



ΔΠΜΣ

Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία

Διπλωματική Εργασία

Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία, υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η απόδοση πλοίου.

Γεώργιος Μπατσαούρας

ΜΝΣΝΔ 20046

Επιβλέπων:

Ιωάννης Κατσάνης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΣΝΔ

Πειραιάς

Μάρτιος 2022

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ΖΗΤΗΜΑΤΑ COPYRIGHT

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

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΜΕΛΟΣ Α΄: Ιωάννης Κατσάνης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΣΝΔ

ΜΕΛΟΣ Β΄: Θεόδωρος Ζάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΣΝΔ

ΜΕΛΟΣ Γ΄: Ευθύμιος Παριώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΣΝΔ



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

*Για την εκπόνηση της εν λόγω εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα
καθηγητή κ. Ιωάννη Κατσάνη, Αναπληρωτή Καθηγητή ΣΝΔ, για τη συνδρομή και τις
στοχευμένες υποδείξεις του και τον κ. Αλέξανδρο Μιχέλη, Ναυπηγό Μ.Ι.Τ., για τις πολύτιμες
συμβουλές του.*

*Αφιερώνεται στη σύντροφο μου Ολυμπία για την απεριόριστη στήριξη και στην κόρη μου
Πολυξένη για την έμπνευση.*



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

Περίληψη

Με τον όρο συντήρηση υφάλων πλοίων, εννοούμε ένα σύνολο τεχνολογικών, λειτουργικών και παραγωγικών διαδικασιών που διασφαλίζουν την καθαρότητα της γάστρας. Βασικοί στόχοι είναι η προστασία από τη διάβρωση, η αποφυγή ανάπτυξης βιολογικής ρύπανσης επί των υφάλων και η εξοικονόμηση ενέργειας ενός πλοίου. Η χρήση συστημάτων παθητικής και ενεργητικής προστασίας, ο καθαρισμός των υφάλων και η ανανέωση του υφαλοχρωματισμού κατά το δεξαμενισμό, όπως και η εφαρμογή τεχνικών υποβρύχιου καθαρισμού από εξειδικευμένο προσωπικό αποτελούν μεθόδους προστασίας και συντήρησης της γάστρας. Στην παρούσα εργασία θα αναλυθούν οι σημαντικότερες τεχνολογίες που συντελούν στη συντήρηση των υφάλων σε συνδυασμό με τους εν ισχύ Διεθνείς κανονισμούς και το προσδοκώμενο οικονομικό όφελος ή επιβάρυνση ανά τεχνολογία. Αντικειμενικός σκοπός αποτελεί η ανάλυση των ανωτέρω παραγόντων ώστε να κατανοηθεί επαρκώς πως δύναται να συμβάλλουν στην επίτευξη της βέλτιστης εν πλω απόδοση ενός πλοίου.

Λέξεις – Κλειδιά

Βιορύπανση, γάστρα, καθοδική προστασία, υποβρύχιος καθαρισμός, υφαλοχρώματα.



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	v
Πίνακας Περιεχομένων	vi
Πίνακας Σχημάτων.....	vii
Πίνακες.....	viii
Συντμήσεις	ix
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Επιπτώσεις της θαλάσσιας ρύπανσης στη ναυτιλιακή βιομηχανία.	2
1.2 Παραδείγματα επίδρασης της βιορύπανσης στην απόδοση πλοίου.....	5
1.2.1 Η περίπτωση του Αντιτορπιλικού DDG-51.....	6
1.2.2 Η περίπτωση της εμπορικής ναυτιλίας.	9
1.3 Η επίδραση της βιορύπανσης στο περιβάλλον.....	11
2. Τα υφαλοχρώματα.....	11
2.1 Σύγχρονα βιοκτόνα υφαλοχρώματα.....	12
2.1.1 Πολυμερή υφαλοχρώματα ελεγχόμενης απελευθέρωσης (CDP).	12
2.1.2 Τα αυτολειαινόμενα συμπολυμερή υφαλοχρώματα (SPC).....	14
2.1.3 Υβριδικά ή αυτολειαινόμενα (Self-Polishing) υφαλοχρώματα.....	15
2.2 Σύγχρονα μη βιοκτόνα υφαλοχρώματα.....	16
2.2.1 Υφαλοχρώματα απελευθέρωσης της ρύπανσης (Fouling Release).....	17
2.2.2 Σκληρά αδρανή αντιρρυπαντικά συστήματα (Hard Inert Coatings).....	19
3. Προετοιμασία επιφανειών πριν την τοποθέτηση του υφαλοχρώματος	21
4. Η επίδραση των υφαλοχρωμάτων στο περιβάλλον.....	24
5. Αποφάσεις IMO και της Ε.Ε. για τη χρήση των υφαλοχρωμάτων.....	26
5.1 Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (IMO)	26
5.2 Η Ευρωπαϊκή Ένωση.....	27
6. Υποβρύχιος καθαρισμός υφάλων πλοίων.....	29
6.1 Συσκευές και μέθοδοι υποβρύχιου καθαρισμού.....	29
6.1.1 Χειροκίνητος καθαρισμός γάστρας.....	30
6.1.2 Συσκευές καθαρισμού περιστροφικής βούρτσας.....	31
6.1.3 Τεχνολογία καθαρισμού χωρίς επαφή.....	31
6.2 Κατηγορίες αυτόνομων τηλεχειριζόμενων συσκευών υποβρύχιου καθαρισμού.....	33
7. Ύφαλα πλοίου και προστασία από τη διάβρωση.....	40
7.1 Παθητική προστασία.....	44
7.2 Ενεργητική προστασία.....	45
8. Εφαρμογή νέων αντιρρυπαντικών τεχνολογιών.....	47
9. Συμπεράσματα.....	52
Βιβλιογραφία.....	534



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

Πίνακας Εικόνων και Σχημάτων

Εικόνες

Εικόνα 1.1: Είδη θαλάσσιας βιορύπανσης.....	2
Εικόνα 1.2: Ανάπτυξη σκληρής ρύπανσης στις έλικες πλοίου.....	4
Εικόνα 1.3: Ανάπτυξη βιορύπανσης σε επιμέρους σημεία πλοίου.....	5
Εικόνα 1.4: Αντιτορπλικό DDG-51, κλάσης Arleigh Burke.....	6
Εικόνα 2.1: Υφαλοχρώματα FRC και CDP στην ίδια γάστρα περιπολικού πλοίου.....	19
Εικόνα 6.1: Εργαλεία χειροκίνητου καθαρισμού.....	30
Εικόνα 6.2: Συσκευές υποβρύχιου καθαρισμού με βούρτσες.....	31
Εικόνα 6.3: Συσκευή υποβρύχιου καθαρισμού ARMUS δεύτερης γενιάς.....	34
Εικόνα 6.4: Τηλεχειριζόμενη συσκευή καθαρισμού υφάλων Hismar.....	35
Εικόνα 6.5: Υποβρύχια συσκευή καθαρισμού HullBUG.....	35
Εικόνα 6.6: Υποβρύχια συσκευή καθαρισμού υφάλων ROVIN-BAT.....	36
Εικόνα 6.7: Συσκευή Hull Skater της εταιρείας Jotun.....	37
Εικόνα 7.1: Ανόδιο παθητικής προστασίας.....	44
Εικόνα 7.2.: Ανόδια ψευδαργύρου σε ύφαλα πλοίου.....	45
Εικόνα 7.3: Εγκατεστημένο σύστημα ενεργητικής καθοδικής προστασίας σε πλοίο.....	46
Εικόνα 8.1: Επιφάνεια υφαλοχρώματος ναυτεχνολογίας.....	48
Εικόνα 8.2: Απεικόνιση βιομιμητικής εφαρμογής του δέρματος λευκού καρχαρία σε αντιρρυπαντική επίστρωση.....	48
Εικόνα 8.3: Τοποθέτηση αντιρρυπαντικής μεμβράνης σε γάστρα πλοίου.....	49
Εικόνα 8.4: Ταλαντωτής υπερήχων.....	50
Εικόνα 8.5: Αποτελέσματα εφαρμογής τεχνολογίας UV.....	51

Σχήματα

Σχήμα 2.1: Μηχανισμός δράσης υφαλοχρωμάτων CDP.....	14
Σχήμα 2.2: Μηχανισμός δράσης υφαλοχρωμάτων SPC.....	15
Σχήμα 7.1: Η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης.....	40
Σχήμα 7.2: Γαλβανική κυψέλη.....	42



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

Πίνακες

Πίνακας 1.1: Κατάταξη της θαλάσσιας βιορύπανσης σύμφωνα με το NSTM.....	7
Πίνακας 1.2: Αύξηση της αντίστασης στους 15 kt.....	8
Πίνακας 1.3: Αύξηση της αντίστασης στους 30 kt.....	8
Πίνακας 1.4: Αναλογία απαιτούμενης ισχύος σε σχέση με την αύξηση της τραχύτητας των υφάλων σε μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containership).....	10
Πίνακας 1.5: Σχέση ταχύτητας και τραχύτητας των υφάλων σε φορηγά πλοία (bulkers) και δεξαμενόπλοια (tankers).....	10
Πίνακας 3.1: Κριτήρια μόλυνσης και τα ελάχιστα επιτρεπτά επίπεδα της.....	23
Πίνακας 7.1: Γαλβανική σειρά.....	43



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

Συντμήσεις

AF: Antifouling
CDP: Control Depletion Polymer
DDG: Guided-missile Destroyer
DFT: Dry Film Thickness
EEDI: Energy Efficiency Design Index
EEXI: Energy Efficiency Design Index for Existing Ships
FR: Fouling Release
GHG: Greenhouse Gas
IMO: International Maritime Organization
NSTM: Naval Ships' Technical Manual
SPC: Self Polishing Copolymer
TBT: Tributyltin
UCL: University College London
USN: United States Navy
UV: Ultraviolet
VLCC: Very Large Crude Carrier
E.E.: Ευρωπαϊκή Ένωση
E.K.: Ευρωπαϊκός Κανονισμός
Η.Π.Α.: Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

1. Εισαγωγή



















Η συντήρηση των υφάλων ενός πλοίου αποτελεί μια κρίσιμη διαδικασία τόσο για την προστασία των μεταλλικών επιφανειών κάτωθεν της ισάλου γραμμής όσο και για την αποφυγή ανάπτυξης βιορύπανσης επί της γάστρας του. Η ανάπτυξη θαλάσσιας βιορύπανσης στη γάστρα ενός πλοίου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της βυθισμένης επιφάνειας λόγω βάρους και κατ'επέκταση την αύξηση της αντίστασης τριβής κατά την πλεύση. Η θαλάσσια βιορύπανση είναι μια βιολογική διαδικασία που λαμβάνει χώρα, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική θέση και τις κλιματικές συνθήκες. Αναπόφευκτα, οποιαδήποτε βυθισμένη και ημιβυθισμένη επιφάνεια συσσωρεύει θαλάσσια είδη που έχουν την τάση να προσκολλώνται μόνιμα, να αναπτύσσονται και να πολλαπλασιάζονται στην επιφάνειά της. Η θαλάσσια βιορρύπανση χωρίζεται σε δύο κύριες κατηγορίες με βάση το μέγεθος των πλήρως αναπτυγμένων οργανισμών, μικρορύπανσης και μακρορύπανσης, οι οποίες συνυπάρχουν σχηματίζοντας μια κοινότητα ρύπανσης (Hellio & Yebra, 2009). Η μικρορύπανση αναφέρεται σε βακτηριακά και διατομικά βιοφίλμ ενώ η μακρορύπανση περιλαμβάνει μακροφύκη, βρυόζωα, οστρακοειδή, σωληνοειδείς σκώληκες κ.λπ.

Είναι ενδιαφέρον ότι η ρύπανση ξεκινά αμέσως μετά τη βύθιση μιας δομής στο θαλασσινό νερό. Η διαδικασία ρύπανσης αναπτύσσεται σε τέσσερα στάδια (Hellio & Yebra, 2009). Αρχικά, στην επιφάνεια της κατασκευής λαμβάνει χώρα ο σχηματισμός ενός φιλμ προσαρμογής τόσο από οργανική όσο και από ανόργανη ύλη. Κατά το δεύτερο στάδιο, μέσα σε λίγες ώρες το τροποποιημένο υπόστρωμα συσσωρεύει βακτήρια, ζυμομύκητες και διάτομα. Στο τρίτο στάδιο κατά τη διάρκεια της πρώτης εβδομάδας, περισσότεροι μικροοργανισμοί (σπόρια μακροφυκών, μυκήτων και πρωτόζωων) εγκαθίστανται στην επιφάνεια και σχηματίζουν ένα βιοφίλμ ή «στρώμα λάσπης». Τέλος στο τέταρτο στάδιο της διαδικασίας ρύπανσης, οι προνύμφες των υδρόβιων μικροοργανισμών αποικίζουν την επιφάνεια και αναπτύσσεται η μακρορύπανση. Ο τύπος, η κάλυψη και η ένταση της βιορύπανσης που αναπτύσσεται στα ύφαλα ενός πλοίου εξαρτώνται από διάφορες παραμέτρους. Μια ομάδα από αυτές τις μεταβλητές σχετίζεται με τις υδάτινες συνθήκες που υπάρχουν στη θαλάσσια περιοχή που επιχειρεί ή ελλιμενίζεται ένα πλοίο. Αυτές οι συνθήκες εξαρτώνται από γεωγραφικούς, κλιματικούς, εποχιακούς και φυσικούς παράγοντες (Hellio & Yebra, 2009). Μερικές από αυτές τις παραμέτρους είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, η ρύπανση, το βάθος του νερού, το φως και η αλληλεπίδραση



Γεώργιος Μπατσαούρας,
 Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
 υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
 απόδοση πλοίου.

των ειδών. Προφανώς, αυτές οι παράμετροι δεν μπορούν να τροποποιηθούν. Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τη βιορύπανση σχετίζονται με το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συντήρηση του σκάφους (υδροδυναμικά χαρακτηριστικά της γάστρας, τραχύτητα και σύνθεση της επιφάνειας της γάστρας που σχετίζονται με τις ιδιότητες της επιφάνειας επίστρωσης και το ιστορικό συντήρησης, κ.λπ.). Η επιχειρησιακή δραστηριότητα ενός σκάφους (συχνότητα και διάρκεια των περιόδων αδράνειας) και το προφίλ ταχύτητας (ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και τις λειτουργίες του) αποτελούν επίσης βασικές παραμέτρους για την έκταση της βιορύπανσης στα ύφαλα του πλοίου. Στην εικόνα 1.1 απεικονίζονται χαρακτηριστικά είδη θαλάσσιας ρύπανσης.

Groups	Algae (plants)	Invertebrates (animals)							
Subgroups	(a) green, (b) brown and (c) red	Hard shell organisms				Grass type organisms	Small bush organisms	Spineless organisms	
Designation	(a) <i>Enteromorpha</i> , <i>Ulva</i> and <i>Cladophora</i> , (b) <i>Ectocarpus</i> and <i>Fucus</i> , and (c) <i>Ceramium</i>	<i>Balanus</i>	<i>Barnacles</i>	<i>Molluscs</i>	<i>Fouling bryozoans</i>	<i>Hydroids or bryozoans</i>	<i>Hydroids or bryozoans</i>	<i>Ascidians</i>	<i>Sponges and sea anemones</i>
Example of typical aspect									
Designation	<i>Green algae</i>	<i>Balanus</i>	<i>Calcareous polychaetes</i>	<i>Molluscs</i>	<i>Fouling bryozoans</i>	<i>Bryozoans</i>	<i>Ascidians</i>		
Example of typical aspect									
Short description	Only plants that become attached to immersed surface: a) close to surface; b) at mid depth; and c) at depth	Attached trunc-conical or cylindrical crustaceans	Barnacles are <i>Balanus</i> that are fixed to surfaces via a stem	Bivalves containing a spineless animal in their interior	Calcareous incrustations that multiply from a central individual	Organisms that cover surfaces with an open grass or fur	Like bushes of several centimetres and with branches	Constituted by a spineless bag with two tubular openings or starry plates	Spineless and spongy aspect (sponges) and sea anemones

Εικόνα 1.1: Είδη θαλάσσιας βιορύπανσης. (πηγή: Marine paints-The particular case of antifouling paints, E. Almeida, T.C. Diamantino, O. de Sousa, 2007)

1.1 Επιπτώσεις της θαλάσσιας ρύπανσης στη ναυτιλιακή βιομηχανία

Η βιορύπανση έχει σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο στο ναυτιλιακό τομέα. Η παρουσία της αυξάνει την τραχύτητα της γάστρας με αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης πλεύσης ενός σκάφους. Η υδροδυναμική έρευνα, συμπεριλαμβανομένων μελετών και δοκιμών πλήρους κλίμακας σε διάφορους τύπους πλοίων, δείχνει ότι η αύξηση της οπισθέλκουσας δύναμης μπορεί να είναι σημαντική, και το μέγεθός της εξαρτάται από τον τύπο ρύπανσης και το ποσοστό κάλυψης της γάστρας (M. P. Schultz, 2011). Η προστιθέμενη αντίσταση σε ένα πλοίο με ρυπαρή γάστρα είναι περίπου 30% (Munk T.,



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

2009). Η συσσώρευση βιορύπανσης αυξάνει επίσης το βάρος του σκάφους. Σε ένα πλοίο που δεν έχει εφαρμοστεί αντιρρυπαντική προστασία είναι δυνατόν να συσσωρευτεί στα ύφαλα του 150 kg/m² υδρόβιων οργανισμών εντός έξι μηνών (Κοτρίκλα, 2015). Αυτό σημαίνει ότι σε ένα φορτηγό πλοίο τύπου VLCC με επιφάνεια υφάλων 30.000 m², θα συσσωρευτούν 4.500 tons βιορύπανσης. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, η ισχύς πρόωσης που απαιτείται για την πλεύση του πλοίου με την ίδια ταχύτητα αυξάνεται, οδηγώντας είτε σε απώλεια ταχύτητας (για την ίδια προωθητική ισχύ) είτε σε αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου (για να διατηρηθεί το προφίλ ταχύτητας) και κατ'επέκταση μείωση της ακτίνας δράσης του πλοίου (Munk T., 2009). Υπολογίζεται ότι, μετά από έξι μήνες ρύπανσης, ένα πλοίο χρειάζεται να καταναλώσει 40% περισσότερο καύσιμο για να διατηρήσει τη συνήθη επιχειρησιακή του ταχύτητα, με αποτέλεσμα τη μείωση του περιθωρίου κέρδους των πλοιοκτητών. Εκτιμάται ότι το 50% του λειτουργικού κόστους των εμπορικών πλοίων προέρχεται από την κατανάλωση καυσίμου. Μια γάστρα με ποσοστό κάλυψης από βιορύπανση 5%, θα οδηγήσει σε αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 5 έως 10%, ενώ με ποσοστό ρύπανσης 33% οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 50% (Johnson, 2018). Η ρύπανση στη γάστρα δεν είναι η μόνη πηγή απώλειας ενέργειας για ένα πλοίο. Επιβάρυνση στην απόδοση ενός σκάφους προκαλεί και η ανάπτυξη βιορύπανσης στην έλικα. Καθώς περνά ο καιρός, η απόδοση μιας έλικας μειώνεται λόγω της συσσώρευσης βιορύπανσης και ασβεστούχων εναποθέσεων στην επιφάνειά της. Σύμφωνα με το αντίστοιχο τεχνικό εγχειρίδιο του Πολεμικού Ναυτικού των Η.Π.Α. (Ch.081, 2006) «περίπου το 50% του συνόλου του πλεονεκτήματος εξοικονόμησης καυσίμου από τον καθαρισμό των υφάλων ενός πλοίου αποδίδεται στον καθαρισμό των ελικοφόρων αξόνων». Για αυτό το λόγο κάθε φορά που διαπιστώνεται επιδείνωση στην απόδοση ενός πλοίου, το πρώτο σημείο που πρέπει να επιθεωρηθεί είναι οι έλικες του. Στην εικόνα 1.2, βλέπουμε την ανάπτυξη σκληρής ρύπανσης στις έλικες και στα ύφαλα πλοίου μετά από μακρά περίοδο επιχειρησιακής αδράνειας.



