



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Αντιδιαβρωτική προστασία του πλοίου - Συντήρηση και επισκευές

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παπαδάκης Δημήτριος

A.M.: 51114078

Επιβλέπων: Ισίδωρος Ιακωβίδης

Αθήνα 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Τίτλος:

« Αντιδιαβρωτική προστασία του πλοίου - Συντήρηση και επισκευές»

Συγγραφέας:

Παπαδάκης Δημήτριος
Α.Μ.: 51114078

Επιβλέπων:

Ιακωβίδης Ισίδωρος
Λέκτορας ΠΑ.Δ.Α.

Ημερομηνία εξέτασης

8 / 3 / 2022

Εξεταστική Επιτροπή

Ιακωβίδης Ισίδωρος,
Λέκτορας ΠΑ.Δ.Α.

Θεοχάρη Σταματίνα,
Αναπλ. Καθηγήτρια ΠΑ.Δ.Α.

Μαζαράκος Θωμάς,
Επικ. Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Παπαδάκης Δημήτρης του Ευαγγέλου, με αριθμό μητρώου 51114078 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο Δηλών



Παπαδάκης Δημήτρης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και ιδιαίτερα τον αδερφό μου, για την έμπρακτη στήριξή του στις επιλογές και τις αποφάσεις μου, κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρονών.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στον καθηγητή μου Δρ. Ισίδωρο Ιακωβίδη, για την ανιδιοτελή προσφορά του, το σημαντικό χρόνο που αφιέρωσε και τις πολύτιμες πληροφορίες και συμβουλές που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ τη ναυτιλιακή εταιρεία *Chartworld Shipping Corporation*, με έδρα τη Γλυφάδα Αττικής η οποία, στα πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας της εργασίας, μου παραχώρησε στοιχεία για εργασίες δεξαμενισμού πλοίου, καθώς και την κατασκευαστική εταιρεία *MARPO Marine & Industrial Services Ltd*, με έδρα τη Γλυφάδα Αττικής που μου παρείχε καθοδήγηση για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου Βαγγέλη, Βασίλη, Γιώργο και Φώτη, για τη βοήθεια και τη συμβολή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των μεθόδων αντιδιαβρωτικής προστασίας στα πλοία, καθώς και οι επιθεωρήσεις και τα σχετικά πιστοποιητικά που εκδίδονται σύμφωνα με τους κανονισμούς των Νηογνώμωνων.

Με σκοπό την πρόληψη της διάβρωσης της γάστρας του πλοίου και στα πλαίσια της εξέτασης της συντήρησης και των επισκευών γίνεται περιγραφή των επιθεωρήσεων και των πιστοποιητικών που πρέπει να φέρουν τα πλοία κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.

Στα πλαίσια μιας μελέτης περίπτωσης, γίνεται περιγραφή των εργασιών δεξαμενισμού και εφαρμογή επιστρώσεων αντιδιαβρωτικής προστασίας, ενώ αναλύεται το κόστος αυτών των εργασιών συντήρησης που αφορούν την αντιδιαβρωτική προστασία της γάστρας του πλοίου.

Λέξεις κλειδιά: Αντιδιαβρωτική προστασία, Νηογνώμονες, Επιθεωρήσεις, Πιστοποιητικά.

Abstract

The subject of this Diploma Thesis, is the study of the anti-corrosion methods applied on ships, as well as the various inspections and certificates, in accordance with the regulations of the Classification Societies.

In order to prevent the corrosion of a ship's hull and in the context of the maintenance and repairs required, an analysis of the inspections and certificates that ships are provided with during a voyage is performed.

In regard to a case study, an analysis is made of the dry-docking tasks and their cost, with special emphasis on the protection of the ship's hull against corrosion.

