wood, C.M., Wu, K.B., 2002. The biotic ligand model: a historical overview. *Comp. Biochem. Physiol. C: Toxicol. Pharmacol.* 133, 3–35.

Parent, L., Campbell, P.G.C., 1994. Aluminum bioavailability to the green alga *Chlorella pyrenoidosa* in acidified synthetic soft water. *Environ. Toxicol. Chem.* 13, 587–598.

Pedersen B. and Larsen J. (2009) Modeling of ship propulsion performance, WMTC 2009. 10th International Congress on Marine Corrosion and Fouling, University of Melbourne, February 1999

Pereira, M., Ankjaergaard, C., 2009. Legislation affecting antifouling products. In: Hellio, C., Yebra, D. (Eds.), *Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 240–259.

Perkins S. (2011) A Warming World Could Add Billions to Shipping Costs, 20 February 2011

Petersen, D.G., Dahllorf, I., Nielsen, L.P., 2004. Effects of zinc pyrithione and copper pyrithione on microbial community function and structure in sediments. *Environ. Toxicol. Chem.* 23, 921–928.

- Pettengill, J.B., Wendt, D.E., Schug, M.D., Hadfield, M.G., 2007. Biofouling likely serves as a major mode of dispersal for the polychaete tubeworm *Hydroides elegans* as inferred from microsatellite loci. *Biofouling* 23, 161–169.
- Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R., Morrison, D., 2000. Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *Bioscience* 50, 53–65.
- Piola, R.F., Johnston, E.L., 2006. Differential resistance to extended copper exposure in four introduced bryozoans. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 311, 103–114.
- Piola, R.F., Johnston, E.L., 2008a. Pollution reduces native diversity and increases invader dominance in marine hard-substrate communities. *Divers. Distrib.* 14, 329–342.
- Piola, R.F., Johnston, E.L., 2008b. The potential for translocation of marine species via small-scale disruptions to antifouling surfaces. *Biofouling* 24, 145–155.
- Piola, R.F., Dafforn, K.A., Johnston, E.L., 2009. The influence of antifouling practices on marine invasions: a mini-review. *Biofouling* 25, 633–644.
- Prego, R., Cobelo-Garcia, A., 2003. Twentieth century overview of heavy metals in the Galician Rias (NW Iberian Peninsula). *Environ. Pollut.* 121, 425–452.
- Propeller, International Marine Coatings, [www.internationalmarine.com](http://www.internationalmarine.com), issue 16, 2003.
- Raupach M R, Thom A S (1981) Turbulence in and above plant canopies. *Ann Rev Fluid Mech* 13: 97–129
- Risberg E., A. Koop, K. Dahl, R. Hem, “Water Uptake of Commercial Antifouling Coatings with Binders Based on Trialkyl Silylated Acrylates or Metal Acrylates/Carboxylates,” 15th International Congress on Marine Corrosion and Fouling, Newcastle Gateshead, U.K., July 25-29, 2010.
- Rosen M W, Cornford N E (1971) Fluid friction of fish slimes. *Nature (Lond)* 234: 49–51
- Rainbow, P.S., 2007. Trace metal bioaccumulation: models, metabolic availability and toxicity. *Environ. Int.* 33, 576–582.
- Readman, J.W., Kwong, L.L.W., Grondin, D., Bartocci, J., Villeneuve, J.P., Mee, L.D., 1993. Coastal water contamination from a triazine herbicide used in antifouling paints. *Environ. Sci. Technol.* 27, 1940–1942.
- Reed, R.H., Moffat, L., 1983. Copper toxicity and copper tolerance in *Enteromorpha compressa* (L) Grev.. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 69, 85–103.
- Rees, C.M., Brady, B.A., Fabris, G.J., 2001. Incidence of imposex levels in *Thais orbita* from Port Phillip Bay (Victoria, Australia), following 10 years of regulation on use of TBT. *Mar. Pollut. Bull.* 42, 873–878.
- Reichelt-Brushett, A.J., Harrison, P.L., 2000. The effect of copper on the settlement success of larvae from the scleractinian coral *Acropora tenuis*. *Mar. Pollut. Bull.* 41, 385–391.
- Rijstenbil, J.W., Derksen, J.W.M., Gerringa, L.J.A., Poortvliet, T.C.W., Sandee, A., Berg, M., Drie, J., Wijnholds, J.A., 1994. Oxidative stress induced by copper: defense and damage in the marine planktonic diatom *Ditylum brightwellii*, grown in continuous cultures with high and low zinc levels. *Mar. Biol.* 119, 583–590.