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*



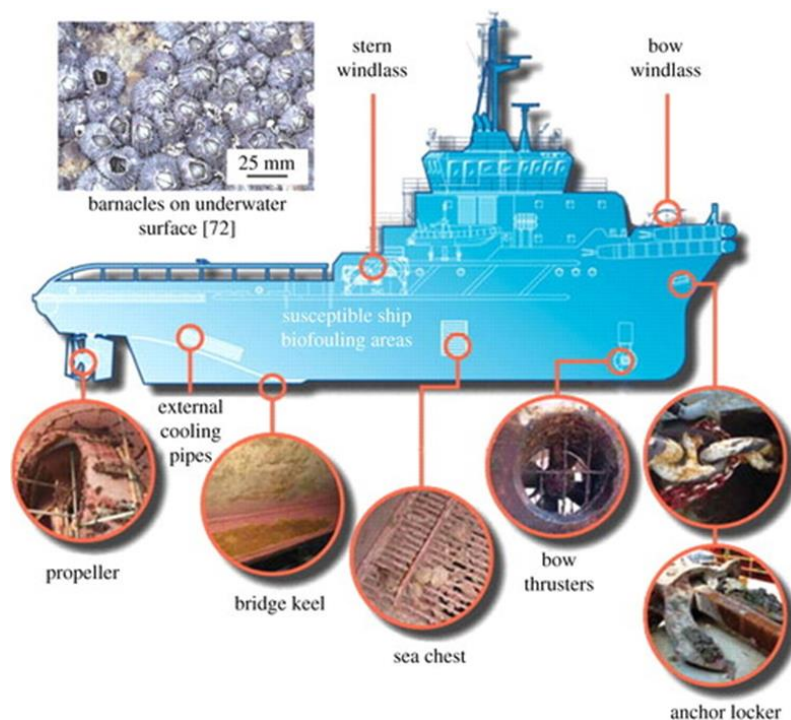
Εικόνα 1.2: Ανάπτυξη σκληρής ρύπανσης στις έλικες πλοίου. (πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Η ρύπανση συμβάλλει επίσης στην αύξηση του κόστους συντήρησης ενός πλοίου. Οι συχνότεροι και μεγαλύτεροι σε διάρκεια δεξαμενισμοί κατά τη διάρκεια της επιχειρησιακής ζωής ενός πλοίου, προκειμένου να πραγματοποιηθεί καθαρισμός των υφάλων, έχουν ως αποτέλεσμα πρόσθετα έξοδα όσον αφορά τα κόστη χρήσης της δεξαμενής και το κόστος εργασιών δεξαμενισμού. Επιπρόσθετα η περίοδος δεξαμενισμού είναι αδρανής περίοδος, στην οποία ένα πλοίο δεν αποδίδει οικονομικά οφέλη στον πλοιοκτήτη, αφού στην ουσία είναι εκτός επιχειρησιακής λειτουργίας. Μπορούν επίσης να πραγματοποιηθούν υποβρύχιοι καθαρισμοί γάστρας για την απομάκρυνση των προσκολλημένων υδρόβιων οργανισμών, πράγμα που σημαίνει περαιτέρω δαπάνες. Επίσης λόγω της ρύπανσης των υφάλων ενός πλοίου αυξάνεται το φορτίο λειτουργίας των κύριων μηχανών πρόωσης οδηγώντας σε επιταχυνόμενη φθορά διαφόρων εξαρτημάτων του κινητήρα και την αύξηση της απαίτησης για εκτέλεση εργασιών προγραμματισμένης συντήρησης. Η ανάπτυξη ρύπανσης στις κεντρικές αναρροφήσεις (sea chests) και στα δίκτυα τροφοδότησης με θαλασσινό νερό βασικών και βοηθητικών μηχανημάτων μπορεί να μειώσει σημαντικά την απόδοση τους παρεμποδίζοντας τη λειτουργία τους και προκαλώντας πρόωρες φθορές και βλάβες. Η στρειδώνια που αναπτύσσεται στις σίτες των κεντρικών αναρροφήσεων μειώνει την επιφάνεια από την οποία μπορεί να διέλθει το θαλασσινό νερό. Επίσης μειώνει τη διατομή των δικτύων αναρρόφησης και κατάθλιψη των εγκατεστημένων αντλιών θαλάσσης με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των τεχνικών



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

χαρακτηριστικών τους (π.χ. μειωμένη παροχή αντλίας). Επιπλέον, η μικρορύπανση (microfouling) και η μακρορύπανση (macrofouling) συμβάλλουν στη διάσπαση των προστατευτικών επικαλύψεων και, ως εκ τούτου, στην πρόωμη έναρξη της διάβρωσης (Schweitzer, 2006). Τέλος σε αρκετές περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί η ιδιαίτερα αυξημένη ρύπανση στα υφαλά συνδέεται και με την αυξητική τάση των κραδασμών ενός πλοίου. Στη εικόνα 1.3 αποτυπώνεται η ανάπτυξη βιορύπανσης σε επιμέρους σημεία ενός πλοίου.



Εικόνα 1.3: Ανάπτυξη βιορύπανσης σε επιμέρους σημεία πλοίου. (πηγή: Review of Underwater Ship Hull Cleaning Technologies, Changhui Song & Weicheng Cui)

1.2 Παραδείγματα επίδρασης της βιορύπανσης στην απόδοση πλοίου

Η επίδραση της θαλάσσιας ρύπανσης στην απόδοση διαφόρων κατηγοριών πλοίων μελετάται συνεχώς από την επιστημονική κοινότητα και τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Διάφοροι φορείς όπως ναυτιλιακές εταιρείες, εταιρείες παραγωγής υφαλοχρωμάτων και ο στρατιωτικός τομέας αναλύει συνεχώς δεδομένα που αποδεικνύουν την αρνητική επίδραση της βιορύπανσης τόσο στην ολική απόδοση του σκάφους όσο και στα επιμέρους εξαρτήματα και συστήματα που το υποστηρίζουν. Ακολουθούν δύο παραδείγματα ανάλυσης τέτοιων περιπτώσεων του Πολεμικού Ναυτικού των Η.Π.Α και της εταιρείας παρασκευής χρωμάτων International.



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

1.2.1 Η περίπτωση του Αντιτορπλικού DDG-51

Μια περίπτωση καταγραφής της ανάπτυξης θαλάσσιας βιορύπανσης και της επίδρασης της στην απόδοση ενός πλοίου είναι αυτή του αντιτορπλικού DDG-51 κλάσης Arleigh Burke του Πολεμικού Ναυτικού των Η.Π.Α (εικόνα 1.4). Το αντιτορπλικό DDG-51 έχει εκτόπισμα 8.768 μετρικών τόνων και επιφάνεια υφάλων 3.001 m².



Εικόνα 1.4: Αντιτορπλικό DDG-51, κλάσης Arleigh Burke.

(πηγή: <https://www.surflant.usff.navy.mil/ddg51/>)

Δύτες κατέγραφαν επί τρία χρόνια (Ιανουάριος 2004 έως Δεκέμβριος 2006) την εμφάνιση και την επέκταση της βιολογικής ρύπανσης σε πολλαπλά τμήματα της γάστρας, στις προπέλες, τα πηδάλια και τις αναρροφήσεις. Τα αποτελέσματα αυτών των επιθεωρήσεων (συνολικά 320 καταγραφές) καταγράφηκαν σε βάση δεδομένων και ταξινομήθηκαν σύμφωνα με τις αντίστοιχες κατηγορίες ρύπανσης του αντίστοιχου τεχνικού εγχειριδίου NSTM (Ch.081, 2006). Τα βασικά σημεία αναφοράς της μελέτης ήταν: α) το σύστημα υφαλοχρωματισμού του πλοίου αποτελούμενο από δύο στρώσεις αντιδιαβρωτικού χρώματος (πάχος ξηράς στρώσης (Dry Film thickness-DFT) 125 mm η καθεμία) και τρεις στρώσεις βιοκτόνου αντιρρυπαντικού χρώματος με βάση το χαλκό (πάχος ξηράς στρώσης (Dry Film thickness-DFT) 125 mm η καθεμία) και (β) η κατάσταση της ρύπανσης της



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

γάστρας του Αντιτορπλικού που χαρακτηρίστηκε ως FR-30, με ανώτερο καταγραφόμενο επίπεδο το FR-60 βάσει της κατάταξης του πίνακα 1.1.

Fouling Type	Fouling Rating (FR)	Description
Soft	0	A clean, foul-free surface; red and/or black antifouling paint or a bare metal surface.
Soft	10	Light shades of red and green (incipient slime). Bare metal and painted surfaces are visible beneath the fouling.
Soft	20	Slime as dark green patches with yellow or brown colored areas (advanced slime). Bare metal and painted surfaces may be obscured by the fouling.
Soft	30	Grass as filaments up to 3 inches (76 mm) in length, projections up to ¼ inch (6.4 mm) in height; or a flat network of filaments, green, yellow, or brown in color; or soft non-calcareous fouling such as sea cucumbers, sea grapes, or sea squirts projecting up to ¼ inch (6.4 mm) in height. The fouling cannot be easily wiped off by hand.
Hard	40	Calcareous fouling in the form of tubeworms less than ¼ inch in diameter or height.
Hard	50	Calcareous fouling in the form of barnacles less than ¼ inch in diameter or height.
Hard	60	Combination of tubeworms and barnacles, less than ¼ inch in diameter or height.
Hard	70	Combination of tubeworms and barnacles, greater than ¼ inch in diameter or height.
Hard	80	Tubeworms closely packed together and growing upright away from the surface. Barnacles growing one on top of another, ¼ inch or less in height. Calcareous shells appear clean or white in color.
Hard	90	Dense growth of tubeworms with barnacles, ¼ inch or greater in height; Calcareous shells brown in color (oysters and mussels); or with slime or grass overlay.
Composite	100	All forms of fouling present. Soft and Hard, particularly soft sedentary animals without calcareous covering (tunicates) growing over various forms of hard growth.

Πίνακας 1.1: Κατάταξη της θαλάσσιας βιορύπανσης σύμφωνα με το NSTM (πηγή: Naval Ship's Technical Manual, Ch.081, Rev.5, Table 081-1-1)

Δεδομένου ότι οι επιπτώσεις της ρύπανσης στην απόδοση ποικίλλουν μεταξύ των κατηγοριών πλοίων και η ένταση της ρύπανσης διαφέρει ανάλογα με τον τύπο επικάλυψης της γάστρας, το επιχειρησιακό προφίλ και την περιοχή λειτουργίας του πλοίου, το Πολεμικό Ναυτικό των Η.Π.Α. δεν καθορίζει συγκεκριμένα διαστήματα για τη διεξαγωγή των καθαρισμών της γάστρας (Ch.081, 2006). Αντίθετα, η απόφαση για τον καθαρισμό βασίζεται στα αποτελέσματα των τακτικών επιθεωρήσεων. Απαιτείται πλήρης καθαρισμός της γάστρας όταν εμφανίζεται ρύπανση σε βαθμό FR-40 στο 20% της επιφάνειας της γάστρας για Self Polishing Copolymer υφαλοχρώματα ή FR-50 στο 10% της επιφάνειας της γάστρας για Fouling Release υφαλοχρώματα (Ch.081, 2006). Τα κριτήρια απόδοσης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να υποδείξουν την ανάγκη καθαρισμού της γάστρας, συμπεριλαμβανομένου: α) της μείωσης της ταχύτητας κατά ένα κόμβο σε



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

σταθερές στροφές άξονα, β) την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 5% για τη διατήρηση ενός καθορισμένου ρυθμού περιστροφής του άξονα και γ) την αύξηση του ρυθμού περιστροφής του άξονα κατά 5% για τη διατήρηση μιας συγκεκριμένης ταχύτητας (Ch.081, 2006). Επομένως λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και για να προβλεφθεί ο αντίκτυπος της ρύπανσης της γάστρας του DDG-51 στη συνολική αντίσταση (ΔR_{Ts}) και την απαιτούμενη ισχύ του άξονα (ΔSP) ελήφθησαν μετρήσεις για διάφορα στάδια ρύπανσης της γάστρας σε ταχύτητες 15 και 30 κόμβων αντίστοιχα (M. P. Schultz, 2011). Όπου ΔR_{Ts} είναι η ποσοστιαία μεταβολή της αύξησης της συνολικής αντίστασης του πλοίου και ΔSP η μεταβολή της απαιτούμενης αύξησης της ισχύος σε KW.

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

Πίνακας 1.2: Αύξηση της αντίστασης στους 15 kt (πηγή: (M. P. Schultz, 2011)).

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

Πίνακας 1.3: Αύξηση της αντίστασης στους 30 kt (πηγή: (M. P. Schultz, 2011)).



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

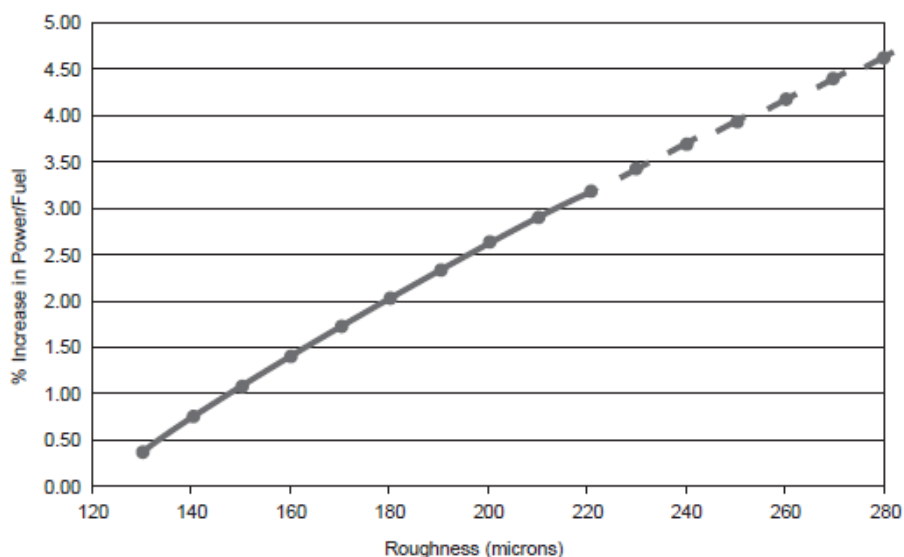
Από τα στοιχεία των πινάκων 1.2 και 1.3 προκύπτει η μεγάλη επίδραση της ρύπανσης στην κατανάλωση καυσίμου και στο επακόλουθο λειτουργικό κόστος. Επιπρόσθετα παρατηρούμε ότι η αύξηση της αντίστασης λόγω ρύπανσης των υφάλων είναι μεγαλύτερη στις χαμηλότερες ταχύτητες και ότι η αντίσταση αυτή μπορεί να αυξηθεί έως και 70%. Από τη μελέτη επίσης προέκυψε ότι για ρύπανση υφάλων επιπέδου FR-30, το οποίο είναι βαριά λάσπη χωρίς σκληρή ρύπανση, η κατανάλωση καυσίμου αυξήθηκε κατά 10,3% σε σχέση με την αντίστοιχη κατανάλωση με καθαρή γάστρα. Αυτή η αύξηση ισοδυναμεί με ένα σημερινό κόστος περίπου 1,2 εκατομμυρίων δολαρίων (\$) ανά πλοίο ετησίως. Για ρύπανση των υφάλων του DDG-51 επιπέδου FR-60 (σκληρή ρύπανση) διαπιστώθηκε αύξηση κατανάλωσης καυσίμου κατά 20,4% που ισοδυναμεί με σημερινό κόστος περίπου 2,3 εκατομμυρίων δολαρίων (\$) ανά πλοίο σε ετήσια βάση.

1.2.2 Η περίπτωση της εμπορικής ναυτιλίας

Ένα ακόμα παράδειγμα της επίδρασης της ρύπανσης των υφάλων στην απόδοση ενός πλοίου αποτελούν οι παρακάτω πίνακες γνωστής εταιρείας κατασκευής υφαλοχρωμάτων. Στον πίνακα 1.4 αποτυπώνεται η αναλογία αύξησης απαιτούμενης ισχύος πρόωσης / κατανάλωσης καυσίμου ενός πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containership) με την αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας των υφάλων λόγω της βιορύπανσης. Παρατηρούμε ότι η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης αυξάνεται κατά 3,5% όταν διπλασιάζεται η τραχύτητα των υφάλων από 120 σε 240 microns.



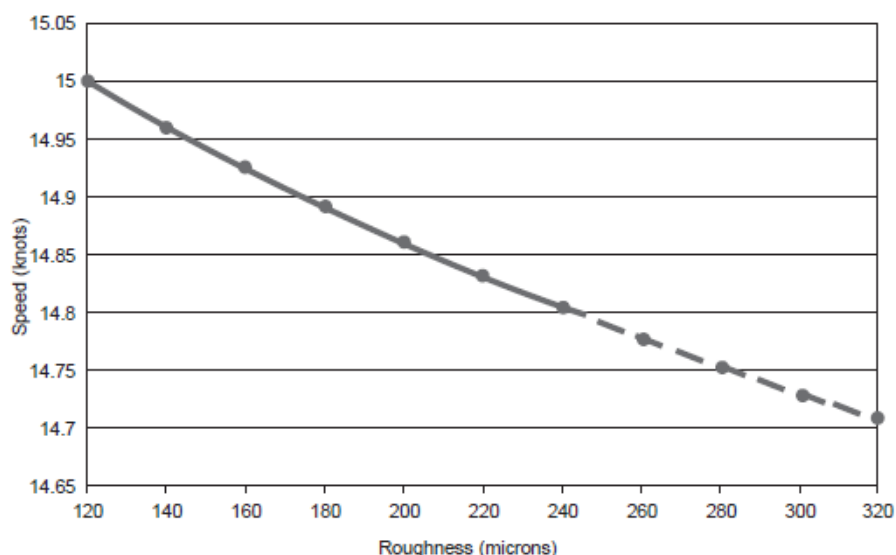
Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.



Πίνακας 1.4: Αναλογία απαιτούμενης ισχύος σε σχέση με την αύξηση της τραχύτητας των υφάλων σε πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containership).

(πηγή: <https://www.international-marine.com/cases>)

Στη συνέχεια στον πίνακα 1.5 έχουμε την αντιστρόφως ανάλογη σχέση της ταχύτητας φορτηγών πλοίων (bulkers) και δεξαμενόπλοιων (tankers) με τη ρύπανση των υφάλων τους. Όταν η τραχύτητα της επιφάνειας της γάστρας αυξάνεται από 120 σε 240 microns λόγω της επέκτασης της βιορύπανσης η ταχύτητα μειώνεται κατά 0,2 κόμβους.



Πίνακας 1.5: Σχέση ταχύτητας και τραχύτητας των υφάλων σε φορτηγά πλοία (bulkers) και δεξαμενόπλοια (tankers). (πηγή: <https://www.international-marine.com/cases>)



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

1.3 Η επίδραση της βιορύπανσης στο περιβάλλον

Η αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου όπως αναφέραμε παραπάνω λόγω της ρύπανσης της γάστρας, δημιουργεί περιβαλλοντική επιβάρυνση καθώς οδηγεί στην αύξηση του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων αερίων του θερμοκηπίου (GHGs). Επίσης έχουμε αύξηση στις εκπομπές και άλλων αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα, όπως τα οξείδια του θείου (SO_x), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και τα σωματίδια (PM), λόγω της αυξημένης κατανάλωσης καυσίμου. Σύμφωνα με την 4η μελέτη εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) του IMO (IMO, 2020) η διεθνής ναυτιλία εξέπεμψε περίπου 919 εκατομμύρια τόνους CO₂ και 21 εκατομμύρια τόνους άλλων αερίων του θερμοκηπίου το 2018 (συμπεριλαμβανομένου μεθανίου, NO_x, SO_x). Σύμφωνα με την ίδια μελέτη, το 9% της κατανάλωσης καυσίμου και των αντίστοιχων αερίων εκπομπών προκλήθηκαν από τη ρύπανση των υφάλων των πλοίων. Πέρα από την επίδραση στο φυσικό περιβάλλον, τα εκπεμπόμενα καυσαέρια έχουν επιπτώσεις και στην ανθρώπινη υγεία προκαλώντας καρδιοαναπνευστικά νοσήματα τα οποία οδηγούν ακόμα και σε πρόωρο θάνατο (ΕΟΠ, 2020). Αναγνωρίζοντας τον αντίκτυπο της ναυτιλιακής βιομηχανίας στην παγκόσμια ρύπανση, ο IMO έχει εισαγάγει κανονισμούς για τον έλεγχο και τη σταδιακή μείωση των εκπομπών από τα πλοία με απώτερο σκοπό τη μηδενική εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050.

Επιπλέον, η βιορύπανση που αναπτύσσεται στα ύφαλα μπορεί να αποτελέσει πηγή για την μετατόπιση χωροκατακτητικών υδρόβιων ειδών (Hellio & Yebra, 2009). Αυτοί οι θαλάσσιοι οργανισμοί, όταν εισαχθούν σε ένα νέο υδάτινο περιβάλλον, αποτελούν δυνητικό κίνδυνο για το τοπικό οικοσύστημα και την ανθρώπινη υγεία. Μπορούν επίσης να έχουν αρνητικό οικονομικό και κοινωνικό αντίκτυπο εφόσον αποδειχθεί ότι είναι επιβλαβείς για την αλιεία, την υδατοκαλλιέργεια και τις υποδομές. Το σημαντικότερο είναι ότι οι επιπτώσεις των χωροκατακτητικών ειδών στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι σχεδόν πάντα μη αναστρέψιμες.



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

2. Τα υφαλοχρώματα

Τα αντιρρυπαντικά συστήματα (Antifouling - AF) είναι μια ειδική κατηγορία χρωμάτων που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία για τη βαφή των υφάλων ενός πλοίου προκειμένου να μειωθεί ή να αποτραπεί η θαλάσσια βιορύπανση. Η τεχνολογική τους ανάπτυξη και παραγωγή τους είναι μια περίπλοκη διαδικασία και μεγάλο μέρος της εφαρμοσμένης τεχνολογίας αποτελεί έως σήμερα εταιρικό απόρρητο. Τα σύγχρονα αντιρρυπαντικά συστήματα (AF) χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τα βιοκτόνα και τα μη βιοκτόνα. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει επικαλύψεις που ο αντιρρυπαντικός τους μηχανισμός βασίζεται στην απελευθέρωση βιοκτόνων στο θαλασσινό νερό από μια υδατοδιαλυτή μήτρα προκειμένου να εξοντωθούν οι ρυπαντικοί οργανισμοί ή να αποτραπεί η επικάλυψη τους επί της γάστρας. Μετά την απαγόρευση του τριβουτυλοκασιτίτερου (TBT), ο χαλκός έχει γίνει το κυρίαρχο βιοκτόνο συστατικό, ενώ επιπλέον «βιοκτόνα ενίσχυσης» χρησιμοποιούνται με στόχο τα θαλάσσια είδη που είναι ανθεκτικά στο χαλκό (K.A. Dafforn, 2011). Οι τρεις κύριες βιοκτόνες αντιρρυπαντικές τεχνολογίες υφαλοχρωμάτων που διατίθενται επί του παρόντος είναι: α) τα πολυμερή ελεγχόμενης απελευθέρωσης (Control Depletion Polymer - CDP), β) τα αυτολειαινόμενα συμπολυμερή (Self Polishing Copolymer - SPC) και γ) τα υβριδικά ή αυτολειαινόμενα (Self-Polishing) υφαλοχρώματα. Η κύρια διαφορά τους είναι ο τύπος του διαλυτού συνδετικού οξέος που επιτρέπει την έκλυση βιοκτόνου.