Key words: Corrosion protection, Classification Societies, Inspections, Certificates.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
2. Η ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ	12
2.1 Γενικά στοιχεία.....	12
2.2 Διάβρωση της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου.....	13
2.3 Οικονομικές επιπτώσεις της διάβρωσης.....	14
2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό διάβρωσης	15
2.5 Μορφές διάβρωσης	22
3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	29
3.1 Εισαγωγή στις μεθόδους αντιδιαβρωτικής προστασίας.....	29
3.2 Σχεδιασμός και αντιδιαβρωτική προστασία	29
3.2.1 Επιλογή αξιόπιστης λύσης	30
3.2.2 Πρόληψη στην φάση του σχεδιασμού	30
3.2.3 Επιλογή του κατάλληλου μεταλλικού υλικού	31
3.2.4 Χαρακτηριστικά μετάλλων που χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική βιομηχανία.....	31
3.3 Καθοδική προστασία	33
3.4 Καθοδική προστασία μέσω θυσιαζόμενων ανόδων (<i>SACP</i>).....	35
3.4.1 Τύποι θυσιαζόμενων ανόδων	37
3.4.2 Σύνδεση ανόδου με την κατασκευή	38
3.4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης θυσιαζόμενων ανόδων.....	38
3.4.4 Υπολογισμός ρεύματος, ηλεκτρικής αντίστασης και βάρους ανόδων.....	39
3.5 Καθοδική προστασία με χρήση εξωτερικά επιβαλλόμενου ρεύματος (<i>ICCP</i>).....	43
3.5.1 Τύποι ανόδων παροχής εξωτερικού ρεύματος.....	45
3.5.2 Πηγές ρεύματος <i>ICCP</i>	48
3.5.3 Σταθμοί ελέγχου	52
3.5.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συστημάτων εξωτερικού ρεύματος	52
3.6 Χρώματα	53
4. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ.....	56
4.1 Ορισμός- Γενικά στοιχεία επιθεωρήσεων	56
4.2 Προγραμματισμός επιθεωρήσεων.....	57
4.3 Ετήσια επιθεώρηση (<i>Annual Survey</i>).....	58
4.4 Ενδιάμεση επιθεώρηση (<i>Intermediate Survey</i>)	66

4.5 Ειδικές επιθεωρήσεις (<i>Special Surveys</i>).....	67
4.6 Κατάλογος απαραίτητων πιστοποιητικών λειτουργίας πλοίου	86
4.7 Ελληνική Νομοθεσία για τις επιθεωρήσεις των πλοίων	90
5. ΑΝΤΙΔΡΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ <i>BULK CARRIER</i> (ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ).....	93
5.1 Στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου	93
5.2 Εργασίες δεξαμενισμού για την αντιδιαβρωτική προστασία και κοστολόγιο σε ένα πλοίο τύπου <i>Bulk Carrier</i>	94
5.3 Υπολογισμός του κόστους εργασιών καθαρισμού, αμμοβολής και βαφής του πλοίου ..	101
5.3.1 Υπολογισμός του κόστους εργασιών καθαρισμού και αμμοβολής	102
5.3.2 Υπολογισμός κόστους των εργασιών βαφής του πλοίου στο ναυπηγείο	102
5.3.3 Υπολογισμός των ποσότητας χρώματος για τη βαφή της γάστρας του πλοίου	104
5.3.4 Υπολογισμός κόστους βαφής.....	107
5.3.5 Υπολογισμός τελικού κόστους εργασιών	111
5.4 Σύστημα καθοδικής προστασίας <i>ICCP</i>	112
5.5 Αποτελέσματα – Συμπεράσματα	113
5.6 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	115
Βιβλιογραφία.....	117

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία από τις συνηθέστερες φθορές που αντιμετωπίζονται κατά τη συντήρηση του πλοίου στο ναυπηγείο, είναι αυτή που προκαλείται από τη διάβρωση. Η φθορά που προκαλείται στη μεταλλική κατασκευή εξ' αιτίας της διάβρωσης, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του πάχους και της αντοχής των κατασκευαστικών στοιχείων, γεγονός που επιφέρει υψηλό κόστος συντήρησης και επισκευής. Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των μεθόδων πρόληψης, αποφυγής και αντιμετώπισης των προβλημάτων της διάβρωσης με την εφαρμογή κατάλληλων προστατευτικών επικαλύψεων (χρωμάτων) και μεθόδων καθοδικής προστασίας. Επιπλέον στην παρούσα εργασία, εξετάζονται οι τακτικές επιθεωρήσεις (ετήσια, περιοδική, ειδική) και οι σχετικοί κανονισμοί νηογνωμόνων. Στο τελικό μέρος της εργασίας, πραγματοποιείται μια μελέτη σχετική με εργασίες συντήρησης που έγιναν σε ένα πλοίο τύπου *Bulk Carrier* κατά τον δεξαμενισμό, με στόχο τη προστασία της γάστρας του πλοίου από τη διάβρωση. Οι εργασίες αυτές πραγματοποιήθηκαν στο ναυπηγείο *Guangzhou Wenchong dockyard*.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας εξετάζονται η έννοια της διάβρωσης στα πλοία, τα είδη και οι αιτίες που την προκαλούν καθώς και οι οικονομικές επιπτώσεις που επιφέρει. Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύονται οι μέθοδοι αντιδιαβρωτικής προστασίας, η χρήση θυσιαζόμενων ανόδων (*SACP*) και η καθοδική προστασία με την επιβολή εξωτερικού ρεύματος (*ICCP*). Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε μεθόδου, οι τύποι ανόδων που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση καθώς και ο τρόπος που οι άνοδοι συνδέονται με την κατασκευή. Επιπλέον, παρέχονται οδηγίες για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας των ανοδίων, με σκοπό τη σωστή κατανομή και τοποθέτηση αυτών στην επιφάνεια της γάστρας του πλοίου. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι τακτικές επιθεωρήσεις που διενεργούνται στα πλοία, σύμφωνα με τους κανονισμούς των Νηογνωμόνων καθώς και τα πιστοποιητικά που πρέπει αυτά να φέρουν εν πλω. Τέλος, το τέταρτο κεφάλαιο, περιλαμβάνει τη μελέτη των εργασιών που έγιναν κατά το δεξαμενισμό ενός πλοίου τύπου *Double Skin Bulk Carrier*, για την αντιδιαβρωτική προστασία της γάστρας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι εργασίες που έγιναν για τον καθαρισμό της γάστρας με υδροβολή, οι εργασίες αφαίρεσης προστατευτικών επικαλύψεων με αμμοβολή, η αντικατάσταση των θυσιαζόμενων ανόδων, η ανανέωση των προστατευτικών επικαλύψεων του πλοίου (βαφή), η εκ νέου βαφή των διακριτικών του πλοίου (όνομα, ίσαλος γραμμή, θέση *iccp* κλπ.) και ο καθαρισμός των θυρίδων αναρρόφησης (*sea chests*).