Rilov, G., Gasith, A., Evans, S.M., Benayahu, Y., 2000. Unregulated use of TBT-based antifouling paints in Israel (eastern Mediterranean): high contamination and imposex levels in two species of marine gastropods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 192, 229–238.

Rittschof, D., 2000. Natural product antifoulants: one perspective on the challenges related to coatings development. *Biofouling* 15, 119–127.

Rivera-Duarte, I., Rosen, G., Lapota, D., Chadwick, D.B., Kear-Padilla, L., Zirino, A., 2005. Copper toxicity to larval stages of three marine invertebrates and copper complexation capacity in San Diego Bay, California. *Environ. Sci. Technol.* 39, 1542–1546.

Ross, D.J., Johnson, C.R., Hewitt, C.L., Ruiz, G.M., 2004. Interaction and impacts of two introduced species on a soft-sediment marine assemblage in SE Tasmania. *Mar. Biol.* 144, 747–756.

Ruiz, J.M., Bachelet, G., Caumette, P., Donard, O.F.X., 1996. Three decades of tributyltin in the coastal environment with emphasis on Arcachon Bay, France. *Environ. Pollut.* 93, 195–203.

Rygg, B., 1985. Distribution of species along pollution-induced diversity gradients in benthic communities in Norwegian fjords. *Mar. Pollut. Bull.* 16, 469–474.

Sakkas, V.A., Konstantinou, I.K., Lambropoulou, D.A., Albanis, T.A., 2002. Survey for the occurrence of antifouling paint booster biocides in the aquatic environment of Greece. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 9, 327–332.

Sapozhnikova, Y., Wirth, E., Schiff, K., Brown, J., Fulton, M., 2007. Antifouling pesticides in the coastal waters of Southern California. *Mar. Pollut. Bull.* 54, 1972–1978.

Sargent, C.J., Bowman, J.C., Zhou, J.L., 2000. Levels of antifoulant Irgarol 1051 in the Conwy Marina, North Wales. *Chemosphere* 41, 1755–1760.

Scammell, M.S., Batley, G.E., Brockbank, C.I., 1991. A field study of the impact on oysters of tributyltin introduction and removal in a pristine lake. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 20, 276–281.

Scarlett, A., Donkin, M.E., Fileman, T.W., Donkin, P., 1997. Occurrence of the marine antifouling agent Irgarol 1051 within the Plymouth Sound locality: implications for the green macroalga *Enteromorpha intestinalis*. *Mar. Pollut. Bull.* 34, 645–651.

Schultz, M.P., 2007. Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering. *Biofouling* 23, 331–341.

Stafford, H., Willan, R.C., Neil, K.M., 2007. The invasive Asian Green Mussel, *Perna viridis* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia: Mytilidae), breeds in Trinity Inlet, tropical northern Australia. *Mollusc. Res.* 27, 105–109.

Stark, J.S., Riddle, M.J., Snape, I., Scouller, R.C., 2003. Human impacts in Antarctic marine soft-sediment assemblages: correlations between multivariate biological patterns and environmental variables at Casey Station. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 56, 717–734.

Steinberg, P.D., De Nys, R., Kjelleberg, S., 2002. Chemical cues for surface colonization. *J. Chem. Ecol.* 28, 1935–1951.

Sanchez A., D.M. Yebra, “Ageing Tests and Long-Term Performance of Marine Antifouling Coatings,” C. Hellio, D.M. Yebra, eds., *Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies* (Cambridge, U.K.: Woodhead Publishing, Ltd., 2009).

Savarese, J (2005) Preventing and Managing Hull Fouling: International, Federal, and State Laws and Policies. Proceedings of the 14th Biennial Coastal Zone Conference,

Schultz M P, Swain G M (1999) The effect of biofilms on turbulent boundary layers. *J Fluids Eng* 121: 44–51

Schultz M.P., “Effects of Coating Roughness and Biofouling on Ship Resistance and Powering,” *Biofouling* 23, 2 (2007): pp. 331-341.