2.1 Σύγχρονα βιοκτόνα υφαλοχρώματα

Τα σύγχρονα βιοκτόνα υφαλοχρώματα που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά ανήκουν σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες, βάσει της τεχνολογίας με την οποία έχουν κατασκευαστεί.

2.1.1 Πολυμερή υφαλοχρώματα ελεγχόμενης απελευθέρωσης (Control Depletion Polymer - CDP)

Τα υφαλοχρώματα CDP περιέχουν βιοκτόνα τα οποία είναι ενσωματωμένα σε ένα υδατοδιαλυτό υπόστρωμα ρητίνης (rosin ή resin). Η ρητίνη, η οποία είναι ένα φυσικό προϊόν (π.χ. ρετσίνι πεύκου), είναι ευδιάλυτη στο νερό με αποτέλεσμα κατά την επαφή της με τη θάλασσα να εκλύει τις βιοκτόνες ουσίες. Για να μειωθεί ο ρυθμός διάλυσης της

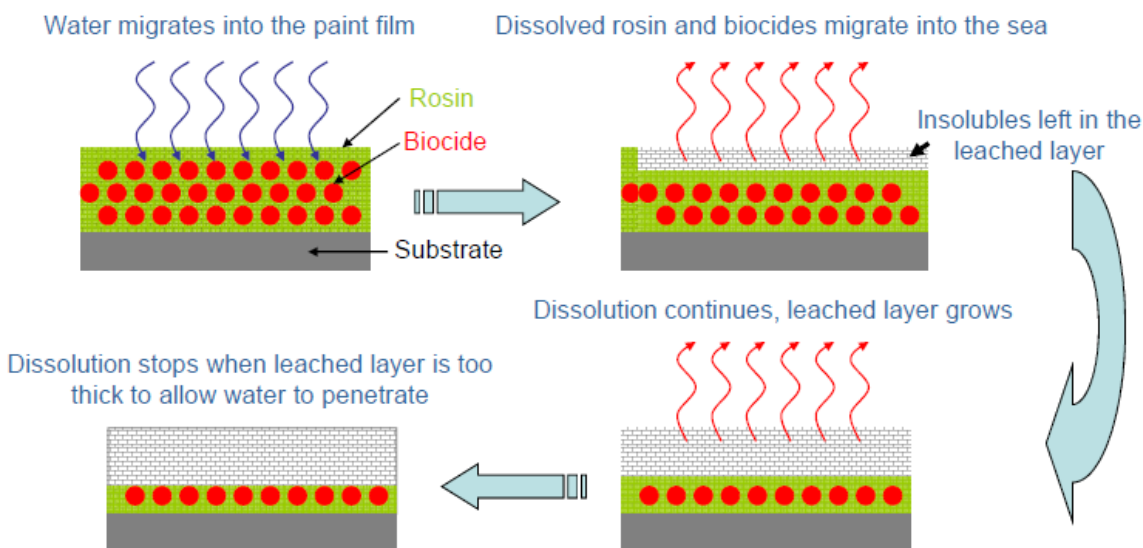


*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

φυσικής ρητίνης και κατ'επέκταση της έκλυσης του βιοκτόνου έχει προστεθεί στο υπόστρωμα μια αδιάλυτη ενισχυτική πολυμερής ρητίνη με σκοπό να ενισχύσει τις μηχανικές της ιδιότητες, να βελτιώσει τις ιδιότητες σχηματισμού φιλμ και να ελέγξει τον ρυθμό διάλυσής της. Τα υφαλοχρώματα CDP είναι η πιο οικονομική επιλογή που προσφέρεται στην αγορά. Ωστόσο, έχουν ορισμένα μειονεκτήματα. Είναι λιγότερο αποτελεσματικά από τα άλλα βιοκτόνα επιστρώματα. Έτσι, είναι κατάλληλα για χρήση σε περιοχές όπου έχει διαπιστωθεί χαμηλότερη ανάπτυξη βιορύπανσης. Η ικανότητά τους επίσης ελαχιστοποιείται κατά τις περιόδους ακινησίας ενός πλοίου. Η ρητίνη είναι εύθραυστη και μπορεί να οδηγήσει σε αστοχίες της επίστρωσης (ράγισμα και αποκόλληση). Είναι επίσης ασταθή στην οξείδωση (E. Almeida, 2007). Τα εν λόγω υφαλοχρώματα ενδέχεται να υποστούν φυσική υποβάθμιση εάν εκτεθούν για παρατεταμένο χρονικό διάστημα στον ατμοσφαιρικό αέρα κατά τη διάρκεια του δεξαμενισμού ενός πλοίου ή κατά μήκος της ισάλου γραμμής. Μπορεί επίσης να αυξηθεί το πάχος της επίστρωσης όπου έχει γίνει η έκλυση του βιοκτόνου λόγω της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στο υπόστρωμα του πολυμερούς μέσω υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων και της παρουσίας αδιάλυτων υλικών υποστρώματος (D. M. Yebra, 2003). Ως αποτέλεσμα, η διάλυση της ρητίνης σταδιακά επιβραδύνεται, η απελευθέρωση βιοκτόνου γίνεται λιγότερο ελεγχόμενη και η απόδοση του αντιρρυπαντικού συστήματος υποβαθμίζεται με την πάροδο του χρόνου. Η τραχύτητα της γάστρας επομένως αυξάνεται προοδευτικά, λόγω της αναποτελεσματικής δράσης και της ανάπτυξης βιορύπανσης, προκαλώντας μεγαλύτερη αντίσταση κατά την πλεύση. Η εφαρμογή των υφαλοχρωμάτων αυτής της τεχνολογίας στα ύφαλα ενός πλοίου μπορεί να είναι μια δύσκολη εργασία κατά τη διάρκεια του δεξαμενισμού λόγω της απαίτησης είτε για αφαίρεση των παχύτερων στρώσεων είτε λόγω της ανάγκης χρήσης συνδετικής-απομονωτικής επίστρωσης (sealer) πριν την επαναβαφή. Η συνήθης διάρκεια ζωής τους είναι τρία χρόνια (Hellio & Yebra, 2009) πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζονται τακτικότερα διαστήματα δεξαμενισμών ενός πλοίου για την εκτέλεση εργασιών ανανέωσης υφαλοχρωματισμού. Στο σχήμα 2.1 αποτυπώνεται χαρακτηριστικά ο μηχανισμός δράσης υφαλοχρωμάτων CDP.



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.



Σχήμα 2.1: Μηχανισμός δράσης υφαλοχρωμάτων CDP.

(πηγή: https://www.ashrae.gr/EEinS2015/EEinS2015_Gougoulidis.pdf)

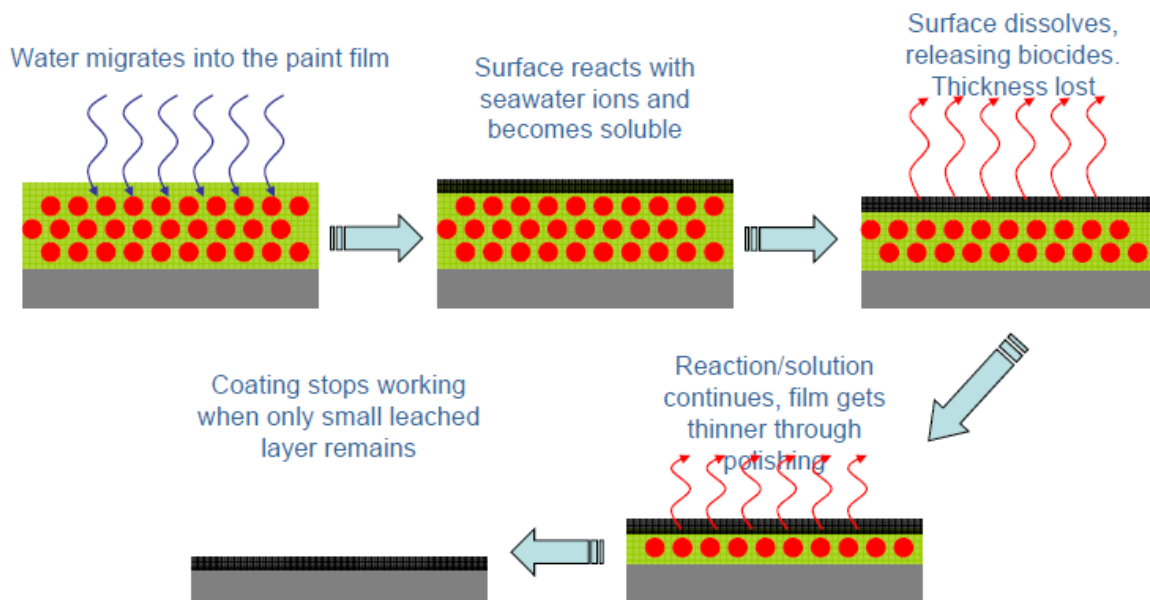
2.1.2 Τα αυτολειαινόμενα συμπολυμερή υφαλοχρώματα (Self Polishing Copolymer - SPC)

Τα αυτολειαινόμενα συμπολυμερή υφαλοχρώματα είναι αδιάλυτα μεταλλικά ή οργανικά συνθετικά πολυμερή χρώματα (ακρυλικός χαλκός ή ακρυλικός ψευδάργυρος ή ακρυλικός σιλυλεστέρας) που περιέχουν βιοκτόνα. Τα βιοκτόνα (χαλκός, ψευδάργυρος και ενισχυτικά βιοκτόνα) που περιέχονται στο επιφανειακό στρώμα των υφαλοχρωμάτων απελευθερώνονται στο νερό μέσω της υδρόλυσης, καθώς μέσω αυτής της χημικής αντίδρασης τμήμα της συμπολυμερούς επίστρωσης γίνεται διαλυτό στο υδάτινο περιβάλλον. Η διαδικασία της απελευθέρωσης των βιοκτόνων σε αυτή την περίπτωση είναι ελεγχόμενη. Κατά την πλεύση, με την κίνηση της γάστρας στο θαλασσινό νερό, προκαλείται αυτολειάνση στην επιφάνεια του αντιρρυπαντικού συστήματος και έκλυση ενός στρώματος της επίστρωσης πολύ μικρού πάχους. Το αποτέλεσμα είναι μια ομαλά επικαλυμμένη επιφάνεια γάστρας καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του αντιρρυπαντικού συστήματος, με την επιφάνεια της αντιρρυπαντικής επίστρωσης να είναι περισσότερο ομαλή από τις αντίστοιχες επιφάνειες που έχουν βαφτεί με CDP επίστρωση. Τα υφαλοχρώματα SPC εμφανίζουν σταθερή αντιρρυπαντική απόδοση μέχρι να αναλωθεί η συνολική μεμβράνη βαφής. Ο ρυθμός έκλυσης βιοκτόνου είναι σταθερός με την πάροδο του χρόνου και ελέγχεται από τον βαθμό πολυμερισμού και τον υδρόφιλο χαρακτήρα του



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

συμπολυμερούς. Η ανανέωση των υφαλοχρωμάτων SPC κατά τη διάρκεια του δεξαμενισμού είναι εύκολη, καθώς δεν χρειάζεται να αφαιρεθεί η αναλωμένη επίστρωση υφαλοχρώματος και δεν απαιτείται η εφαρμογή συνδετικής-απομονωτικής επίστρωσης (sealer) πριν από την επαναβαφή. Σε σύγκριση με τα CDP, τα SPC υφαλοχρώματα προσφέρουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής έως και πέντε χρόνια (Hellio & Yebra, 2009) η οποία είναι ανάλογη με το πάχος της αντιρρυπαντικής επίστρωσης. Πρόσφατα, ορισμένοι κατασκευαστές υφαλοχρωμάτων ισχυρίστηκαν ότι τα SPC νέας γενιάς τους προσφέρουν αντιρρυπαντική προστασία έως και 90 μήνες (C. Bressy, 2014). Από την άλλη μεριά, είναι τα ακριβότερα προϊόντα μεταξύ των βιοκτόνων αντιρρυπαντικών συστημάτων. Στο σχήμα 2.2 αποτυπώνεται χαρακτηριστικά ο μηχανισμός δράσης υφαλοχρωμάτων SPC.



Σχήμα 2.2: Μηχανισμός δράσης υφαλοχρωμάτων SPC.

(πηγή: https://www.ashrae.gr/EEinS2015/EEinS2015_Gougoulidis.pdf)

2.1.3 Υβριδικά ή αυτολειανόμενα (Self-Polishing) υφαλοχρώματα

Τα υβριδικά υφαλοχρώματα συνδυάζουν τις ιδιότητες των CDP και SPC αντιρρυπαντικών συστημάτων. Ο μηχανισμός απελευθέρωσης βιοκτόνων τους, είναι ένα μείγμα υδρόλυσης και ενυδάτωσης με ανάμειξη ακρυλικών πολυμερών SPC με μια συγκεκριμένη ποσότητα φυσικής ρητίνης. Τα υβριδικά αυτά χρώματα προσφέρουν αντιρρυπαντική απόδοση ενδιάμεση των αντίστοιχων υφαλοχρωμάτων CDP και SPC. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για πλοία που επιχειρούν μόνιμα σε τροπικά και ημιτροπικά νερά. Το



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

μέσο πάχος του στρώματος χρώματος που έχει εκλυθεί, βρίσκεται μεταξύ των αντιρρυπαντικών τεχνολογιών CDP και SPC. Έτσι, σε σύγκριση με τα CDP, τα υβριδικά υφαλοχρώματα προσφέρουν με την πάροδο του χρόνου, καλύτερη απόδοση, μικρότερη τραχύτητα επιφάνειας γάστρας και ευκολότερη ανανέωσή τους κατά τη διάρκεια του δεξαμενισμού. Η αποτελεσματική διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται από τρία έως πέντε χρόνια (C. Bressy, 2014).

Καθοριστικός παράγοντας για την απόδοση και τη διάρκεια ζωής των αντιρρυπαντικών χρωμάτων αυτολειαινόμενης τεχνολογίας είναι το χρονικό διάστημα συνεχόμενης παραμονής του πλοίου εν όρμω ή σε ακινησία (idle period). Για την αποδοτικότερη λειτουργία αυτού του τύπου υφαλοχρωμάτων είναι απαραίτητη η τακτική πλεύση των πλοίων. Συγκεκριμένα, το χρονικό διάστημα της μέγιστης συνεχούς εν όρμω παραμονής των πλοίων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις 20 ημέρες, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των εξωτερικών στοιβάδων του χρώματος, οι οποίες έχουν πλέον εξαντλήσει την δυνατότητα έκλυσης βιοκτόνων, η αποκάλυψη νέων ενεργών στοιβάδων και η λείανση της επιφάνειας. Με αυτόν τον τρόπο η γάστρα των πλοίων παραμένει καθαρή από βιολογική ρύπανση και ταυτόχρονα λεία και ομαλή, μειώνοντας έτσι την αντίσταση ροής, έχοντας ως τελικό αποτέλεσμα την ελάττωση της κατανάλωσης καυσίμων. Στην περίπτωση που η συνεχής εν όρμω παραμονή υπερβαίνει τις 20 ημέρες, αναπτύσσεται αρχικά μαλακή και στη συνέχεια σκληρή ρύπανση επί της γάστρας, η οποία δεν απομακρύνεται με την ροή του θαλασσιού ύδατος, αντίθετα παραμένει προσκολλημένη και εμποδίζει την λειτουργία του μηχανισμού της υδρόλυσης και της έκλυσης βιοκτόνων, οδηγώντας στην αναστολή της αντιρρυπαντικής ικανότητας.

2.2. Σύγχρονα μη βιοκτόνα υφαλοχρώματα

Τα μη βιοκτόνα αντιρρυπαντικά συστήματα θεωρούνται μη τοξικά από την άποψη ότι δεν περιέχουν βιοκτόνες ουσίες για τον έλεγχο της ρύπανσης αλλά βασίζονται στη σύσταση και τις ιδιότητες τους, οι οποίες εμποδίζουν την προσκόληση και ανάπτυξη της θαλάσσιας ρύπανσης στα ύφαλα ενός πλοίου. Τα υφαλοχρώματα αυτά ταξινομούνται στις ακόλουθες δύο βασικές κατηγορίες.



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

2.2.1 Υφαλοχρώματα απελευθέρωσης της ρύπανσης (Fouling Release)

Η ικανότητα των αντιρρυπαντικών συστημάτων (FR) βασίζεται στη χαμηλή τριβή και το υψηλό επίπεδο ομαλότητας της επιφάνειας που παρέχουν σε μοριακό επίπεδο, η οποία αποτρέπει την πρόσφυση και ανάπτυξη ρύπανσης (D. M. Yebra, 2003). Η χαμηλή επιφανειακή τους ενέργεια υποβαθμίζει την ικανότητα ενός οργανισμού να δημιουργήσει ένα ισχυρό δεσμό με την επιφάνεια. Λόγω της μειωμένης δυνατότητας επικόλλησης, οποιαδήποτε συσσωρευμένη βιορύπανση θα αποκολληθεί υπό το βάρος της ή θα απομακρυνθεί από τη γάστρα λόγω της ανάπτυξης τάσεων εφελκυσμού και διάτμησης οι οποίες επενεργούν πάνω στους οργανισμούς αυτούς κατά την κίνηση του σκάφους στο νερό (K.A. Dafforn, 2011). Οι κύριοι τύποι FR υφαλοχρωμάτων που υπάρχουν σήμερα διαθέσιμοι στην αγορά είναι η σιλικόνη (silicone), το φθοροπολυμερές (fluoropolymer), η υβριδική (hybrid) και η υδρογέλη σιλικόνη (hydrogel silicone). Η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται συνήθως πέντε έως δέκα χρόνια (C. Bressy, 2014). Σύμφωνα με δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια, σε πλοία που μόλις είχε εφαρμοσθεί αυτός ο τύπος των υφαλοχρωμάτων κατά το δεξαμενισμό τους, στο αμέσως επόμενο διάστημα παρουσιάζουν καλύτερη υδροδυναμική απόδοση σε σύγκριση με την εφαρμογή υφαλοχρωμάτων άλλης τεχνολογίας (Munk T., 2009). Ωστόσο, ακόμα εξετάζεται εάν αυτό το αρχικό κέρδος που προκύπτει από τη μείωση της τριβής αντίστασης διατηρείται καθόλη τη διάρκεια ζωής της αντιρρυπαντικής επίστρωσης. Ανεξάρτητα από αυτό, οι κατασκευαστές των FR υφαλοχρωμάτων ισχυρίζονται ότι αυτή η τεχνολογία προσφέρει την καλύτερη δυνατή αντιρρυπαντική προστασία και την υψηλότερη εξοικονόμηση καυσίμου. Επιπλέον, αν και τα υφαλοχρώματα FR είναι τα ακριβότερα που διατίθενται στην αγορά, παρέχουν υψηλότερη απόδοση επένδυσης με βάση την αναλογία κόστους και διάρκειας ζωής (C. Bressy, 2014). Σε μελέτη της εταιρείας παραγωγής χρωμάτων Hempel (Bertram, 2020) αναφέρεται ότι σε ένα μεγάλο δεξαμενόπλοιο που εφαρμόστηκαν τέτοιες μη τοξικές επικαλύψεις σε θαλάσσιες δοκιμές επιτεύχθηκε μέγιστη εξοικονόμηση καυσίμου 8%, ενώ η μέση εξοικονόμηση καυσίμου σε μια πενταετία, μεταξύ των ελλιμενισμών, ανήλθε σε ποσοστό εξοικονόμησης καυσίμου 4%. Από την άλλη μεριά όμως για να επιτευχθεί αποκόλληση της βιορύπανσης από τη γάστρα στην οποία έχουν εφαρμοσθεί FR υφαλοχρώματα απαιτείται μια συγκεκριμένη ταχύτητα πλοίου. Διαφορετικά, οι υδροδυναμικές δυνάμεις που θα ασκηθούν θα αποδειχθούν ανεπαρκείς για την πλήρη απομάκρυνση των ρυπογόνων οργανισμών. Η αποκόλληση της βιορύπανσης



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

πραγματοποιείται σε ταχύτητες σκάφους μεγαλύτερες από 8-10 κόμβους (C. Bressy, 2014), ανάλογα βέβαια και με τον τύπο της ρύπανσης. Έτσι, η συντριπτική πλειονότητα των αντιρρυπαντικών συστημάτων FR παρουσιάζει χαμηλή αποτελεσματικότητα σε πλοία που πλέουν με χαμηλές ταχύτητες ή που παραμένουν επιχειρησιακά αδρανή για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Hellio & Yebra, 2009). Επομένως ένα θέμα που πρόκύπτει είναι η τάση των ναυτιλιακών εταιρειών να προσφύγουν στην τακτική του slow steaming, δηλαδή της πλεύσης των πλοίων με χαμηλή ταχύτητα με σκοπό να εναρμονιστούν με τις απαιτήσεις του IMO σχετικά με τη μείωση των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων στη Ναυτιλία (IMO, 2020). Ένα ακόμα πρόβλημα προκαλείται από το σχηματισμό στοιβάδας λάσπης στα ύφαλα των πλοίων στα οποία έχει εφαρμοστεί FR αντιρρυπαντική επίστρωση. Η παρουσία της προκαλεί κι αυτή αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπεμπόμενων καυσαερίων στην ατμόσφαιρα, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει τον κίνδυνο μετατόπισης χωροκατακτητικών υδρόβιων ειδών. Για έναν αντιτορπιλικό κλάσης Arleigh Burke (DDG-51) του USN, η ελαφριά και η βαριά λάσπη μπορούν να αλλάξουν τη συνολική αντίσταση κατά 9% και 17%, αντίστοιχα, σε σύγκριση με μια καθαρή γάστρα (M. P. Schultz, 2011). Η αφαίρεση της λάσπης απαιτεί πολύ υψηλές ταχύτητες του πλοίου, ενώ έχει διαπιστωθεί δυσκολία στην αποκόλληση της λάσπης ακόμη και σε ταχύτητες που υπερβαίνουν τους 30 κόμβους. Στο παρελθόν, μια μεγάλη ναυτιλιακή εταιρεία σταμάτησε την εφαρμογή σιλικονούχων υφαλοχρωμάτων στα πλοία της «λόγω της ανάπτυξης στρώματος λάσπης και της μείωσης της απόδοσης» (Moller, 2007). Για το λόγο αυτό, η ανάπτυξη υφαλοχρωμάτων FR με βελτιωμένη αντοχή στην ανάπτυξη λάσπης είναι το επίκεντρο της ακαδημαϊκής και βιομηχανικής έρευνας (C. Bressy, 2014)). Επίσης τα FR υφαλοχρώματα εμφανίζουν χαμηλή μηχανική αντοχή και η ρύπανση αρχίζει γρήγορα να αναπτύσσεται μετά από κάποια φθορά της επίστρωσης (π.χ. γδάρσιμο). Ακόμα κι αν η αντιρρυπαντική επίστρωση αποφύγει την επιφανειακή ζημιά, το φιλμ σιλικόνης φθείρεται με την πάροδο του χρόνου, καθιστώντας το λιγότερο αποτελεσματικό. Γι' αυτό το λόγο απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά τον υποβρύχιο καθαρισμό τους (D. M. Yebra, 2003) (C. Bressy, 2014), ενώ έχουν αναπτυχθεί νέες μέθοδοι καθαρισμού, λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω ιδιαιτερότητες. Επιπλέον, η εφαρμογή αυτών των υφαλοχρωμάτων κατά το δεξαμενισμό είναι περισσότερο απαιτητική από την εφαρμογή άλλων αντιρρυπαντικών συστημάτων (απαιτείται ειδικός εξοπλισμός βαφής, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί σχετικά με την εφαρμογή σε χαμηλές θερμοκρασίες κ.τ.λ.). Στην εικόνα 2.1 βλέπουμε την εφαρμογή υφαλοχρωμάτων



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

τεχνολογίας FRC και CDP στη γάστρα περιπολικού πλοίου, εκτοπίσματος 430 tons και μέγιστης ταχύτητας 33,5 knots, καθώς και την ανταπόκριση των αντιρρυπαντικών επιστρώσεων σε βάθος χρόνου.