2. Η ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ

2.1 Γενικά στοιχεία

Με τον όρο διάβρωση εννοούμε την αντίδραση ενός μεταλλικού υλικού με το περιβάλλον που έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωσή του. Η διάβρωση στα μέταλλα οφείλεται στην οξείδωση που υφίστανται αυτά, όταν έρθουν σε επαφή με το περιβάλλον και έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων τους, καθώς και τη μείωση του πάχους τους λόγω απώλειας υλικού. Η διάβρωση εμφανίζεται ως αποτέλεσμα χημικών, ηλεκτροχημικών, μηχανικών ή βιολογικών δράσεων ή και συνδυασμού αυτών. Η χημική διάβρωση δημιουργείται από την αλληλεπίδραση ενός μετάλλου με τις χημικές ουσίες του περιβάλλοντος απουσία ηλεκτρολύτη. Η διαφορά της ηλεκτροχημικής διάβρωσης από την χημική έγκειται στην παρουσία ηλεκτρικού ρεύματος κατά την χημική αντίδραση. Η ηλεκτροχημική διάβρωση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία και λαμβάνει χώρα υπό ορισμένες συνθήκες. Τα τέσσερα βασικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν την ηλεκτροχημική διάβρωση (Καρύδης 2002) είναι:

- η άνοδος
- η κάθοδος
- η μεταλλική οδός
- ο ηλεκτρολύτης

Άνοδος είναι το τμήμα του μετάλλου όπου άτομα του μετάλλου μετατρέπονται σε ιόντα, με αποτέλεσμα το μέταλλο να διαλύεται στον ηλεκτρολύτη. Τα παραγόμενα ηλεκτρόνια διέρχονται από την άνοδο και τον μεταλλικό αγωγό στην κάθοδο. Στην άνοδο πραγματοποιείται αντίδραση οξείδωσης.

Κάθοδος είναι το τμήμα του μετάλλου όπου καταναλώνονται ηλεκτρόνια. Στην κάθοδο πραγματοποιείται αντίδραση αναγωγής. Η οξείδωση και η αναγωγή είναι φαινόμενα που συμβαίνουν ταυτόχρονα.

Η μεταλλική οδός είναι ο συνδετικός κρίκος ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο. Μέσω αυτής, τα ηλεκτρόνια που παράγονται στην άνοδο μεταφέρονται και καταλήγουν στην κάθοδο.

Ηλεκτρολύτης είναι ο αγωγός ιόντων που επιτρέπει τη μεταφορά των ιόντων μεταξύ της ανόδου και της καθόδου.

Για να συμβεί διάβρωση πρέπει όλα αυτά τα στοιχεία να συνδέονται άμεσα μεταξύ τους σε ένα κλειστό κύκλωμα. Αν κάποιο από αυτά αφαιρεθεί, τότε αυτομάτως παύει να

συμβαίνει διάβρωση. Στο θαλάσσιο περιβάλλον η διάβρωση είναι συνήθως αποτέλεσμα ηλεκτροχημικών δράσεων.