Schultz, M., 2007. Effects of Coating Roughness and Biofouling on Ship Resistance and Powering. *Biofouling*, 23(5): pp.331 – 341.

Schultz, M.P., 2002. The Relationship Between Frictional Resistance and Roughness for Surfaces Smoothed by Sanding. *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 124, pp. 492-499.

Schultz, M.P., 2004. Frictional Resistance of Antifouling Coating Systems. *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 126, pp. 1039-1047.

SchultzMP (2000) Turbulent boundary layers on surfaces covered with filamentous algae. *J Fluids Eng* 122: 357–363

Tester, M., Ellis, D., 1995. TBT controls and the recovery of whelks from imposex. *Mar. Pollut. Bull.* 30, 90–91.

Thomas, K.V., 2001. The environmental fate and behaviour of antifouling paint booster biocides: a review. *Biofouling* 17, 73–86.

Thomas, K., 2009. The use of broad-spectrum organic biocides in marine antifouling paints. In: Hellio, C., Yebra, D. (Eds.), *Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 522–553.

Thomas, K.V., Brooks, S., 2010. The environmental fate and effects of antifouling paint biocides. *Biofouling* 26, 73–88.

Thomas, T.E., Robinson, M.G., 1987. The role of bacteria in the metal tolerance of the fouling diatom *Amphora coffeaeformis* Ag. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 107, 291–297.

Thomas, K.V., Blake, S.J., Waldock, M.J., 2000. Antifouling paint booster biocide contamination in UK marine sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 40, 739–745.

Tolhurst, L.E., Barry, J., Dyer, R.A., Thomas, K.V., 2007. The effect of resuspending sediment contaminated with antifouling paint particles containing Irgarol 1051 on the marine macrophyte *Ulva intestinalis*. *Chemosphere* 68, 1519–1524.

Toro, D.M.D., Allen, H.E., Bergman, H.L., Meyer, J.S., Paquin, P.R., Santore, R.C., 2001. Biotic ligand model of the acute toxicity of metals. 1. Technical basis. *Environ. Toxicol. Chem.* 20, 2383–2396.

Townsin, R.L., Anderson, C.D., 2009. Fouling control coatings using low surface energy, foul release technology. In: Hellio, C., Yebra, D. (Eds.), *Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 693–708.

Townsin R L, Byrne D, Svensen T E, Milne A (1981) Estimating the technical and economic penalties of hull and propeller roughness. *Trans SNAME* 90: 295–318

Townsin R L, Byrne D, Svensen T E, Milne A (1986) Fuel economy due to improvements in ship hull surface condition 1976–1986. *Int Shipbuilding Prog* 33: 127–130

Townsin R L, Spencer D S, Mosaad M, Patience G (1985) Rough propeller penalties. *Trans SNAME* 93: 165–182

Townsin, R.L., 2003. The Ship Hull Fouling Penalty, *Biofouling*, Vol 19 (Supplement), pp 9–15. Townsin, R.L., Byrne, D., Svensen, T.E. and Milne, A., 1986.

Townsin, R.L. “Workshop – Calculating the Cost of Marine Surface Roughness on Ship Performance” WEGEMT School on Marine Coatings at the University of Plymouth, UK, 10–14 July, 2000.

Towsin, R.L., Byrne, D. Milne, A. and Svensen, T. Speed, power and roughness – the economics of outer bottom maintenance. *Transaction of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol 122, 1980, pp. 459-483.

Towsin, R.L., Moss, B. Wynne, J.B. and Whyte, I.M. Monitoring the speed performance of ships. *Transactions of the North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders*, Vol. 91, 1975, pp. 159-178 .

Turley, P.A., Fenn, R.J., Ritter, J.C., 2000. Pyrithiones as antifoulants: environmental chemistry and preliminary risk assessment. *Biofouling* 15, 175–182.

Turner, A., 2010. Marine pollution from antifouling paint particles. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 159–171.