Εικόνα 2.1: Υφαλοχρώματα FRC και CDP στην ίδια γάστρα περιπολικού πλοίου.

(πηγή: https://www.ashrae.gr/EEinS2015/EEinS2015_Gougoulidis.pdf)

2.2.2 Σκληρά αδρανή αντιρρυπαντικά συστήματα (Hard Inert Coatings)

Τα σκληρά αδρανή υφαλοχρώματα προσφέρονται στην αγορά ως υψηλής απόδοσης, ανθεκτικά στην τριβή και με υψηλή αντιδιαβρωτική προστασία υφαλοχρώματα. Το δυνητικό τους προτέρημα έγκειται κυρίως στην υψηλή μηχανική τους αντοχή. Οι κύριες υποκατηγορίες των σκληρών αδρανών επιστρώσεων είναι τα εποξικά χρώματα, τα εποξειδικά ή πολυεστερικά ενισχυμένα με νιφάδες γυαλιού, οι ρητίνες βινυλεστέρα ενισχυμένες με ίνες γυαλιού (STC) και τα κεραμικά-εποξικά χρώματα (HYDREX, 2011). Επί του παρόντος, η υποκατηγορία που φαίνεται να είναι περισσότερο διαδεδομένη στη



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

ναυτιλία είναι τα STC υφαλοχρώματα. Μεταξύ των πλεονεκτημάτων που προβάλλουν οι εταιρείες που τα παράγουν είναι ο μεγάλος βαθμός επαναφοράς του αντιρρυπαντικού συστήματος στην πρότερη κατάσταση μετά από κάθε υποβρύχιο καθαρισμό, γεγονός που τα καθιστά «λιγότερο επιρρεπή σε πιθανή αστοχία» καθώς και η σημαντικά μεγάλη διάρκεια ζωής τους (HYDREX, 2011).



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

3. Προετοιμασία επιφανειών πριν την τοποθέτηση του υφαλοχρώματος

Ένα πλήρες πακέτο υφαλοχρωματισμού, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστικό οίκο αυτού, περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία κατά σειρά εφαρμογής: α) Αστάρι (primer). Ο αριθμός των στρώσεων και τα πάχος του ξηρού υμένα (DFT) είναι συγκεκριμένο για κάθε πακέτο υφαλοχρωμάτων αναλόγως της εταιρείας κατασκευής. β) Αντιδιαβρωτική επίστρωση (anticorrosive coating), όπου έχουμε εφαρμογή δύο ή περισσότερων στρώσεων. Τα αντιδιαβρωτικά χρώματα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, κατ'ελάχιστον 15 έτη (ISO12944-1, 2017) και υψηλό βαθμό ανθεκτικότητας. γ) Συνδετική ή απομονωτική επίστρωση (sealer or tie coat), όπου έχουμε εφαρμογή μίας στρώσης. Το sealer εφαρμόζεται επί του αντιδιαβρωτικού χρώματος και ακολούθως πάνω του γίνεται εφαρμογή της αντιρρυπαντικής επίστρωσης. Για κάθε κατασκευάστρια εταιρεία είναι συγκεκριμένη η ποσότητα που θα χρησιμοποιηθεί προκειμένου να έχουμε τη βέλτιστη πρόσφυση του αντιρρυπαντικού χρώματος. δ) Αντιρρυπαντική επίστρωση (antifouling coating), με ελάχιστη εφαρμογή δύο στρώσεων αντιρρυπαντικού χρώματος. Τα αντιρρυπαντικά χρώματα είναι αυτά τα οποία, ως τελευταία στρώση, έρχονται σε άμεση επαφή με το θαλάσσιο περιβάλλον και ως εκ τούτου επιτελούν τον πλέον κρίσιμο ρόλο για την διατήρηση της λειτουργικότητας του συστήματος χρωματισμού. Ο υφαλοχρωματισμός ενός πλοίου εκτελείται κατά τον δεξαμενισμό του. Εκεί μπορούμε να έχουμε ολικό αναχρωματισμό μετά την παρέλευση συνήθως 15 ετών ή τοπική εφαρμογή αντιδιαβρωτικού χρώματος για αποκατάσταση φθορών και ανανέωση της αντιρρυπαντικής επίστρωσης σε τακτικότερα χρονικά διαστήματα (περιοδική συντήρηση).

Οι διαδικασίες προετοιμασίας επιφανειών επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση και τη διάρκεια ζωής των συστημάτων επίστρωσης. Η προετοιμασία της επιφάνειας είναι ένα σημαντικό μέρος οποιασδήποτε στρατηγικής προστασίας του χάλυβα από τη διάβρωση. Μια επιφάνεια που προετοιμάζεται για βαφή ή επίστρωση συνήθως δηλώνεται ως «υπόστρωμα». Ένας ορισμός για το υπόστρωμα είναι: «Η επιφάνεια στην οποία εφαρμόζεται ή πρόκειται να εφαρμοστεί το υλικό επίστρωσης.» (ISO12944-1, 2017). Ένα υπόστρωμα είναι μια προετοιμασμένη ή επεξεργασμένη επιφάνεια. Η εφαρμογή των υφαλοχρωμάτων επιτρέπεται μόνο σε καθαρή και στεγνή επιφάνεια με θερμοκρασία πάνω από το σημείο δρόσου έτσι ώστε να αποφευχθεί η συμπύκνωση υγρασίας. Σύμφωνα με το



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

πρότυπο ISO (ISO8502-4, 2017), η θερμοκρασία περιβάλλοντος όπως και η θερμοκρασία του υποστρώματος πρέπει να είναι από 10 έως 60 °C. Για τη σκλήρυνση επίσης απαιτείται σχετική υγρασία από 10% έως 85%. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια υφαλοχρωματισμού ενός πλοίου, τις περισσότερες φορές παρίσταται ο τεχνικός χρωμάτων της αντίστοιχης εταιρείας, ο οποίος ελέγχει την τήρηση των ανωτέρω περιβαλλοντικών ορίων και την ορθή εφαρμογή τους επί της γάστρας. Αυτό λειτουργεί ως ασφαλιστική δικλείδα σε περίπτωση αστοχίας του αντιρρυπαντικού πακέτου. Σημαντική παράμετρος κατά την εφαρμογή μιας αντιρρυπαντικής επίστρωσης είναι ο άνεμος και η απώλεια χρώματος που προκαλεί κατά τη βαφή. Όταν απαιτηθεί να γίνει συντήρηση ή ανανέωση της αντιρρυπαντικής προστασίας εκτελείται υδροβολή στα ύφαλα (ρίψη νερού υπό πίεση και κατάλληλη γωνία) ώστε να αφαιρεθεί η ρύπανση και τυχόν στρώσεις χρώματος που έχουν εξαντλήσει την αντιρρυπαντική τους ικανότητα. Σε αυτή την περίπτωση δεν χρησιμοποιούνται μηχανικά μέσα για την αφαίρεση της αντιρρυπαντικής επίστρωσης προκειμένου να μην προκληθεί φθορά στα προηγούμενα χρωματικά υποστρώματα. Ανάλογα με το είδος της επιφάνειας θα πρέπει εκτελείται και η κατάλληλη προετοιμασία επιφάνειας πριν τη βαφή. Στο χάλυβα και στα κράματα χάλυβα για να αφαιρεθεί το σύνολο των χρωμάτων χρησιμοποιείται αμμοβολή Sa 2 ½ (ISO8501-1, 2007). Στο αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου χρησιμοποιείται επιλεκτικός καθαρισμός με διαλύτη και ψηγματοβολή «sweep blast». Σε επιφάνειες από πλαστικό ενισχυμένο με ίνες χρησιμοποιείται ψηγματοβολή «sweep blast» για αφαίρεση της επιφανειακής γυαλάδας (gloss). Εξίσου σημαντική με την προετοιμασία της επιφάνειας είναι και η καθαρότητα της πριν την εφαρμογή του συστήματος χρωματισμού. Κάθε παράγοντας “μόλυνσης” της επιφάνειας μπορεί να οδηγήσει σε κακή εφαρμογή και αστοχία των χρωμάτων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Στον πίνακα 3.1 αναγράφονται τα κριτήρια μόλυνσης και τα ελάχιστα επιτρεπτά επίπεδα της, πριν την εφαρμογή των υφαλοχρωμάτων.



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

Κριτήρια	Ελάχιστο Επίπεδο	Πρότυπο
Υγρασία (πιθανότητα συμπύκνωσης)	Θερμοκρασία επιφάνειας \geq [Σημείο Δρόσου + 3°C] Σχετική Υγρασία \leq 85%	ISO 8502-4 (*)
Σκόνη	Μέγεθος : \leq 2 (Πίνακας 1, ISO 8502-3) Ένταση : $<$ 2 (Σχήμα 1, ISO 8502-3)	ISO 8502-3 (*) ¹
Γράσα και Έλαια	Καμία οπτική ένδειξη	SSPC SP-1
Διαλυτά Άλατα	\leq 5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (ισοδύναμου χλωριούχου)	ISO 8502-6/9 (*)

Πίνακας 3.1: Κριτήρια μόλυνσης και τα ελάχιστα επιτρεπτά επίπεδα της.

(Πηγή: (ISO8502-4, 2017), (ISO8503-2, 2012))

Το εύρος της τραχύτητας μιας μεταλλικής επιφάνειας προς βαφή μετά την εκτέλεση γενικής αμμοβολής (Sa 2 ½) προβλέπεται στις οδηγίες εφαρμογής και τις τεχνικές προδιαγραφές του εκάστοτε συστήματος υφαλοχρωματισμού. Στην περίπτωση που δεν έχει προβλεφθεί από τον κατασκευαστή των χρωμάτων η κατηγορία και το εύρος τραχύτητας της επιφάνειας προς βαφή μετά την εκτέλεση αμμοβολής Sa 2 ½, η συνήθης κατηγορία που επιλέγεται είναι η μεσαία (Medium Grit) σύμφωνα με το αντίστοιχο πρότυπο ποιότητας (ISO8503-2, 2012). Στη medium grit κατηγορία η επιφάνεια του ελάσματος μετά την εκτέλεση αμμοβολής έχει αποκτήσει τραχύτητα 50 – 70 μικρά.

¹ Οι παραπάνω προδιαγραφές είναι τυποποιημένες για χαλύβδινες επιφάνειες αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σημείο αναφοράς και για άλλους τύπους επιφανειών.



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

4. Η επίδραση των υφαλοχρωμάτων στο περιβάλλον

Τα αντιρρυπαντικά βιοκτόνα υφαλοχρώματα μπορούν να προκαλέσουν δευτερογενή επίπτωση στο θαλάσσιο περιβάλλον. Επιπλέον, πρόσφατες μελέτες υποδεικνύουν ότι ορισμένα χωροκατακτητικά υδρόβια είδη έχουν γίνει ανεκτικά στα βιοκτόνα του χαλκού και των ενισχυτικών βιοκτόνων (K.A. Dafforn, 2011) και μπορεί να εγκατασταθούν και να επιβιώσουν στη γάστρα των πλοίων. Ο πιθανός κίνδυνος των σύγχρονων βιοκτόνων υφαλοχρωμάτων για το θαλάσσιο περιβάλλον έχει εγείρει ανησυχίες στη διεθνή κοινότητα. Πολλοί ερευνητές, ιδρύματα και οργανισμοί εξετάζουν εξονυχιστικά τις επιπτώσεις των τοξικών υφαλοχρωμάτων και τα θέτουν πλέον υπό αμφισβήτηση όσον αφορά το μέλλον τους, ενώ ορισμένα κράτη απαγόρευσαν ήδη τη χρήση συγκεκριμένων βιοκτόνων (K.A. Dafforn, 2011). Ο οικολογικός αντίκτυπος από τη χρήση των FR υφαλοχρωμάτων διερευνάται επίσης συστηματικά προκειμένου να διαπιστωθεί εάν προκαλούν σοβαρό περιβαλλοντικό ζήτημα. Τα περισσότερα FR υφαλοχρώματα περιέχουν τοξικά πρόσθετα και απελευθερώνουν στο περιβάλλον ενώσεις όπως έλαια σιλικόνης (Nendza, 2007) (C. Bressy, 2014). Επιπλέον, η ανάπτυξη του στρώματος λάσπης στην επιφάνειά τους αυξάνει τον κίνδυνο μετατόπισης των χωροκατακτητικών υδρόβιων ειδών όπως προαναφέρθηκε. Περιβαλλοντική επιβάρυνση προκαλείται και από τη διαδικασία ανανέωσης ή αντικατάστασης της αντιρρυπαντικής επίστρωσης κατά το δεξαμενισμό ενός πλοίου. Οι επιστρώσεις των χρωμάτων που αφαιρούνται καθώς και ένα μέρος της άμμου που χρησιμοποιείται μέσω της αμμοβολής για την αφαίρεση τους καταλήγουν στο θαλάσσιο περιβάλλον. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και κατά την απομάκρυνση της βιορύπανσης με υποβρύχιους καθαρισμούς, όπου τμήμα της αντιρρυπαντικής επίστρωσης καταλήγει στον πυθμένα της θάλασσας.

Πολλά μη τοξικά αντιρρυπαντικά συστήματα βρίσκονται υπό ανάπτυξη και δοκιμή ή σε αρχικό στάδιο εφαρμογής. Η τρέχουσα έρευνα για τις επικαλύψεις υφαλοχρωμάτων χωρίζεται σε δύο τομείς, οι οποίοι είναι η τροποποίηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων της αντιρρυπαντικής επίστρωσης επιφάνειας για την αποτροπή της μόνιμης προσκόλλησης των θαλάσσιων οργανισμών και η ενσωμάτωση συστατικών βιολογικής προέλευσης. Οι επικαλύψεις sol-gel, οι υπερυδρόφοβες (super hydrophobic) και οι υπερυδρόφιλες (super hydrophilic) επιφάνειες είναι μερικοί από τους μηχανισμούς υφαλοχρωμάτων που περιλαμβάνονται στην πρώτη ομάδα. Η δεύτερη ομάδα αναφέρεται σε βιομιμητικές στρατηγικές, συμπεριλαμβανομένων επικαλύψεων με μικροτοπογραφία επιφάνειας



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

βιοεμπνευσμένης (C. Bressy, 2014) και επικαλύψεων που βασίζονται σε φυσικά προϊόντα. Τέτοιες φυσικές ενώσεις είναι διάφορα ένζυμα, βακτηριακά προϊόντα, προϊόντα φυκιών και επίγεια φυσικά προϊόντα. Ο συνδυασμός τεχνολογιών είναι επίσης εφικτός όπως ο συνδυασμός τεχνολογίας sol-gel με βιολογικά αντιρρυπαντικά συστατικά ή ο συνδυασμός ακρυλικού σιλυλίου χαλκού (copper acrylic silyl) και προηγμένης υδρογέλης (hydrogel) σε ένα προϊόν. Μια άλλη οικολογική εναλλακτική πρόταση σε σχέση με τα συμβατικά αντιρρυπαντικά συστήματα είναι η χρήση επικαλύψεων με ίνες οι οποίες κατασκευάζονται με τη διαδικασία της επιφανειακής συσσώρευσης (Kelling & Mayorga, 2020). Η πρόοδος στην ανάπτυξη υφαλοχρωμάτων με βάση φυσικά βιοκτόνα είναι αργή. Μερικές από τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι ερευνητές σχετικά με την ενσωμάτωση φυσικών αντιρρυπαντικών συστατικών στα υφαλοχρώματα είναι η επαρκής διάρκεια ζωής καθώς και η επιτυχής ενσωμάτωσή τους σε ένα αντιρρυπαντικό σύστημα. Επιπλέον, πρόκληση για τη βιομηχανία που παράγει υφαλοχρώματα επικαλύψεων είναι η προμήθεια ή η παραγωγή φυσικών αντιρρυπαντικών συστατικών σε επαρκείς ποσότητες και με λογικό κόστος. Ανεξάρτητα από τα παραπάνω, οι εναλλακτικές λύσεις νέου τύπου υφαλοχρωμάτων αντί των βιοκτόνων και των υφαλοχρωμάτων FR έχουν ως πρόκληση να ανταγωνιστούν υψηλής απόδοσης προϊόντα, να παραχθούν και να διατεθούν στην αγορά σε ένα συμφέρον για τις εταιρείες κόστος, ενώ η αποτελεσματικότητά τους πρέπει να αποδειχθεί με την πάροδο του χρόνου.



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

5. Αποφάσεις IMO και της Ε.Ε. για την χρήση των υφαλοχρωμάτων

Όταν άρχισαν τα βιοκτόνα υφαλοχρώματα να αναπτύσσονται και να εφαρμόζονται εκτεταμένα στα πλοία από τη δεκαετία του 1960, οι κύριες βιοκτόνες ουσίες που εμπεριείχαν ήταν οι οργανοκασσιτερικές ενώσεις (TBT). Αυτές οι χημικές ουσίες είχαν στόχο να προλαμβάνουν την ανάπτυξη οστρακοειδών, φυκιών και άλλων οργανισμών που προκαλούσαν ρύπανση στα ύφαλα των πλοίων. Μετά από σειρά μελετών και παρατηρήσεων οι χημικές αυτές ενώσεις αποδείχθηκαν ιδιαίτερα τοξικές για τη θαλάσσια ζωή (προνύμφες, στρείδια, μαλάκια, ψάρια κτλ). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τόσο ο Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (IMO) σε πρώτη φάση, όσο και η Ευρωπαϊκή Ένωση στη συνέχεια να προχωρήσουν στη θέσπιση κανονισμών για την απαγόρευση των επιβλαβών οργανοκασσιτερικών ενώσεων (TBT).