Για την καλύτερη κατανόηση του ορισμού της ηλεκτροχημικής διάβρωσης ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό μεταξύ δύο διαφορετικών ελασμάτων (χαλκού-σιδήρου) τα οποία τοποθετούνται μέσα σε θαλασσινό νερό, έχοντας ενωμένα τα άκρα τους (που βρίσκονται εκτός νερού) με μεταλλικό σύρμα. Το θαλασσινό νερό δρα ως ηλεκτρολύτης, αφού μετατρέπει τη χημική ενέργεια των δράσεων σε ηλεκτρική. Κατά συνέπεια, παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα που διαρέει τα μεταλλικά ελάσματα. Η αλληλεπίδραση αυτή, γνωστή ως ηλεκτρόλυση οδηγεί σε διάβρωση της επιφάνειας του μετάλλου. Όσον αφορά το ναυπηγικό χάλυβα, όταν εμφανίζονται τα σημάδια της διάβρωσης αναμένεται μείωση του πάχους κατά περίπου 0,3 mm ανά έτος (Καρύδης 2002, ABS 2017, DNVGL 2017). Εάν σε μία χαλύβδινη επιφάνεια τοποθετηθεί κατάλληλο υλικό αντιδιαβρωτικής προστασίας τότε δημιουργείται ένα φράγμα μεταξύ μετάλλου και ηλεκτρολύτη το οποίο εμποδίζει τη διάβρωση της μεταλλικής επιφάνειας.

2.2 Διάβρωση της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου

Επιφάνειες του πλοίου που βρίσκονται είτε εντός θαλασσινού νερού είτε πάνω από την ίσαλο έχουν την τάση να διαβρώνονται γρηγορότερα εξαιτίας της παρουσίας θαλασσινού νερού, κυματισμών και ανέμων. Κατά τις εναλλαγές της υγρασίας στο περιβάλλον, στη μεταλλική επιφάνεια του πλοίου προσκολλώνται σταγονίδια νερού και ποσότητες ηλεκτρολυτών ή άλλων σωματιδίων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Αυτά τα σωματίδια διαλύονται στις σταγόνες νερού που οφείλονται στην υγρασία, σχηματίζοντας ηλεκτρολυτικό διάλυμα το οποίο προκαλεί ή επιταγχύνει τη διαδικασία της διάβρωσης. Άλλοι παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση της ταχύτητας διάβρωσης είναι (Καρύδης 2002) οι εξής:

- Πηγές σκωρίασης που δημιουργούνται από την εφαρμογή αντιρρυπαντικών υλικών, τα οποία αποτρέπουν την προσκόλληση στη γάστρα του πλοίου φυτικών και ζωικών μικροοργανισμών (φύκια, όστρακα). Τα αντιρρυπαντικά περιέχουν τοξικές ουσίες οι οποίες προκαλούν γαλβανική διάβρωση όταν έρθουν σε επαφή με το χάλυβα.
- Ατέλειες συγκολλήσεων όπως η δημιουργία πόρων, υπερπληρώσεις στην περιοχή των υπό συγκόλληση επιφανειών, ελλειπείς πληρώσεις, ρωγμές και πιτσιλίσματα που οδηγούν σε καταστροφή των μεταλλικών επιφανειών του πλοίου.

Τα κυριότερα μέρη του πλοίου στα οποία προκαλούνται ιδιαίτερα προβλήματα από τη διάβρωση είναι (Καρύδης 2002) τα εξής:

- Τα ελάσματα του κύριου καταστρώματος (*main deck perpendiculars*)
- Οι δεξαμενές έρματος (*ballast tanks*)
- Οι δεξαμενές πόσιμου νερού (*fresh water tanks*)
- Το εξωτερικό περίβλημα (*hull*)
- Η πρωραία και η πρυμναία δεξαμενή (*for-aft peak*)
- Οι χώροι μεταφοράς (αμπάρια) του πλοίου (*cargo holds*) στα *bulk carriers* και οι δεξαμενές φορτίου (*cargo tanks*) στα δεξαμενόπλοια ειδικά όταν το φορτίο που μεταφέρεται είναι κάρβουνο ή πετρέλαιο
- Η έλικα (*propeller*)
- Το πηδάλιο (*rudder*)