Tóth S, Becker-van Slooten K, Spack L, de Alencastro LF, Terradellas J (1996) Irgarol 1051, an antifouling compound in fresh water sediment and biota of lake Geneva. *Bull Environ Contam Toxicol* 57: 426-433.

U.S. Navy (2006). *Naval Ships’ Technical Manual Chapter 081: Waterborne Underwater Hull Cleaning of Navy Ships*. Revision 6, 1 October 2006. 28pp. <http://www.supsalv.org/pdf/s9086-cq-stm-010.pdf>.

U.S. Navy Research Laboratory (2000) Duplex Silicone Foul-Release Coatings. ESTCP funded project (PP-9502). NRL Managed Program (NRL, GE, NSWC/Carderock Division, FIT, SUNY- Buffalo and Bridger Scientific). <http://chemistry.nrl.navy.mil/6110/6113/duplexsilicone.php>.

United States Environmental protection Agency Office of Drinking Water Health Advisories, 1991, Drinking Water Health Advisory: “Pesticides”

Vaccaro, R.F., Azam, F., Hodson, R.E., 1977. Response of natural marine bacterial populations to copper: controlled ecosystem pollution experiment. *Bull. Mar. Sci.* 27, 17–22.

Verschueren K (1996) *Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals*, Van Norstrand & Reinhold, New York, USA.

Voulvoulis, M.D. Scrimshaw and J.N. Lester(1999), “Biocides from Antifouling Paints in the Aquatic environment”.

Walker WW, Cripe CR, Prichard PH (1998) Biological and abiotic degradation of xenobiotic compounds in in-vitro estuarine water and sediment/ water systems. *Chemosphere* 17;2255-2271.

Wegman R.C.C. and De Korte G.A.L., (1981), Aromatic amines in surface waters of the Netherlands, *Water Res.*15: 391-394

Weinell C.E., K.N. Olsen, M.W. Christoffersen, S. Kiil, "Experimental Study of Drag Resistance Using a Laboratory Scale Rotary Set-up," Biofouling, Vol. 19 (supplement) (2003): pp. 45-51.

Weinell, C.E., Olsen, K.N., Christoffersen, M.W. and Kiil, S., 2003. Experimental Study of Drag Resistance Using a Laboratory Scale Rotary Set-up. Biofouling, 19: 1, pp.45-51.

Woodhead P. and Mossa B. (1975) The effects of light and temperature on settlement and germination of Enteromorpha British Phycological Journal Volume 10, Issue 3, 1975, pages 269-272

Woods Hole Oceanographic Institution (1952). Marine Fouling and its Prevention. Prepared for Bureau of Ships, United States Navy Department. <https://darchive.mblwhoilibrary.org/handle/1912/191>

Yebra D.M., C. Weinell, "Key Issues in the Formulation of Marine Antifouling Paints," C. Hellio, D.M. Yebra, eds., Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies (Cambridge, U.K.: Woodhead Publishing, Ltd., 2009).

Yebra D.M., S. Kiil, K. Dam-Johansen, "Antifouling Technology: Past, Present, and Future Steps Towards Efficient and Environmentally Friendly Antifouling Coatings," Progress in Organic Coatings 50 (2004): pp. 70-104.

[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_hb053/is\\_5\\_13/ai\\_n29437897/](http://findarticles.com/p/articles/mi_hb053/is_5_13/ai_n29437897/)

<http://www.international-marine.com/Literature/AntifoulingCoatingsRangeBrochure.pdf>

<http://www.nstcenter.com/docs/PDFs/NavyCommunityWGNavyPresUnderwaterHullCloseOut.pdf>.

<http://www.sainc.com/DyPOBTeaming/fileupload/slides/Judah-Goldwasser-DYPOB.pdf>.

<http://www.sainc.com/DyPOBTeaming/fileupload/slides/Linda%20Chrisy%20-%20ONR%20Biofouling%20Control%20Coatings.pdf>.

<http://www.sainc.com/DyPOBTeaming/fileupload/slides/ONR%20Overview%20-%20McElvany.pdf>

[www.international-marine.com](http://www.international-marine.com)

[www.intersleek700.com](http://www.intersleek700.com)

[www.intersmoothSPC.com](http://www.intersmoothSPC.com)



# РАНЕЕЗНАМО ПЕРПАА