5.1 Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (IMO)

Ο IMO έχει θέσει σε ισχύ από το Σεπτέμβριο του 2008 τη Σύμβαση για τα προστατευτικά συστήματα υφαλοχρωματισμού των πλοίων (International Convention on Anti-fouling Systems - AFS) (IMO, International Convention on the Control of Harmful Anti-Fouling Systems, AFS.3/Circ.3, 2001). Η εν λόγω σύμβαση ορίζει τα «αντιρρυπαντικά συστήματα» ως «κάθε επίχρισμα, χρώμα, κατεργασία επιφάνειας, επιφάνεια ή συσκευή που χρησιμοποιείται σε ένα πλοίο για να ελέγχει ή να αποτρέπει επικόλληση ανεπιθύμητων οργανισμών». Κύριος σκοπός της Σύμβασης είναι η απαγόρευση χρήσης των επιβλαβών οργανοκασσιτερικών ενώσεων (TBT) στα υφαλοχρώματα καθώς και η δημιουργία ενός μηχανισμού πρόληψης πιθανής χρήσης στο μέλλον άλλων ουσιών που δύναται επιβερύνουν το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, στο Παράρτημα I της Σύμβασης ορίζεται ότι τα πλοία: (α) απαγορεύεται να φέρουν TBT στο σύστημα χρωματισμού τους στα ύφαλα ή στα έξαλα ή (β) θα φέρουν ένα επίχρισμα το οποίο θα εμποδίζει τα TBT ώστε να μην εκλύονται από το υποκείμενο στρώμα στη θάλασσα. Τα παραπάνω ισχύουν για όλα τα πλοία εκτός από τις σταθερές και πλωτές πλατφόρμες, πλωτές μονάδες αποθήκευσης-παραγωγής κλπ. Επίσης σύμφωνα με τη Σύμβαση, πλοία συνολικής χωρητικότητας άνω των 400 GRT (gross tonnage) που εκτελούν διεθνή ταξίδια απαιτείται να υποβάλλονται σε αρχική επιθεώρηση πριν το πλοίο τεθεί σε υπηρεσία ή πριν εκδοθεί για πρώτη φορά το Διεθνές Πιστοποιητικό



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

Αντιρρυπαντικών Συστημάτων (International Antifouling Systems Certificate). Από εκεί και μετά θα εκτελείται επιθεώρηση κάθε φορά που το πλοίο θα αντικαθιστά ή θα τροποποιεί το αντιρρυπαντικό του σύστημα. Πλοία που εκτελούν διεθνή ταξίδια και έχουν μήκος από 24 μέτρα και πάνω αλλά χωρητικότητας μικρότερης από 400 GRT θα πρέπει να κατέχουν δήλωση για τα αντιρρυπαντικά συστήματα υπογεγραμμένη από τον πλοιοκτήτη ή από κάποιον εξουσιοδοτημένο αντιπρόσωπο. Η δήλωση αυτή θα πρέπει να είναι κατάλληλα τεκμηριωμένη, όπως για παράδειγμα να συνοδεύεται από το τιμολόγιο προμήθειας των υφαλοχρωμάτων. Τα υφαλοχρώματα που έχουν απαγορευθεί ή αυτά που βρίσκονται υπό καθεστώς ελέγχου περιλαμβάνονται στο Παράρτημα I της Σύμβασης, το οποίο ενημερώνεται όταν είναι απαραίτητο με τυχόν νέες επιβλαβείς ουσίες. Σύμφωνα με τους όρους της Σύμβασης, τα κράτη-μέλη του IMO που την έχουν υπογράψει, υποχρεούνται να απαγορεύσουν τη χρήση επιβλαβών αντιρρυπαντικών συστημάτων σε πλοία που φέρουν τη σημαία τους, καθώς και σε πλοία που δεν φέρουν τη σημαία τους αλλά επιχειρούν σε λιμάνια ή ναυπηγεία της δικαιοδοσίας τους.

5.2 Η Ευρωπαϊκή Ένωση

Η Ε.Ε. με σκοπό την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος και των οργανισμών από τις επιπτώσεις των οργανοκασσιτερικών ενώσεων (TBT) θέσπισε μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 14ης Απριλίου 2003, τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 782/2003 για την απαγόρευση των TBT στα αντιρρυπαντικά συστήματα των πλοίων. Ο παραπάνω κανονισμός ενσωματώνει τους κανόνες της σύμβασης για τα προστατευτικά συστήματα υφαλοχρωματισμού των πλοίων (AFS) του IMO στην Ευρωπαϊκή νομοθεσία. Στόχος του κανονισμού είναι η απαγόρευση των TBT σε όλα τα πλοία που καταπλέουν σε λιμάνια της ΕΕ ώστε να μειωθούν ή να εξαιρεθούν οι επιβλαβείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των υφαλοχρωμάτων και εφαρμόζεται στις ακόλουθες περιπτώσεις: α) σε πλοία τα οποία φέρουν σημαία χώρας-μέλους της ΕΕ, β) σε πλοία τα οποία δεν φέρουν σημαία χώρας της ΕΕ, αλλά ασκούν τη δραστηριότητά τους υπό την αιγίδα χώρας της ΕΕ και γ) σε πλοία τα οποία καταπλέουν σε λιμένα χώρας της ΕΕ, αλλά δεν καλύπτονται από τα δύο προηγούμενα σημεία. Ο παραπάνω κανονισμός δεν ισχύει για τα πολεμικά πλοία, βοηθητικά σκάφη ή άλλα πλοία κρατικής ιδιοκτησίας είτε ανήκουν στην ΕΕ είτε όχι, και χρησιμοποιούνται για κυβερνητικούς σκοπούς. Ο κανονισμός επίσης προβλέπει σύστημα επιθεώρησης και πιστοποίησης για τα πλοία που φέρουν σημαία χώρας



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

της ΕΕ και απαιτεί τα εξής: α) πλοία ολικής χωρητικότητας ίσης ή ανώτερης των 400 GRT να επιθεωρούνται και να πιστοποιούνται ανεξαρτήτως δρομολογίου, β) πλοία μήκους 24 μέτρων και πάνω, αλλά ολικής χωρητικότητας μικρότερης των 400 GRT να φέρουν μόνο δήλωση συμμόρφωσης με τον ευρωπαϊκό κανονισμό ή με τη σύμβαση AFS (IMO 2008)². Σύμφωνα με τον (ΕΚ) αριθ. 782/2003 για πλοία με μήκος μικρότερο των 24 μέτρων δεν προβλέπεται επιθεώρηση ή πιστοποίηση (π.χ. αλιευτικά σκάφη και σκάφη αναψυχής). Επιπρόσθετα ο κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 536/2008 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, τροποποίησε τον αρχικό κανονισμό και επιβάλλει επιπλέον τους ακόλουθους περιορισμούς για τα πλοία τα οποία φέρουν σημαία χώρας εκτός ΕΕ ως εξής: α) τα πλοία που φέρουν σημαία χώρας η οποία είναι συμβαλλόμενο μέρος στη σύμβαση AFS οφείλουν να διαθέτουν το διεθνές πιστοποιητικό προστατευτικού συστήματος υφαλοχρωματισμού, β) τα πλοία που φέρουν σημαία χώρας η οποία δεν είναι συμβαλλόμενο μέρος στη σύμβαση AFS οφείλουν να φέρουν δήλωση συμμόρφωσης η οποία να έχει εκδοθεί από το κράτος σημαίας στο οποίο είναι νηολογημένα σύμφωνα με την επιτροπή προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος του IMO και τη σύμβαση AFS.

² Διεθνής σύμβαση για τον έλεγχο επιβλαβών αντιρρυπαντικών υφαλοχρωμάτων πλοίων.



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

6. Υποβρύχιος καθαρισμός υφάλων πλοίων

Η εκτέλεση υποβρύχιου καθαρισμού στα ύφαλα ενός σκάφους προσφέρει την δυνατότητα απομάκρυνσης της συσσωρευμένης βιορύπανσης, χωρίς την απαίτηση δεξαμενισμού, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το χρονικό διάστημα που ένα πλοίο θα παραμείνει εκτός υπηρεσίας. Η εφαρμογή του υποβρύχιου καθαρισμού στοχεύει κατά βάση τη μαλακή και κατά περιπτώσεις τη σκληρή ρύπανση των υφάλων. Ο υποβρύχιος καθαρισμός εκτελείται απο εξειδικευμένο καταδυτικό συνεργείο με τον κατάλληλο εξοπλισμό και περιλαμβάνει απομάκρυνση της ρύπανσης από τα ύφαλα του πλοίου, τις έλικες, τα πηδάλια, κεντρικές αναρροφήσεις θαλάσσης, σίτες αναρροφήσεων κτλ. Αποτελεί μια εύκολη και οικονομική λύση καθώς μπορεί να εκτελεστεί κατά την παραμονή ενός πλοίου στο λιμένα απασχόλησης σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το μειονέκτημα του υποβρύχιου καθαρισμού έγκειται στις φθορές που μπορούν να προκληθούν στα υφαλοχρώματα από μη ορθή εκτέλεση της διαδικασίας. Οι φθορές αυτές μπορούν να οδηγήσουν σε αντιστρόφως ανάλογα αποτελέσματα όπως αστοχία της αντιρρυπαντικής επίστρωσης ή ακόμα και απαρχή διάβρωσης των υφάλων ενός πλοίου. Συνήθως τα περισσότερα πλοία εκτελούν εργασίες ανανέωσης υφαλοχρωματισμού κάθε τρία με πέντε χρόνια. Στο Πολεμικό Ναυτικό των Η.Π.Α., οι υποβρύχιες εργασίες καθαρισμού ελικών εκτελούνται έξι φορές το χρόνο ενώ ο καθαρισμός των υφάλων εκτελείται ανά τετράμηνο.

6.1 Συσκευές και μέθοδοι υποβρύχιου καθαρισμού

Αρχικά οι εργασίες υποβρύχιου καθαρισμού εκτελούνταν από τους δύτες με χειροκίνητο τρίψιμο ή σκούπισμα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιούταν ευρέως για τον καθαρισμό των υφάλων κυρίως στα σκάφη αναψυχής. Με την τεχνολογική πρόοδο έχουν κατασκευασθεί καινούρια εργαλεία καθαρισμού με σκοπό να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα των εργασιών καθαρισμού και να μειώσουν σημαντικά την ένταση αλλά και το χρονικό διάστημα εκτέλεσης της εργασίας. Οι μέθοδοι και τα εργαλεία καθαρισμού μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: α) χειροκίνητος καθαρισμός γάστρας, β) συσκευές καθαρισμού με περιστροφική βούρτσα και γ) τεχνολογία καθαρισμού χωρίς επαφή.



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

6.1.1 Χειροκίνητος καθαρισμός γάστρας

Ο χειροκίνητος καθαρισμός των υφάλων εκτελείται συνήθως σε μικρά πλοία, π.χ., σκάφη αναψυχής και αλιευτικά. Ανάλογα με το είδος και τα χαρακτηριστικά της βιορύπανσης (π.χ. λάσπη, βιοφίλμ, θαλάσσιο γρασίδι κτλ) χρησιμοποιούνται κατάλληλα εργαλεία χειρός (ξύστρες, βούρτσες, σκούπες) για την απομάκρυνση της. Μια κατάλληλη βούρτσα καθαρισμού πρέπει να επιλεγεί ανάλογα με το υλικό κατασκευής της γάστρας. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται νάιλον ή μη μεταλλικές βούρτσες σε πλοία κατασκευασμένα από πολυεστέρα ή ξύλο, αλουμίνιο και χάλυβα, ενώ μεταλλικές βούρτσες χρησιμοποιούνται σε πλοία κατασκευασμένα από αλουμίνιο ή χάλυβα. Ένας επαγγελματίας δύτες με τη χρήση των παραπάνω εργαλείων δεν μπορεί να απομακρύνει τους θαλάσσιους μικροοργανισμούς που έχουν επικολληθεί σε ποσοστό μεγαλύτερο από 60%. Στην εικόνα 6.1 βλέπουμε τέτοιου είδους εργαλεία.



Εικόνα 6.1: Εργαλεία χειροκίνητου καθαρισμού.

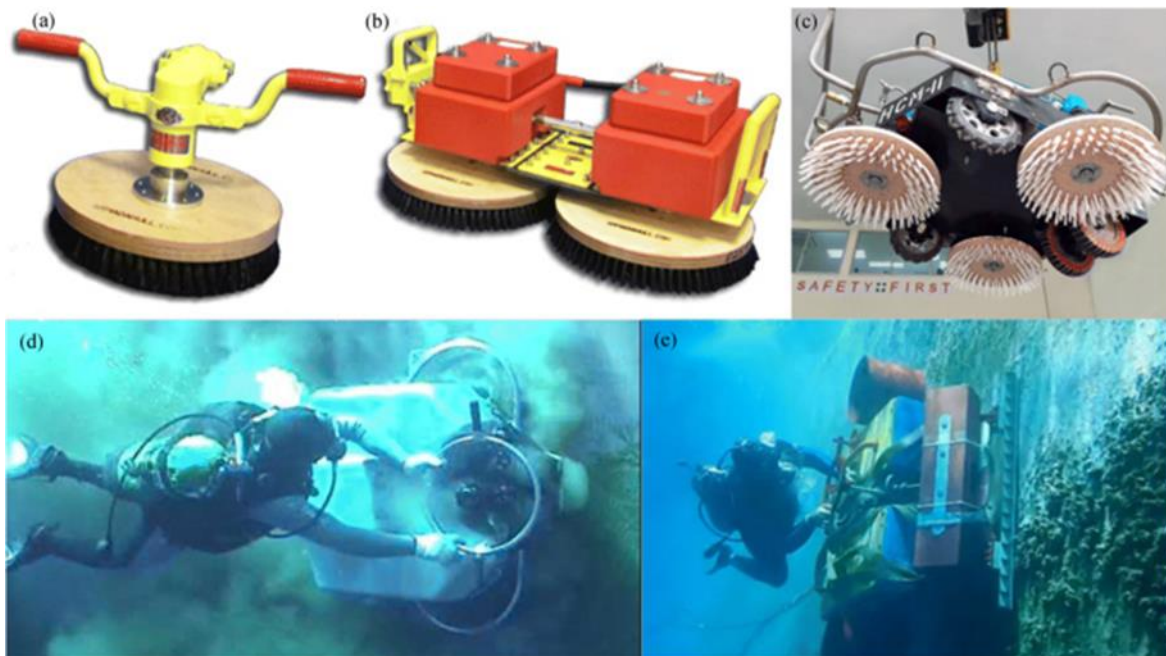
(πηγή: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11804-020-00157-z>)



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

6.1.2 Συσσκευές καθαρισμού περιστροφικής βούρτσας

Οι μέθοδοι και τα μέσα του υποβρύχιου καθαρισμού έχουν εξελιχθεί σταδιακά. Από τη χειροκίνητη μέθοδο έχουμε περάσει στην ανάπτυξη και χρήση κατάλληλων υδραυλικών εργαλείων που φέρουν στην κεφαλή τους μία, δύο ή τρεις περιστροφικές βούρτσες και είναι κατάλληλα για τον καθαρισμό των υφάλων μεγάλων σκαφών. Ο δύτες μπορεί να προσαρμόσει την κατεύθυνση καθαρισμού της συσκευής και την ταχύτητα περιστροφής της βούρτσας ανάλογα με την περιοχή καθαρισμού της γάστρας. Το μειονέκτημα του καθαρισμού με βούρτσες, είναι ότι απελευθερώνει περισσότερα βιοκτόνα, οδηγώντας σε πρόωρη εξάντληση της αντιρρυπαντικής επίστρωσης. Στην εικόνα 6.2 φαίνονται αυτές οι συσκευές καθώς και οι δύτες που εκτελούν τον υποβρύχιο καθαρισμό.



Εικόνα 6.2: Συσσκευές υποβρύχιου καθαρισμού με βούρτσες.

(πηγή: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11804-020-00157-z>)

6.1.3 Τεχνολογία καθαρισμού χωρίς επαφή

Οι παραπάνω μέθοδοι ενέχουν τον κίνδυνο της πρόκλησης φθορών στο σύστημα του υφαλοχρωματισμού λόγω της επαφής των συσκευών με την επιφάνεια των υφάλων. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες για τον καθαρισμό των υφάλων ενός πλοίου χωρίς επαφή. Στη μέθοδο αυτή έχουμε συσκευές καθαρισμού χωρίς επαφή, όπως συσκευές εκτόξευσης νερού υψηλής πίεσης (High-pressure Water Cleaning Jets), συσκευές εκτόξευσης νερού σπηλαίωσης (Cavitating Water Cleaning Jets) και συσκευών καθαρισμού



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

με υπερήχους (Ultrasonic Cleaning Technology). Στην περίπτωση των High-pressure Water Cleaning Jets, υπάρχουν συσκευές (π.χ. HullWiper) που εκτοξεύουν νερό με πίεση 50 έως 450 bar και έχουν τη δυνατότητα καθαρισμού επιφάνειας 1.500 m² /h. Μια άλλη συσκευή (Magnetic Hull Crawler) χρησιμοποιεί ακροφύσια υψηλής πίεσης έως 1.000 bar, τα οποία έχουν διαφορετικά στόμια και γωνίες ρίψης, με αποτελεσματικότητα καθαρισμού 100–200 m²/h (Cui, 2020).

Η τεχνολογία εκτόξευσης νερού σπηλαίωσης (Cavitating Water Cleaning Jets) είναι μια βελτιωμένη έκδοση της τεχνολογίας καθαρισμού με νερό υψηλής πίεσης, καθώς χρησιμοποιεί ειδικά σχεδιασμένα ακροφύσια, τα οποία μετατρέπουν το νερό υψηλής πίεσης σε νερό σπηλαίωσης (Cui, 2020). Τα εξειδικευμένα ακροφύσια της συσκευής εισάγουν τη σπηλαίωση στο καθαρό νερό υψηλής πίεσης, δηλαδή δημιουργούν φυσαλίδες στο εκτοξευόμενο νερό. Οι φυσαλίδες σπάνε καθώς πλησιάζουν τη γάστρα, με αποτέλεσμα πολύ υψηλές τοπικές πιέσεις, που έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ένταση καθαρισμού. Αυτού του είδους οι συσκευές (cavi-jet pistols) χρησιμοποιούνται κυρίως για την αφαίρεση σκληρότερης ρύπανσης από τα ύφαλα του πλοίου. Έχουν τη δυνατότητα καθαρισμού έως 250 m² ανά ώρα με πίεση λειτουργίας 250 – 350 bar ενώ υπάρχουν και ρομποτικά τηλεχειριζόμενες συσκευές. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τον καθαρισμό δυσπρόσιτων επιφανειών της γάστρας λόγω του μικρότερου τους μεγέθους.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η τεχνολογία καθαρισμού με υπερήχους (Ultrasonic Cleaning Technology) έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές καθαρισμού. Η μέθοδος βασίζεται στην ταυτόχρονη παραγωγή υπέρηχων παλμών ενέργειας σε ένα εύρος συχνοτήτων. Αυτή η ενέργεια παράγει ένα εναλλασσόμενο μοτίβο θετικών και αρνητικών πιέσεων. Αυτή η εναλλαγή πιέσεων έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μικροσκοπικών φυσαλίδων κατά τη δημιουργία υποπίεσης (στα 10 bar) , ενώ με τη δημιουργία θετικής πίεσης (πάνω από 100 bar) αυτές οι φυσαλίδες διαρρηγνύονται. Η ενέργεια που παράγεται από τη σχάση των φυσαλίδων έχει ως αποτέλεσμα τον καθαρισμό της γάστρας και την εξάλειψη των υδρόβιων οργανισμών. Τέτοιες συσκευές έχουν αρχίσει και χρησιμοποιούνται κυρίως στα μικρότερα σκάφη.

Η τεχνολογία καθαρισμού με λέιζερ (Laser Cleaning Technology) και η εφαρμογής της έχουν σημειώσει μεγάλη πρόοδο τα τελευταία 30 χρόνια. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται η laser ακτινοβολία για να γίνει σάρωση της γάστρας και υποτύπωση της ρύπανσης. Αυτή η τεχνολογία έχει ως πλεονεκτήματα την ταχύτερη ικανότητα καθαρισμού



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

επιφανειών, της ακρίβειας και του καλύτερου ελέγχου των εργαλείων καθαρισμού (περιστροφικής βούρτσας και προφυσίων υψηλής πίεσης νερού). Η εν λόγω τεχνολογία έχει ήδη προσαρμοστεί σε υποβρύχιες ρομποτικές συσκευές, πλην όμως οι λεπτομέρειες σχεδιασμού των laser καθαρισμού δεν έχουν ακόμα δημοσιοποιηθεί από τις κατασκευάστριες εταιρείες.

Οι περισσότερες από τις προαναφερθείσες μέθοδοι καθαρισμού υφάλων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χειροκίνητες συσκευές, ημιαυτόματες συσκευές και σε αυτόνομες ρομποτικές συσκευές καθαρισμού. Στην πλειοψηφία τους έως τώρα οι περισσότερες εργασίες εκτελούνται από κατάλληλα καταδυτικά συνεργεία. Υπάρχουν όμως μειονεκτήματα όπως η υψηλής έντασης εργασία, η χαμηλή απόδοση, οι χρονικοί περιορισμοί κατά την παραμονή του δύτη στο θαλάσσιο περιβάλλον και η πιθανότητα τραυματισμού του. Ως εκ τούτου, η χρήση συσκευών ρομπότ για τον υποβρύχιο καθαρισμό της γάστρας με σκοπό την αντικατάσταση των δυτών, εμφανίζεται ως η καλύτερη δυνατή λύση. Οι ρομποτικές συσκευές πρέπει να διατρέχουν τα ύφαλα του πλοίου χωρίς να τα καταστρέφουν ενώ οι μεγαλύτερες προκλήσεις για τη λειτουργία τους αποτελούν η ίδια η επιφάνεια του πλοίου καθώς και η επίδραση των θαλάσσιων ρευμάτων, του κύματος και του ανέμου επί των συσκευών αυτών.

6.2 Κατηγορίες αυτόνομων τηλεχειριζόμενων συσκευών υποβρύχιου καθαρισμού

Οι αυτόνομες τηλεχειριζόμενες συσκευές υποβρύχιου καθαρισμού ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες:

α) Συσκευές μόνιμης μαγνητικής προσκόλλησης: Έχουν εγκατεστημένους μόνιμους μαγνήτες με σκοπό τη δημιουργία μαγνητικής έλξης μεταξύ της συσκευής και της μεταλλικής επιφάνειας της γάστρας. Το πλεονέκτημα αυτών των συσκευών έγκειται στο γεγονός ότι λόγω της ύπαρξης μόνιμων μαγνητών δεν απαιτείται εξωτερική τροφοδοσία για την πρόσφυση τους στο σκάφος. Από την άλλη μεριά όμως σε περιοχές της γάστρας όπου η συσκευή συναντά μεγαλύτερες στρώσεις ρύπανσης η μαγνητική έλξη μειώνεται. Τα πρόσφατα ρομποτικά συστήματα που έχουν τεθεί σε χρήση όπως το ARMUS δεύτερης γενιάς (εικόνα 6.3) έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορούν να παραμένουν μέσα σε θαλάσσιο περιβάλλον για απεριόριστο χρονικό διάστημα και να καθαρίζουν τόσο τα ύφαλα του σκάφους όσο και δεξαμενές έρματος εσωτερικά του πλοίου.



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*



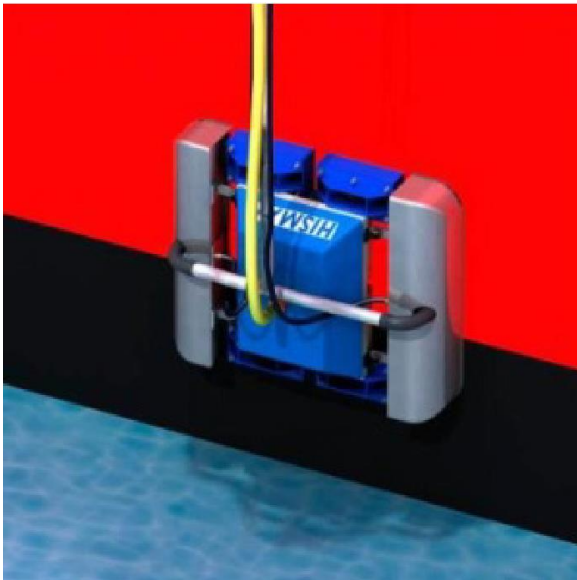
Εικόνα 6.3: Συσκευή υποβρύχιου καθαρισμού ARMUS δεύτερης γενιάς.

(πηγή: <http://high-tech-ims.com/2017/03/31/the-successful-testing-of-the-underwater-robot-armus/>)

β) Συσκευές ηλεκτρομαγνητικής πρόσφυσης. Σε αυτές τις συσκευές χρησιμοποιούνται ηλεκτρομαγνήτες με αποτέλεσμα να εξασκείται πάντα η απαιτούμενη μαγνητική δύναμη. Η ηλεκτρική τροφοδότηση των μαγνητών μπορεί να ελεγχθεί και κατ'επέκταση η μαγνητική έλξη μεταξύ συσκευής και σκάφους με αποτέλεσμα την αύξηση της ικανότητας ελιγμών του ρομπότ. Το μειονέκτημα τους είναι η κατανάλωση ενέργειας λόγω της συνεχόμενης απαίτησης για παροχή τροφοδοσίας. Για παράδειγμα η συσκευή Hismar, που φαίνεται στην εικόνα 6.3, είναι ένα πολυλειτουργικό σύστημα ρομπότ που χρησιμοποιείται για την επιθεώρηση και τον καθαρισμό των υφάλων των πλοίων. Χρησιμοποιεί ένα νέο σύστημα πλοήγησης οπτικής απεικόνισης ενώ διαθέτει και μαγνητικούς αισθητήρες. Με κατάλληλη εισαγωγή στη συσκευή των δομικών χαρακτηριστικών της γάστρας ενός πλοίου έχει τη δυνατότητα χαρτογράφησης της. Το μειονέκτημα και των δύο παραπάνω συσκευών είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε σιδηρομαγνητικές επιφάνειες.



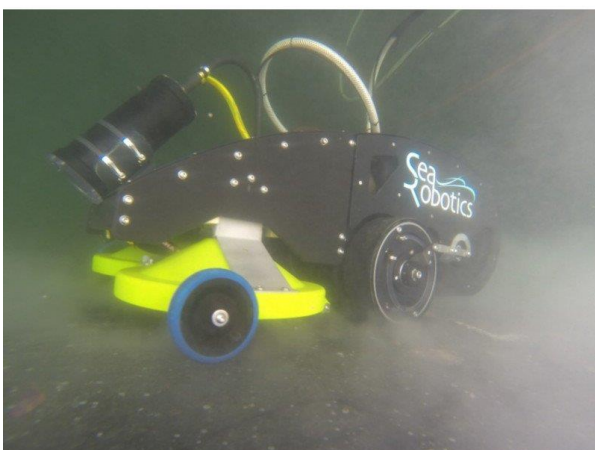
Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.



Εικόνα 6.4: Τηλεχειριζόμενη συσκευή καθαρισμού υφάλων Hismar.

(πηγή: <https://www.semanticscholar.org/paper/Hismar-Underwater-Hull-Inspection-And-Cleaning-As-A-Narewski/>)

γ) Συσκευές πρόσφυσης υποπίεσης. Αυτές οι συσκευές αξιοποιούν τη θεωρία κινηματικής των ρευστών και δημιουργώντας υποπίεση με τη χρήση θαλάμων κενού επιτυγχάνουν την πρόσφυση της υποβρύχιας συσκευής στα ύφαλα του πλοίου. Μία συσκευή που κυκλοφορεί ευρέως στο εμπόριο είναι η HullBUG (εικόνα 6.5).



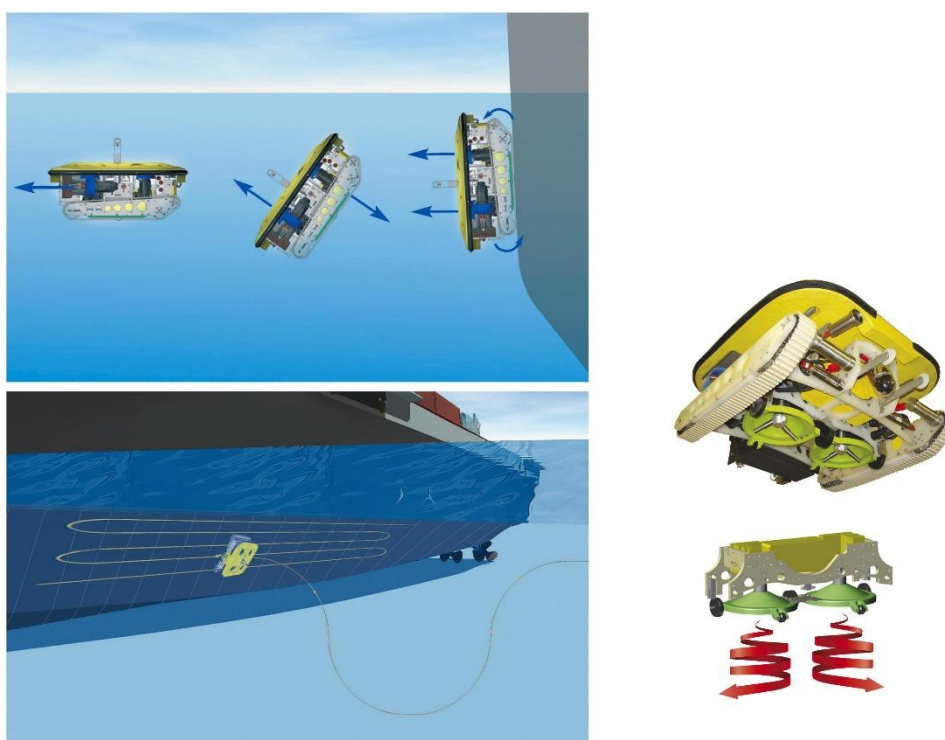
Εικόνα 6.5: Υποβρύχια συσκευή καθαρισμού HullBUG.

(πηγή: <https://geo-matching.com/rovs-remotely-operated-underwater-vehicles/hullbug>)



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

δ) Συσκευές πρόσφυσης με δύναμη ώθησης. Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούν κατάλληλους υδροπροωθητες για να επιτύχουν την πρόσφυση τους στο σκάφος και το πλεονέκτημα τους έναντι των παραπάνω συσκευών πρόσφυσης υποπίεσης είναι δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα απώλειας ή μείωσης της απαιτούμενης πίεσης. Τέτοιες συσκευές είναι το Therobot, ROVIN-BAT (εικόνα 6.6) κτλ. Βασικό πλεονέκτημα των παραπάνω δύο κατηγοριών συσκευών υποβρύχιου καθαρισμού αποτελεί το γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιφάνειες οι οποίες είναι κατασκευασμένες από οποιοδήποτε υλικό.



Εικόνα 6.6: Υποβρύχια συσκευή καθαρισμού υφάλων ROVIN-BAT.

(πηγή: <https://www.ecagroup.com/en/solutions/rovingbat-hybrid-rov>)

ε) Συσκευές εκτέλεσης προληπτικού καθαρισμού. Ως προληπτικός καθαρισμός ορίζεται η προληπτική αφαίρεση βιορύπανσης ρύπων στο Στάδιο 1 και νωρίς στο Στάδιο 2 πριν φτάσει στο Στάδιο 3 συμφώνως της κλίμακας βαθμολόγησης ρύπανσης του Ναυτικού των ΗΠΑ (Ch.081, 2006). Επομένως, η ρύπανση αφαιρείται προτού επηρεάσει την απόδοση του σκάφους. Όταν η βιορύπανση αφαιρείται σε τόσο πρώιμο στάδιο, η δύναμη που πρέπει να ασκηθεί για την αφαίρεσή της είναι πολύ περιορισμένη, με αποτέλεσμα να μπορεί να αφαιρεθεί χωρίς την πρόκληση φθορών ή διάβρωσης της αντιρρυπαντικής

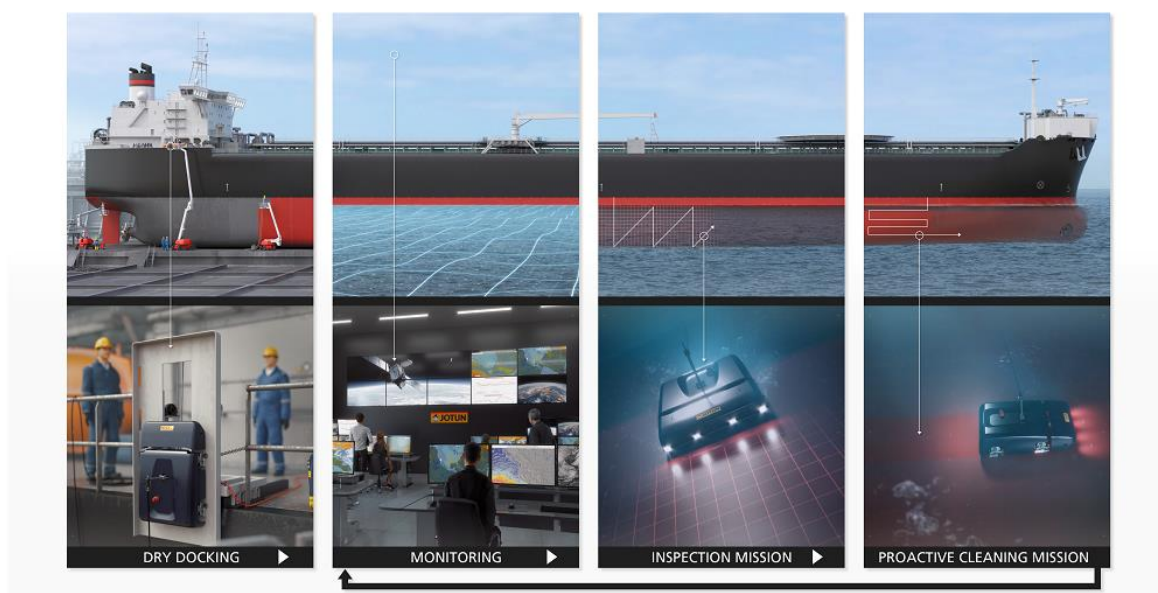


Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

επίστρωσης. Μία συσκευή προληπτικού καθαρισμού είναι το Hull skater είναι της εταιρείας Jotun (Ofstedahl, 2020). Η χρήση της συσκευής αυτής βασίζεται σε ένα εκτεταμένο υποστηρικτικό δίκτυο στο οποίο υφίσταται καταχωρημένο ένα μεγάλο εύρος δεδομένων ανά πλοίο. Συνεπώς με τους κατάλληλους αλγορίθμους μπορεί να γίνει η πρόβλεψη της πιθανότητας εμφάνισης βιορύπανσης. Η συσκευή αυτή βρίσκεται πάντα επί του σκάφους σε φορητό σταθμό και με μια κατάλληλη ράμπα καθαίρεσης και ανακρέμασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανά πάσα στιγμή όταν το πλοίο είναι στο λιμάνι ή αγκυροβολημένο. Κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης των υφάλων, εάν εντοπιστεί ελαφριά ρύπανση, ο χειριστής του Hull Skater μπορεί να ξεκινήσει τον προληπτικό καθαρισμό. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η εν λόγω συσκευή.

JOTUN HULL SKATING SOLUTIONS

HOW IT WORKS



Εικόνα 6.7: Συσκευή Hull Skater της εταιρείας Jotun.

(πηγή: <https://www.jotun.com/us/en/b2b/news/hull-skating-solutions/>)

Ο στόχος του υποβρύχιου καθαρισμού όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι η αφαίρεση των ορατών και μικροσκοπικών οργανισμών που επικάθονται στα ύφαλα ενός πλοίου. Ωστόσο, η αφαίρεση της βιορύπανσης δεν σημαίνει ταυτόχρονα και εξάλειψη αυτών των οργανισμών. Ένα σημαντικό ζήτημα του υποβρύχιου καθαρισμού είναι ότι ένα μέρος της βιορύπανσης που απομακρύνεται από τη γάστρα ενός πλοίου δεν έχει εξουδετερωθεί αλλά παραμένει ακόμα ενεργή. Επομένως ένα κρίσιμο βήμα αποτελεί η



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

περισυλλογή και η επεξεργασία αυτών των οργανισμών. Για περιβαλλοντικούς λόγους όπως είναι η αποφυγή απελευθέρωσης βιοκτόνου και υπολειμμάτων υφαλοχρωμάτων στο βυθό της θάλασσας, η αποφυγή διασποράς υδρόβιων οργανισμών στο υδάτινο περιβάλλον, αλλά και η επικάθηση τους στα ύφαλα έτερων πλοίων, αρκετές χώρες έχουν θεσπίσει νόμους ή κανονισμούς που απαγορεύουν τον υποβρύχιο καθαρισμό ξένων πλοίων στα λιμάνια ή στα χωρικά τους ύδατα. Το ενδεχόμενο να εγκατασταθούν στις συσκευές υποβρύχιο καθαρισμού κατάλληλες διατάξεις περισυλλογής και διήθησης της βιορύπανσης είναι εξαιρετικά περίπλοκο και δύσκολο για τη λειτουργία τους. Αυτό που εξετάζεται είναι η μελλοντική χρήση διατάξεων τοπικής θέρμανσης (τεχνολογία που εφαρμόζεται ήδη εντός δεξαμενών water ballast πλοίων) και η χρήση υπερϊώδους ακτινοβολίας σε κατάλληλα συστήματα αποστείρωσης που δεν χρησιμοποιούν χημικά βιοκτόνα και δύναται να εξουδετερώσουν τους θαλάσσιους μικροοργανισμούς. Η σύγχρονη τάση στους υποβρύχιους καθαρισμούς είναι η περαιτέρω τεχνολογική εξέλιξη των μη επανδρωμένων υποβρύχιων οχημάτων με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να αυξήσουν την αυτονομία και την ευελιξία τους και τελικό στόχο να αποτελέσουν μία συμφέρουσα οικονομοτεχνική πρόταση.

Ο καθαρισμός των υφάλων ισχύει για όλους τους τύπους και τις ηλικίες πλοίων. Ανάλογα με τον βαθμό και τον τύπο της ρύπανσης που πρέπει να αφαιρεθεί, ένας δύτες μπορεί συνήθως να καθαρίσει από 200 έως 400 m² την ώρα επίπεδων επιφανειών (λιγότερο στις περιοχές της πλώρης και της πρύμνης). Ο υποβρύχιος καθαρισμός δύναται να εκτελεστεί κατά τη διάρκεια προγραμματισμένων στάσεων του πλοίου (π.χ. ανεφοδιασμός, αγκυροβόλιο, κατά την αναμονή διέλευσης ενός καναλιού κτλ). Στο Πολεμικό Ναυτικό των ΗΠΑ στις περιπτώσεις που δεν είναι εφικτός ο καθαρισμός του συνόλου των υφάλων ενός πλοίου λόγω χρονικών ή οικονομικών περιορισμών, καθαρίζονται κατά σειρά προτεραιότητας τα ακόλουθα: α) προπέλες, β) πρωραίο 1/3 της γάστρας και γ) τα υπόλοιπα 2/3 της γάστρας (Ch.081, 2006). Η τιμή του καθαρισμού της γάστρας εξαρτάται πέραν από την επιφάνεια των υφάλων και από την επιλογή μεταξύ χρυσιμοποίησης δυτών ή ενός μη επανδρωμένου υποβρύχιο οχήματος που θα εκτελέσει τον καθαρισμό. Σε γενικές γραμμές το συνολικό κόστος κυμαίνεται από 4.500 € έως 45.000 €. Ανάλογα με το βαθμό της θαλάσσιας ρύπανσης, το μέγεθος του πλοίου, το επιχειρησιακό του προφίλ και τις περιοχές στις οποίες δραστηριοποιείται η μείωση στην κατανάλωση καυσίμου μετά τον υποβρύχιο καθαρισμό της γάστρας κυμαίνεται από 1% έως 5%. (Glomeer, 2022)



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

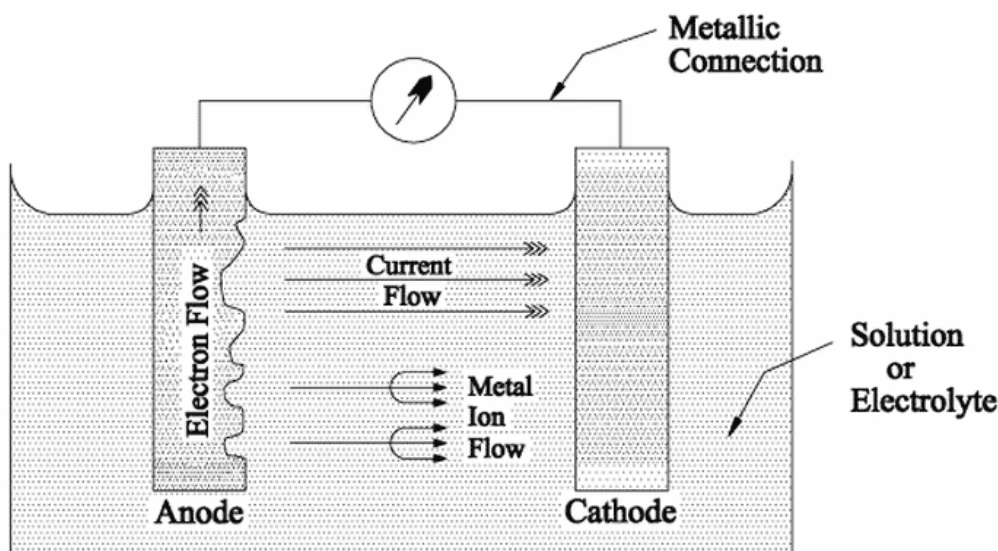
Η εφαρμογή ενός προγράμματος επιθεωρήσεων και περιοδικών υποβρύχιων καθαρισμών μπορεί να αυξήσει την διάρκεια ζωής του συστήματος υφαλοχρωματισμού, μειώνοντας έτσι το προκαλούμενο κόστος από τις ανανεώσεις του. Έχει διαπιστωθεί ακόμα, ότι η αφαίρεση της ρύπανσης μειώνει τον παραγόμενο υδροδυναμικό θόρυβο του πλοίου, που είναι επιχειρησιακό ζητούμενο για τα πλοία του Πολεμικού Ναυτικού. Επιπρόσθετα, έχει παρατηρηθεί ότι η συσσώρευση ρύπανσης στο θόλο ενός ηχοεντοπιστικού συστήματος (sonar) ελαττώνει σημαντικά την απόδοση της συσκευής.



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

7. Ύφαλα πλοίου και προστασία από τη διάβρωση

Η μεταλλική γάστρα των πλοίων πέρα από το πρόβλημα της ανάπτυξης θαλάσσιας βιορύπανσης στην επιφάνεια της έχει να αντιμετωπίσει και της επιπτώσεις από τη διάβρωση. Οι χαλύβδινες κατασκευές των πλοίων διαβρώνονται στο θαλάσσιο περιβάλλον και έχουν την τάση να διαβρώνονται τόσο γρήγορα που είναι απαραίτητο να προστατευτούν έναντι της διάβρωσης. Η διαβρωτική ικανότητα του θαλασσινού νερού σε σχέση με τη γενική διάβρωση στον χάλυβα αυξάνεται ανάλογικά με την αύξηση της θερμοκρασίας, της περιεκτικότητας σε οξυγόνο, της ταχύτητας του νερού, της περιεκτικότητας σε διαβρωτικούς ρύπους, των διαβρωτικών σωματιδίων και της αγωγιμότητας. Το αλάτι που εμπεριέχεται στο θαλασσινό νερό σχηματίζει έναν τέλειο ηλεκτρολύτη με το χαλύβδινο κύτος του πλοίου, δημιουργώντας στην ουσία ένα γαλβανικό στοιχείο. Όταν δύο ανόμοια μέταλλα έρχονται σε επαφή μεταξύ τους παρουσία ενός διαβρωτικού μέσου (ηλεκτρολύτη), το πιο ενεργό μέταλλο της γαλβανικής σειράς λειτουργεί ως άνοδος και υφίσταται διάβρωση. Αυτό σημαίνει ότι, σε μια γαλβανική σειρά μετάλλων, το πιο ενεργό μέταλλο δρα ως άνοδος και υφίσταται διάβρωση και το λιγότερο ενεργό μέταλλο ενεργεί ως κάθοδος και παραμένει προστατευμένο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1: Η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης.

(πηγη: <https://www.marineinsight.com/tech/hull-corrosion-and-impressed-current-cathodic-protection-iccp-on-ships-construction-and-working/>)



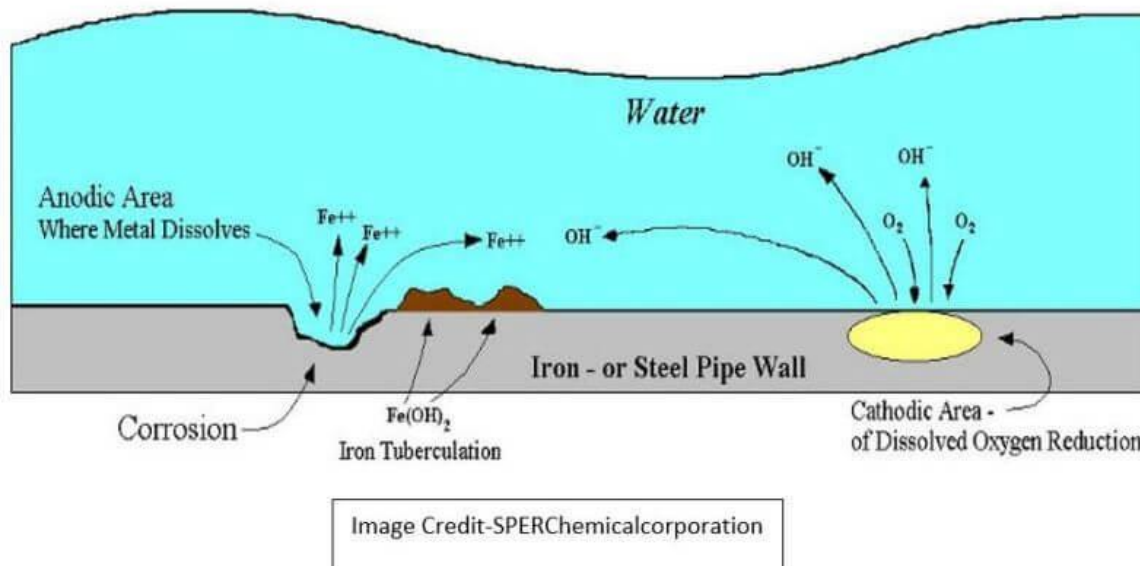
*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

Εάν αυτά τα δύο μέταλλα τοποθετηθούν σε θαλασσινό νερό και βρεθούν σε άμεση ηλεκτρική επαφή, ένα ρεύμα θα περάσει μέσω του ηλεκτρολύτη από το πιο ενεργό μέταλλο (άνοδος) στο λιγότερο ενεργό μέταλλο (κάθοδος). Αυτό το ηλεκτρικό ρεύμα αναφέρεται ως ρεύμα διάβρωσης και δεν είναι παρά μια διαδικασία μεταφοράς μεταλλικών ιόντων και ηλεκτρονίων από την άνοδο, η οποία διαλύεται και περνά στο διάλυμα. Το περιβάλλον στο οποίο λαμβάνει χώρα η παραπάνω διεργασία ονομάζεται γαλβανική κυψέλη. Ο σίδηρος, από τον οποίο είναι κατασκευασμένα τα περισσότερα πλοία, είναι ένα ηλεκτροχημικά θετικό στοιχείο και έχει την τάση τα ηλεκτρόνια του να γίνονται ελεύθερα ιόντα. Η χημική αντίδραση είναι η εξής: $2\text{Fe} \rightarrow 2\text{Fe}^{++} + 4\text{e}^-$. Από την άλλη μεριά το θαλασσινό νερό αποτελείται από οξυγόνο και υδρογόνο και παράγει ηλεκτροχημικά αρνητικά ιόντα υδροξυλίου: $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 4(\text{OH})^-$, τα οποία μπορούν να δεχθούν τα ηλεκτρόνια που δίνει ο σίδηρος. Στη συνέχεια τα ιόντα σιδήρου ενώνονται με τα ιόντα υδροξυλίου στο θαλασσινό νερό για να σχηματίσουν υδροξείδιο του σιδήρου με την εξής αντίδραση: $2\text{Fe}^{++} + 2(\text{OH})^- \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_2$. Η χημική αυτή διεργασία ονομάζεται οξείδωση του σιδήρου. Το υδροξείδιο του σιδήρου παρουσία της περίσσειας οξυγόνου στο νερό σχηματίζει αυτό που ονομάζουμε σκουριά: $2\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$. Η ανομοιομορφία της γάστρας, του πάχους της, του πάχους στρώσεων και της ποιότητας των υφαλοχρωμάτων, οι διακυμάνσεις που δημιουργούνται από τις συγκολλητικές ραφές, τα ανόμοια μέταλλα και η περιεκτικότητα οξυγόνου στο θαλασσινό νερό συνδυάζονται ώστε να σχηματίσουν σε περιοχές των των υφάλων που θα δουλέψουν ως άνοδοι και κάθοδοι, δημιουργώντας γαλβανική κυψέλη, προχωρώντας στη διαδικασία της οξείδωσης όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.2.



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

The Corrosion Cell:



Σχήμα 7.2: Γαλβανική κυψέλη.

(πηγή:<https://www.marineinsight.com/tech/hull-corrosion-and-impressed-current-cathodic-protection-iccp-on-ships-construction-and-working/>)

Το κύριο μέσο αντιμετώπισης της διάβρωσης είναι η βαφή των χαλύβδινων επιφανειών με κατάλληλα αντιδιαβρωτικά υφαλοχρώματα, όπως προαναφέραμε. Συμπληρωματικά όμως στα αντιδιαβρωτικά χρώματα μπορεί να δράσει η καθοδική προστασία, μια ηλεκτροχημική διεργασία που αποτελεί σημαντικό παράγοντα στον έλεγχο της διάβρωσης των μετάλλων. Ο πίνακας 7.1 δείχνει τη γαλβανική σειρά, η οποία ταξινομεί τα μέταλλα με βάση το πόσο εύκολα δίνουν ηλεκτρόνια για να γίνουν ελεύθερα ιόντα. Αυτό μετριέται με τον όρο «δυναμικό ηλεκτροδίων». Τα μέταλλα με αρνητικότερο δυναμικό ηλεκτροδίων είναι πιθανότερο να αφήσουν ελεύθερα ηλεκτρόνια και να διαβρωθούν. Στοιχεία όπως το αλουμίνιο, ο ψευδάργυρος και το μαγνήσιο είναι ψηλότερα στην κλίμακα από τον χάλυβα (δηλαδή πιο αρνητικά). Αυτό σημαίνει ότι απελευθερώνουν ευκολότερα ηλεκτρόνια και να μπορούν να διαβρωθούν περισσότερο σε σχέση με το χάλυβα. Επομένως εάν εισάγουμε μία ράβδο ψευδαργύρου και την τοποθετήσουμε στο χάλυβα, ο ψευδάργυρος θα διαβρωθεί νωρίτερα και θα τον προστατέψει. Αυτή ουσιαστικά είναι ολόκληρη η έννοια της καθοδικής προστασίας. Στην παραπάνω περίπτωση, το αντικείμενο που προστατεύεται (δηλαδή ο χάλυβας του πλοίου) ονομάζεται κάθοδος και αυτό που αναλώνεται (θυσιάζεται) για να



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

προστατεύει την κάθοδο ονομάζεται άνοδος. Οι άνοδοι είναι πιο αρνητικές ηλεκτροχημικά και προστατεύουν τον χάλυβα καθώς διαβρώνονται πρώτες. Ο χάλυβας μετατρέπεται σε «κάθοδο», και έτσι αυτή η μέθοδος προστασίας του χάλυβα από τη διάβρωση ονομάζεται «καθοδική Προστασία». Η καθοδική προστασία χωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Στην παθητική και στην ενεργητική.

Galvanic Series of Metals in Seawater

<u>Metals and Alloys</u>	<u>Corrosion Potential</u> (volts DC ref. Ag/AgCl)		
Magnesium and Magnesium Alloys	-1.60	to -1.63	anodic - active
Aluminum - Anode	-1.10		
Zinc	-0.98	to -1.03	
Aluminum Alloys	-0.76	to -1.00	
Mild Steel (clean & shiny)	-0.60	to -0.71	
Mild Steel (rusted)	-0.20	to -0.50	
Cast Iron (not graphitized)	-0.60	to -0.71	
Stainless steels	-0.46	to -0.58	
Stainless Steel, Type 316 (active in saltwater)	-0.43	to -0.54	
Aluminum Bronze (92% Cu, 8% Al)	-0.31	to -0.42	
Copper	-0.30	to -0.57	
Naval Brass (60% Cu, 39% Zn)	-0.30	to -0.40	
Yellow Brass (65% Cu, 35% Zn)	-0.30	to -0.40	
Red Brass (85% Cu, 15% Zn)	-0.30	to -0.40	
Muntz Metal (60% Cu, 40% Zn)	-0.30	to -0.40	
Admiralty Brass (71% Cu, 28% Zn, 1% Sn)	-0.28	to -0.36	
Aluminum Brass (76% Cu, 22% Zn, 2% Al)	-0.28	to -0.36	
Silicone Bronze (96% Cu max, 0.80% Fe, 1.5% Zn, 2.00% Si, 0.75% MN, 1.60% Sn)	-0.26	to -0.29	
90% Cu, 10% Ni	-0.21	to -0.28	
75% Cu, 20% Ni, 5% Zn	-0.19	to -0.25	
Lead	-0.19	to -0.25	
70% Cu, 30% Ni	-0.18	to -0.23	
Stainless steel, Type 304 (passive)	-0.05	to -0.10	
Stainless steel, Type 316 (passive)	-0.00	to -0.10	
Titanium	+0.06	to -0.05	
Platinum	+0.25	to +0.19	
Carbon, Graphite, Coke	+0.30	to +0.20	cathodic - noble

Metals such as Aluminium, Magnesium & Zinc are active in nature as compared to steel & have a lower reduction potential.

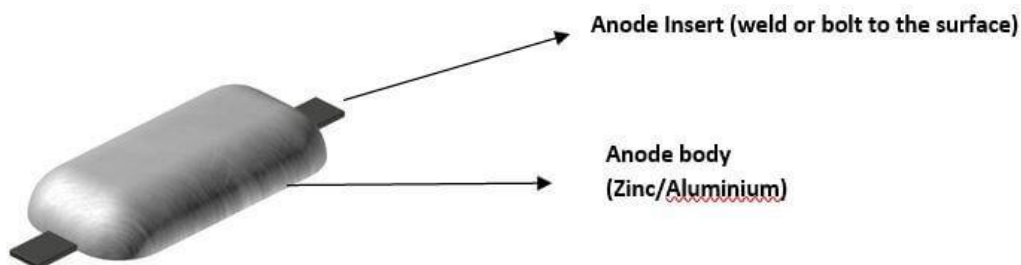
Πίνακας 7.1: Γαλβανική σειρά (πηγή: <https://www.marineinsight.com/tech/hull-corrosion-and-impressed-current-cathodic-protection-iccp-on-ships-construction-and-working/>)



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

7.1 Παθητική προστασία

Η παθητική προστασία βασίζεται στα θυσιαζόμενα ανόδια, τα οποία είναι κατασκευασμένα κυρίως από ψευδάργυρο, αλουμίνιο και μαγνήσιο. Ουσιαστικά αποτελείται από μεταλλικές πλάκες, τα ανόδια, κατασκευασμένες από τα παραπάνω μέταλλα οι οποίες τοποθετούνται στα σημεία της γάστρας που θέλουμε να προστατεύσουμε περισσότερο, ειδικότερα στα σημεία που έχουμε ανάπτυξη τυρβώδους ροής. Με την τοποθέτηση των ανοδίων στη γάστρα ή σε δεξαμενές θαλασσινού νερού (water ballast), τα πιο ενεργά μέταλλα όπως ο ψευδάργυρος ή το μαγνήσιο λειτουργούν ως άνοδοι δημιουργώντας γαλβανικό στοιχείο, ενώ η χαλύβδινη επιφάνεια λειτουργεί πλέον ως κάθοδος. Με βάση τα παραπάνω η κάθοδος προστατεύεται και η άνοδος σταδιακά διαλύεται (θυσιάζεται). Ωστόσο, αυτές οι θυσιαζόμενες άνοδοι έχουν ορισμένα μειονεκτήματα, όπως η απαίτηση αντικατάστασης κάθε πέντε χρόνια κατά το δεξαμενισμό ενός πλοίου, η αύξηση της επιφάνειας και κατ'επέκταση της αντίστασης της γάστρας και η μη ύπαρξη άλλου κατάλληλου μέσου (πλην του οπτικού ελέγχου από καταδυτικό συνεργείο) το οποίο να εξασφαλίζει την ορθή τους λειτουργία. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται πως είναι σχηματικά ένα ανόδιο (εικόνα 7.1) και πως αυτό είναι τοποθετημένο στη γάστρα ενός πλοίου (εικόνα 7.2).



Εικόνα 7.1: Ανόδιο παθητικής προστασίας.

(πηγή: <https://thenavalarch.com/ship-corrosion-cathodic-protection-sacrificial-anodes/>)



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.



Εικόνα 7.2.: Ανόδια ψευδαργύρου σε ύφαλα πλοίου. (πηγή: Προσωπικό αρχείο)

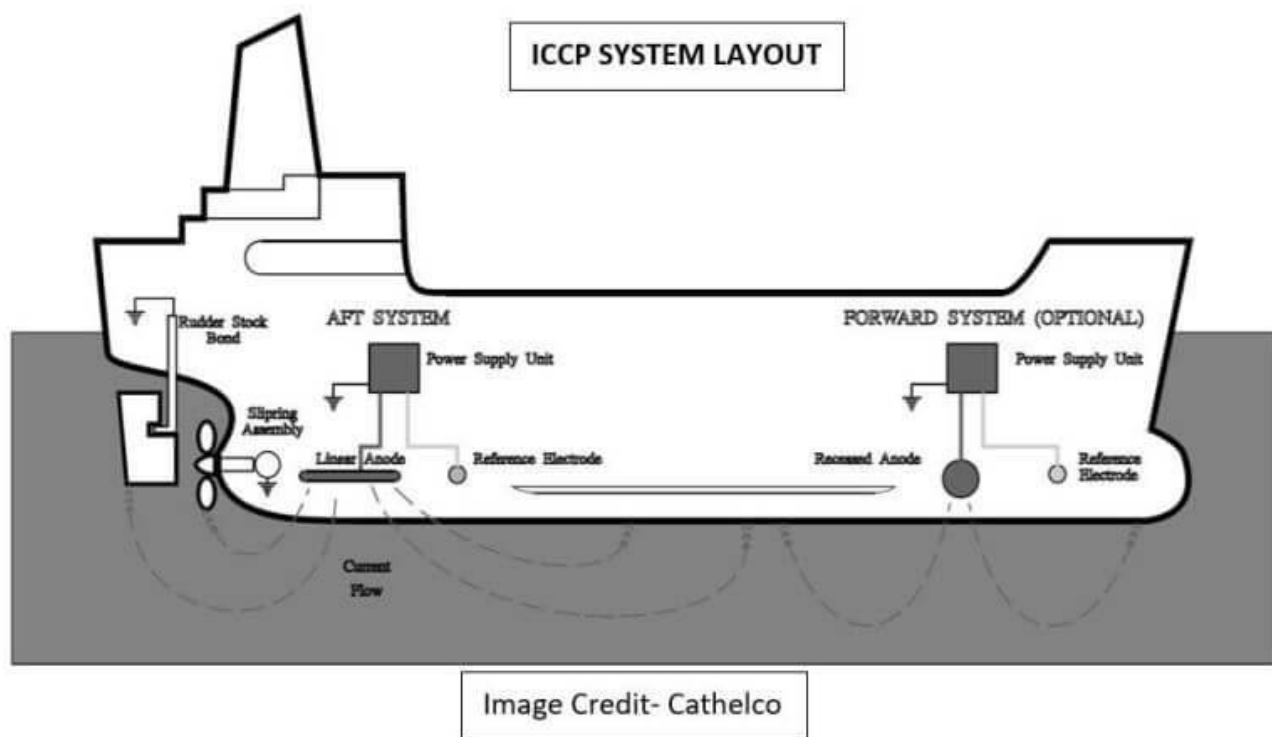
7.2 Ενεργητική προστασία

Η κύρια διαφορά μεταξύ ενεργητικής και παθητικής καθοδικής προστασίας είναι η παρουσία ηλεκτρικής τροφοδοσίας στην πρώτη περίπτωση. Η λειτουργία και των δύο αυτών συστημάτων βασίζεται στην ίδια βασική αρχή της διμεταλλικής / γαλβανικής διάβρωσης. Το ρεύμα φυσικής διάβρωσης έχει τάση 0,65V. Στην ενεργητική καθοδική προστασία ένα τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος (24V DC) αποτελεί την εξωτερική πηγή τροφοδοσίας. Το τροφοδοτικό παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα στα θυσιαζόμενα ανόδια λίγο μεγαλύτερης τάσης από το ρεύμα φυσικής διάβρωσης (τάξεως 0,8 έως 0,85V). Με αυτή τη μέθοδο η γάστρα του πλοίου μετατρέπεται σε κάθοδο και προστατεύεται από τη διάβρωση, ενώ αναλώνονται τα τροφοδοτούμενα ανόδια. Τα ανόδια αυτά είναι συνήθως κατασκευασμένα από ψευδάργυρο, αλουμίνιο ή χαλκό όπου στην περίπτωση του χαλκού κατά την ανάλωσή τους παρέχεται και ήπια αντιρρυπαντική προστασία στα σημεία της γάστρας που είναι τοποθετημένα. Σε ένα πλοίο στο οποίο έχει προσφάτως βαφτεί η γάστρα του, η απαιτούμενη ένταση ρεύματος του συστήματος ενεργητικής καθοδικής προστασίας πρέπει να είναι 1-20 mA / m² προστατευόμενου ελάσματος. Όταν τα υφαλοχρώματα έχουν



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

υποστεί φθορά η αντίστοιχη ένταση ρεύματος θα να είναι 100-300 mA / m² (Κολλινιάτης, 2020). Για αυτό το λόγο τα συστήματα καθοδικής προστασίας πέρα από τα αναλίσκόμενα ανόδια εμπεριέχουν και τα ηλεκτρόδια αναφοράς τα οποία είναι συνήθως τοποθετημένα στο ΠΡ και στο ΠΜ τμήμα της γάστρας. Μέσω της μέτρησης της τάσης σε αυτά τα ηλεκτρόδια καθορίζεται η τάση που πρέπει να δημιουργεί το εγκατεστημένο σύστημα καθοδικής προστασίας, όπου στη συνέχεια οι μονάδες ελέγχου προσαρμόζουν κατάλληλα την ηλεκτρική τροφοδοσία στα αναλίσκόμενα ανόδια όπως φαίνεται και στην εικόνα 7.3.



Εικόνα 7.3: Εγκατεστημένο σύστημα ενεργητικής καθοδικής προστασίας σε πλοίο.

(πηγή: <https://www.marineinsight.com/tech/hull-corrosion-and-impressed-current-cathodic-protection-iccp-on-ships-construction-and-working/>)

Τα συστήματα ενεργητικής καθοδικής προστασίας μπορούν να προστατεύσουν μεγαλύτερη επιφάνεια της γάστρας, παρέχουν μακροπρόθεσμη προστασία (αναλόγως και του είδους των ανοδίων που θα επιλέξει ο πλοιοκτήτης), ενώ η ύπαρξη εξωτερικής πηγής τροφοδοσίας καθιστά εφικτή τη δυνατότητα ελέγχου και παρακολούθησης του συστήματος και της απόδοσης του. Από την άλλη μεριά έχει υψηλότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης σε σχέση με την παθητική καθοδική προστασία, ενώ και σε αυτή την περίπτωση απαιτείται δεξαμενισμός πλοίου για τη αντικατάσταση των αναλίσκόμενων ανοδίων.



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

8. Εφαρμογή νέων αντιρρυπαντικών τεχνολογιών

Οι νέες τεχνολογίες FR αντιρρυπαντικών συστημάτων κατηγοριοποιούνται στις υπερυδροφικές οι οποίες στην ουσία είναι υδατοαπωθητικές αποτρέποντας την ανάπτυξη βιορύπανσης και στις υπερυδροφιλικές αντιρρυπαντικές επικαλύψεις (επιφάνειες δηλαδή που έλκουν το νερό) εμποδίζοντας επίσης την ανάπτυξη ρύπανσης. Τέτοιες υδροφιλικές επικαλύψεις «hydrogel» μοιάζουν επιφανειακά με το υλικό που είναι κατασκευασμένοι οι φακοί επαφής, με αποτέλεσμα οι υδρόβιοι μικροοργανισμοί να μπερδεύουν την επιφάνεια υδρογέλης με το νερό. Με άλλα λόγια, η επιφάνεια της γάστρας γίνεται αόρατη για αυτούς. Σε συνδυασμό με έναν μηχανισμό παγίδευσης βιοκτόνων στην επιφάνεια της γάστρας, αυτή η μέθοδος μπορεί να μειώσει την έκλυση βιοκτόνων κατά 10 έως 20% σε σχέση με τα συμβατικά υφαλοχρώματα, με σχεδόν σταθερή απόδοση μεταξύ των διαστημάτων ελλιμενισμού (Bertram, 2020). Το πιο γνωστό παράδειγμα αυτής της τεχνολογίας είναι το αντιρρυπαντικό χρώμα ActiGuard® της εταιρείας παρασκευής χρωμάτων Hempel.

Μία ακόμα πρόσφατη τεχνολογία υφαλοχρωμάτων είναι τα χρώματα νανοτεχνολογίας. Οι «νανοεπικαλύψεις» χρησιμοποιούν μικροσκοπικές επιφανειακές δομές βιολογικής έμπνευσης (π.χ. δέρμα καρχαρία, φαινόμενο λωτού κ.λπ.) για να κάνουν δύσκολη την πρόσφυση για τους υδρόβιους οργανισμούς. Αρκετά τέτοια προϊόντα κυκλοφορούν ήδη στην αγορά, όπως το Ultra Ever Dry (εικόνα 8.1), αλλά η έρευνα συνεχίζεται για το σχεδιασμό και παραγωγή νέων προϊόντων. Υπάρχουν διάφορες προσπάθειες για να παραχθούν κατάλληλα υφαλοχρώματα βασισμένα σε βιομιμητικά αποτελέσματα, δηλαδή επικαλύψεις που μιμούνται το δέρμα ενός καρχαρία (εικόνα 8.2), και υφαλοχρώματα των οποίων η επικάλυψη μοιάζει με το δέρμα του δελφινιού. Επίσης το eSHaRk είναι ένα καινοτόμο πρόγραμμα της Ε.Ε. το οποίο βασίζεται σε αυτοκόλλητες κυψελίδες εμπνευσμένες από τις μικροδομές δέρματος καρχαρία. Παρόμοια προγράμματα που βασίζονται στην ανάπτυξη αντιρρυπαντικών συστημάτων με μίμηση της δομής του δέρματος καρχαρία βρίσκονται σε εξέλιξη στην Ιαπωνία και τις ΗΠΑ.

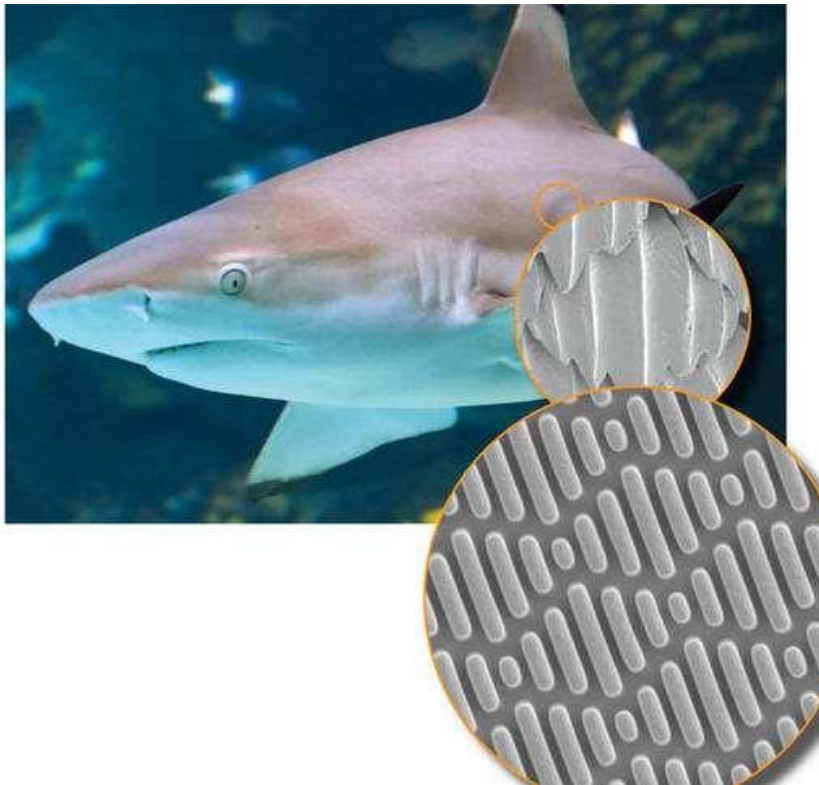


Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.



Εικόνα 8.1: Επιφάνεια υφαλοχρώματος нанοτεχνολογίας.

(πηγή: <https://blogthinkbig.com/ultra-ever-dry-superhydrophobic-nanotechnology-repels-kind-liquid>)



Εικόνα 8.2: Απεικόνιση βιομιμητικής εφαρμογής του δέρματος λευκού καρχαρία σε αντιρρυπαντική επίστρωση.

(πηγή: <https://www.trendhunter.com/trends/shark-skin-biomimicry>)



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

Το ινστιτούτο CML Fraunhofer στο Αμβούργο αναπτύσσει νέες επικαλύψεις που μιμούνται τις πλωτές φτέρες (Salvinia), οι οποίες παγιδεύουν ένα λεπτό φιλμ αέρα. Το ζητούμενο σε αυτή την τεχνολογία είναι η μείωση της αντίστασης του σκάφους μέσω της παθητικής λίπανσης αέρα. Η λίπανση με αέρα μπορεί να υποκαταστήσει τις αντιρρυπαντικές επικαλύψεις (S. Walheim, 2021). Αντίστοιχα, η ολλανδική εταιρεία Micanti προσφέρει ως σύστημα επίστρωσης, μεμβράνες με επιφάνειες από μικροΐνες (εικόνα 8.3). Οι μικροΐνες εμποδίζουν την επικάθηση της βιορύπανσης ακόμα και με μηδενική ταχύτητα πλοίου. Παρά την αύξηση της επιφάνειας των υφάλων λόγω των ινών, η εταιρεία ισχυρίζεται ότι δεν υπάρχει αύξηση στην αντίσταση τριβής του σκάφους, βάσει δοκιμών σε ναυπηγικά μοντέλα (Bertram, 2020).



Εικόνα 8.3: Τοποθέτηση αντιρρυπαντικής μεμβράνης σε γάστρα πλοίου.

(πηγή: <https://www.micanti.com/smooth/>)

Επιπρόσθετα ερευνώνται και εξετάζονται εναλλακτικές λύσεις για τη χρήση υφαλοχρωμάτων με βάση τα βιοκτόνα. Ιδέες που ως σήμερα έμοιαζαν μη ρεαλιστικές και πρακτικές επανεξετάζονται σήμερα υπό το πρίσμα της τεχνολογικής προόδου και μπορούν στο άμεσο μέλλον να εξελιχθούν σε βιώσιμους ανταγωνιστές στο παιχνίδι της αντιρρύπανσης. Μία από αυτές της τεχνολογίες είναι η χρήση υπερηχητικών δονήσεων. Οι υπερηχητικές δονήσεις προκαλούν πολύ υψηλές επιταχύνσεις, οι οποίες καταστρέφουν τις κυτταρικές δομές της ρύπανσης. Η τεχνολογία έχει προχωρήσει από την έρευνα σε βιομηχανικές εφαρμογές. Μέχρι στιγμής, η αντιρρύπανση με υπερήχους απαιτεί



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

ταλαντωτές (ultrasonic transducers) κάθε 6 έως 8 μέτρα στη γάστρα ενός πλοίου. Για ένα φορτηγό πλοίο, αυτό θα σήμαινε εκατοντάδες μετατροπείς, πολλοί εκ των οποίων σε δυσπρόσιτες περιοχές. Από την άλλη μεριά, η εγκατάσταση αυτών των ταλαντωτών είναι μια πολύ ελκυστική συμπληρωματική τεχνολογία για την προστασία συγκεκριμένων τμημάτων του σκάφους, όπως τα δίκτυα ύδατος ψύξεως ή οι κεντρικές αναρροφήσεις (sea chests) του πλοίου. οι σωλήνες νερού ψύξης ή τα θαλάσσια κιβώτια. Τα παραπάνω είναι τμήματα του πλοίου που είναι δύσκολο να καθαριστούν και να βαφτούν. Ένα ακόμα πλεονέκτημα των υπερηχητικών δονήσεων είναι ότι προσφέρουν προστασία χωρίς τη χρήση βιοκτόνων ακόμα και για πλοία με μεγάλα διαστήματα ελλιμενισμού ή ακινησίας. (Kelling J. , 2021) Είναι μία τεχνολογία που έχει αρχίσει ήδη να εφαρμόζεται καθώς έχουν ήδη εγκατασταθεί 4.500 ταλαντωτές, σε περισσότερα από 230 πλοία (Kelling & Mayorga, 2020). Ένα δείγμα ταλαντωτή της εταιρείας Hasytec βλέπουμε στην εικόνα 8.4.



Εικόνα 8.4: Ταλαντωτής υπερήχων. (πηγή: <https://hasytec.com/en/dbpi-shipping/>)

Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) χρησιμοποιείται ευρέως στην επεξεργασία νερού έρματος (ballast water). Έχει προταθεί και στο παρελθόν ως σύστημα αντιρρυπαντικής προστασίας, αλλά η ταχεία εξασθένιση της υπεριώδους ακτινοβολίας και τα σχετικά υψηλά κόστη πρόσκτησης και λειτουργίας έχουν καταστήσει αυτήν την επιλογή λιγότερο ελκυστική. Αυτό όμως μπορεί να αλλάξει στο άμεσο μέλλον. Η AkzoNobel και η Philips αναπτύσσουν από κοινού μια νέα λύση πρόληψης της βιορύπανσης, βασισμένη στη δημιουργία υπεριώδους φωτός από LED ενσωματωμένα σε ένα διαφανές υπόστρωμα (Bertram, 2020). Τα LED σχηματίζουν λεπτά πλακάκια, τα οποία είναι σχετικά ελαφριά. Τα πλακάκια αυτά είναι απολύτως υδατοστεγανά και τροφοδοτούνται μέσω ασύρματων τροφοδοτικών μειώνοντας έτσι την πιθανότητα βραχυκυκλωμάτων. Στην εικόνα 8.5



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

βλέπουμε την αποτελεσματικότητα μίας επιφάνειας όπου εφαρμόστηκε η τεχνολογία υπεριώδους ακτινοβολίας. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο.



Εικόνα 8.5: Αποτελέσματα εφαρμογής τεχνολογίας UV.

(πηγή: <https://www.marinelink.com/news/uvc-keeping-ship-hulls-free-biofouling-443251>)

Τα ηλεκτρικά αντιρρυπαντικά συστήματα είχαν ήδη προταθεί στο παρελθόν από τον Edison το 1891. Η ιδέα αναβίωσε και βελτιώθηκε τη δεκαετία του 1990, κυρίως από το σύστημα MAGPET της Mitsubishi. Πιθανώς λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης, αυτή η τεχνολογία δεν μπόρεσε να γίνει αποδεκτή από την αγορά. Ωστόσο, πιο πρόσφατα, το γερμανικό ινστιτούτο Fraunhofer ερεύνησε το 2016 μια παραλλαγή στο ίδιο θέμα. Νανοσωματίδια μπορούν να παράξουν ασθενές ηλεκτρικό ρεύμα μέσω της ηλεκτρόλυσης με χρήση εναλλασόμενων πόλων. Το παραγόμενο ρεύμα δύναται να εξουδετερώσει τους θαλάσσιους μικροοργανισμούς που προκαλούν τη ρύπανση. Η παραπάνω τεχνολογία βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό και πειραματικό στάδιο.



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

9. Συμπεράσματα

Η συντήρηση των υφάλων ενός πλοίου, η λειτουργία των συστημάτων καθοδικής προστασίας και η επιλογή του κατάλληλου αντιρρυπαντικού συστήματος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοσή του. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αντιρρυπαντικής προστασίας και καθαρισμού των υφάλων σχετίζεται με το επιχειρησιακό προφίλ του κάθε πλοίου και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Επιπρόσθετα η προοπτική που έχει θέσει ο IMO για την εκμηδένιση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050 σε συνδυασμό με την εφαρμογή από μέρους των ναυτιλικών εταιρειών των δεικτών EEDI και EEXI καθιστούν τη συντήρηση των υφάλων των πλοίων οικονομική και προσιτή τεχνολογικά μέθοδο για την επίτευξη ενός μέρους των παραπάνω στόχων. Σύμφωνα με μια μελέτη που διεξήχθη από το UCL, η συντήρηση των υφάλων και η εφαρμογή κατάλληλων αντιρρυπαντικών συστημάτων αποτελεί το δημοφιλέστερο μέτρο για τις ναυτιλιακές εταιρείες. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη στην οποία συμμετείχαν 130 πλοιοκτήτες, χειριστές και ναυλωτές, έδειξε ότι το 86% αυτών των εταιρειών υιοθέτησαν τεχνολογία ενεργειακής απόδοσης τα τελευταία πέντε χρόνια, με τις αντιρρυπαντικές επιστρώσεις να αντιπροσωπεύουν το 70% (I. Rojon, 2014). Αυτό εξηγεί την έντονη κούρσα μεταξύ των εταιρειών χρωμάτων που προσπαθούν να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα προσφέροντας προϊόντα τελευταίας τεχνολογίας. Για τον πλοιοκτήτη, η χρήση σύγχρονης αντιρρυπαντικής βαφής αντιπροσωπεύει μια λύση χαμηλού κινδύνου.

Για τα πλοία που επιχειρούν με μεγάλες ταχύτητες όπως πολεμικά πλοία, ταχύπλοα σκάφη και πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων τα σιλικονούχα FR υφαλοχρώματα αποτελούν αυτή τη στιγμή την αποδοτικότερη πρόταση. Σε πλοία που επιχειρούν με μικρότερες ταχύτητες (π.χ. δεξαμενόπλοια, φορτηγά πλοία) η εφαρμογή SPC υφαλοχρωμάτων σε συνδυασμό με τακτικούς υποβρύχιους καθαρισμούς αποτελεί την ενδεδειγμένη λύση λαμβάνοντας υπόψη το κατά πολύ μικρότερο κόστος προμήθειας και εφαρμογής εν λόγω τύπου αντιρρυπαντικής επιστρώσης.

Η μέριμνα για τη συντήρηση των ελικών είναι επίσης σημαντική για την απόδοση του σκάφους μέσω του τακτικού υποβρύχιου καθαρισμού. Επίσης στα πλοία χαμηλής ταχύτητας οι έλικες συνήθως επικαλύπτονται κατά τη διάρκεια των δεξαμενισμών με βιοκτόνες επικαλύψεις AF (πάνω από ένα sealer coat), ενώ οι έλικες των σκαφών υψηλής ταχύτητας συνήθως καθαρίζονται και γυαλίζονται, χωρίς να βαφτούν. Η βαφή των ελικών με FR υφαλόχρωμα μπορεί να παρέχει σε μια προπέλα ένα προφίλ πολύ λείας επιφάνειας,



*Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.*

ισοδύναμο με μια αντίστοιχη νέα ή καλά γυαλισμένη. Το σημαντικότερο είναι ότι η επιφάνεια της προπέλας θα παραμείνει καθαρή από βιορύπανση και εναποθέσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς την ανάγκη υποβρύχιου καθαρισμού πράγμα που σημαίνει σημαντική εξοικονόμηση κόστους συντήρησης. Δεδομένου ότι η περιοχή της προπέλας είναι μικρή σε σύγκριση με την επιφάνεια της γάστρας, η εφαρμογή FR επίστρωσης είναι σχετικά οικονομική λύση.

Οι υποβρύχιοι καθαρισμοί αποτελούν μια ακόμα οικονομική και αποδοτική λύση για την απομάκρυνση της βιορύπανσης, και της συντήρησης των υφάλων ενός πλοίου. Οι δυσκολίες που προκύπτουν από τη διαθεσιμότητα δυτών, των σφαλμάτων κατά την εκτέλεση των εργασιών και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις φαίνεται ότι θα ξεπεραστούν πολύ σύντομα με τη διάδοση της χρήσης των ρομποτικών συσκευών υποβρύχιου καθαρισμού. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την ακόμα συχνότερη επιλογή από τις ναυτιλιακές εταιρείες αυτής της μεθόδου συντήρησης των υφάλων ενός πλοίου, γεγονός που θα παρατείνει το διάστημα για τον επόμενο δεξαμενισμό άρα θα επιφέρει μεγάλο οικονομικό όφελος.

Τέλος στο άμεσο μέλλον με την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών όπως η επικάλυψη με υφαλοχρώματα νανοτεχνολογίας, η χρήση ταλαντωτών υπερήχων και η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας η καταπολέμηση της βιορύπανσης θα γίνει αποτελεσματικότερη, αυξάνοντας ακόμα περισσότερο την απόδοση των πλοίων.



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

Βιβλιογραφία

- 536/2008, Ε. (2008). Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 536/2008 της Επιτροπής της 13ης Ιουνίου 2008 για την εφαρμογή του άρθρου 6 παράγραφος 3 και του άρθρου 7 του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 782/2003 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την απαγόρευση οργανοκασσιτερικών ενώσεων. Βρυξέλλες: Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- 782/2003, Ε. (2003). Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 782/2003 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 14ης Απριλίου 2003 για την απαγόρευση οργανοκασσιτερικών ενώσεων σε πλοία. Βρυξέλλες: Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Bertram, V. (2020). 12th Symposium on High-Performance Marine Vehicles. *Options for the Post-Biocide Era of Antifouling* (pp. 51-56). Hamburg: Technische Universität Hamburg.
- C. Bressy, M. L. (2014, December). Marine Fouling An Overview. *Journal of Ocean Technology*.
- Ch.081, N. (2006). Waterborne Underwater Hull Cleaning of Navy Ships. *Naval Ship's Technical Manual Chapter 081 Revision 5*. USN.
- Cui, C. S. (2020, October 13). Review of Underwater Ship Hull Cleaning Technologies. *Journal of Marine Science and Application*, pp. 415–429.
- D. M. Yebra, S. K. (2003). Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings, *Progress in Organic Coatings* 50 (2004) 75–104.
- E. Almeida, T. D. (2007). Marine paints: The particular case of antifouling paints. *Glomeep*. (2022, Ιανουάριος 30). Retrieved from <https://glomeep.imo.org/>: <https://glomeep.imo.org/technology/hull-cleaning/>
- Hellio, C., & Yebra, D. (2009). *Advances in marine antifouling coatings and technologies*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- HYDREX. (2011). HYDREX WHITE PAPER No4. *Ship Hull Coating Systems Simplified*.
- I. Rojon, T. S. (2014). *On the attitudes and opportunities of fuel consumption monitoring and measurement within the shipping industry and the identification and validation of energy efficiency and performance interventions*. UCL Energy Institute.
- IMO. (2001). *International Convention on the Control of Harmful Anti-Fouling Systems, AFS.3/Circ.3*. London: IMO.
- IMO. (2020). *Fourth IMO GHG Study 2020 Executive Summary*. London: International Maritime Organization.
- ISO12944-1. (2017). *International Standard ISO 12944-1, Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO8501-1. (2007). *Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Visual assessment of surface cleanliness*. Geneva: International Organization for Standardization.



Γεώργιος Μπατσαούρας,
Συντήρηση υφάλων πλοίων. Αντιρρυπαντική τεχνολογία,
υφαλοχρωματισμοί, υποβρύχιοι καθαρισμοί και η
απόδοση πλοίου.

- ISO8502-4. (2017). *Preparation of steel substrates before application of paints and related products*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO8503-2. (2012). *Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Surface roughness characteristics of blast-cleaned steel substrates*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Johnson, M. (2018). *Control of Harmful Anti-Fouling Systems on Ships Act, 2018*. The Bahamas: IMO - International Maritime Law Institute.
- K.A. Dafforn, J. L. (2011). Antifouling strategies: History and regulation, ecological impacts and mitigation. *Marine Pollution Bulletin* 62, pp. 453-465.
- Kelling, J. (2021). EU Project CHEK –Ultrasonic Antifouling and other Measures to Meet the CII Challenge. *13th Symposium on High-Performance Marine Vehicles, HIPER'21* (pp. 132-139). Tullamore: Technische Universität Hamburg.
- Kelling, J., & Mayorga, X. (2020). The Silent Revolution in Biocide-Free Antifouling. *12th Symposium on High-Performance Marine Vehicles* (pp. 70-73). Hamburg: Technische Universität Hamburg.
- M. P. Schultz, J. A. (2011). *Economic impact of biofouling on a naval surface ship*. Annapolis: [United States Naval Academy.
- Moller, A. (2007). Environmental report 2007. Maersk Vessels.
- Munk T., K. D. (2009). Chapter 7, The effects of corrosion and fouling on the performance of ocean-going vessels: a naval architectural perspective. In *Advances in marine antifouling coatings and technologies*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC .
- Nendza, M. (2007). Hazard assessment of silicone oils (polydimethylsiloxanes, PDMS) used in antifouling-/foul-release products in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 54, pp. 1190–96. .
- Oftedahl, G. A. (2020). Innovative Robotic and Performance-based Hull Management Solution . *12th Symposium on High-Performance Marine Vehicles* (pp. 164-169). Hamburg: Technische Universität Hamburg.
- S. Walheim, T. S.-J.-B. (2021). Passive Air Lubrication: Demonstrating a Research Vessel Coated with a Hull of Air. *High-Performance Marine Vehicles HIPER'21* (pp. 203-208). Tullamore: Technische Universität Hamburg.
- Schweitzer, P. A. (2006). *Paint and Coatings Applications and Corrosion Resistance*. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group .
- ΕΟΠ, Ε. Ο. (2020, 11 23). Ατμοσφαιρική ρύπανση. Retrieved from eea.europa.eu: <https://www.eea.europa.eu/el/themes/air/intro>
- Κολλιτιάτης, Ι. Ε. (2020). Η συντήρηση του πλοίου. In Ι. Ε. Κολλιτιάτης, *Ναυπηγία* (pp. 335-336). Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.
- Κοτρίκλα, Α. (2015). *Ναυτιλία και Περιβάλλον*. Αθήνα: ΣΕΑΒ.