2.3 Οικονομικές επιπτώσεις της διάβρωσης

Η διάβρωση είναι ένα φαινόμενο που εμφανίζεται σε κάθε είδους μεταλλική κατασκευή τόσο σε επίπεδο βιομηχανίας όσο και σε επίπεδο υποδομών και εγκαταστάσεων. Μεταλλικές επιφάνειες, κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, αγωγοί μεταφοράς νερού, γέφυρες, προβλήτες και υπεράκτιες κατασκευές είναι κατασκευές που υφίστανται φθορά από τη διάβρωση. Μελέτες του υπουργείου βιομηχανίας της Αγγλίας και της Ιαπωνίας καθώς και των ΗΠΑ έδειξαν ότι το οικονομικό κόστος της φθοράς λόγω διάβρωσης ανέρχεται σε ποσοστό 3-4% του ΑΕΠ των χωρών αυτών. Σε έρευνα της *NACE (National Association of Corrosion Engineers)* που πραγματοποιήθηκε το 2016 εκτιμήθηκε ότι το παγκόσμιο κόστος διάβρωσης είναι 2,5 τρισεκατομμύρια δολάρια. Το κόστος διάβρωσης υπολογίζεται αθροίζοντας το άμεσο και το έμμεσο κόστος. Το άμεσο κόστος, περιλαμβάνει τα κατεστραμένα εξαρτήματα και το κόστος αντικατάστασής τους, τα επικαλυπτικά και την καθοδική προστασία. Το έμμεσο κόστος, είναι πιο δύσκολο να υπολογιστεί και περιλαμβάνει αστάθμιστους παράγοντες όπως είναι το κόστος της ρύπανσης του περιβάλλοντος καθώς και βλάβες που οφείλονται στη μείωση της παραγωγής ή στη διακοπή λειτουργίας της εγκατάστασης. Το 1971 προτάθηκε μέθοδος μείωσης των επιπτώσεων της διάβρωσης με την εφαρμογή γνωστών τεχνικών όπως η μέθοδος της καθοδικής προστασίας ή της επιλογής κατάλληλου ανθεκτικού υλικού. Σύμφωνα με τη *NACE*, οι παραπάνω προτάσεις

μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση του κόστους ζημιάς κατά 15-35% που αντιστοιχεί σε ποσό της τάξης των 375 έως 875 δισεκατομμυρίων δολαρίων (Pedefferri *et al.* 2018).

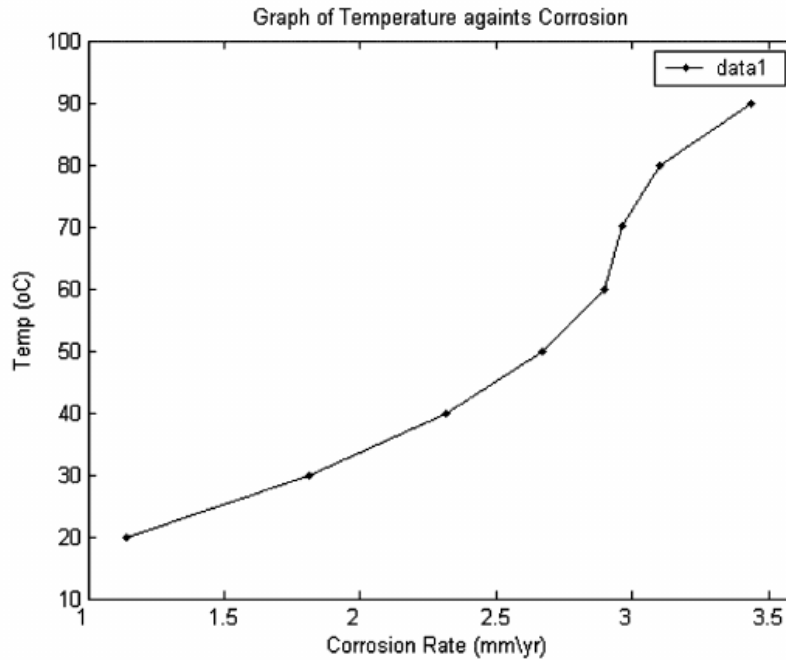
2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό διάβρωσης

Κάθε μέταλλο σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο έχει την τάση να διαβρώνεται, ανεξάρτητα από το διαβρωτικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Το περιβάλλον του μετάλλου καθορίζει το πόσο γρήγορα αυτό διαβρώνεται και τις αλλαγές που υφίστανται οι μηχανικές του ιδιότητες. Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά κανόνα προκαλεί αύξηση της ταχύτητας των χημικών αντιδράσεων. Το pH του περιβάλλοντος επηρεάζει την ταχύτητα διάβρωσης καθώς μεταβάλλεται η συγκέντρωση ιόντων H^+ του περιβάλλοντος και η διαλυτότητα του μετάλλου. Οι κυριότεροι παράγοντες που αυξάνουν το ρυθμό διάβρωσης ενός μετάλλου (Καρύδης 2002, Jirapure *et al.* 2014, ABS 2017) είναι:

- η θερμοκρασία
- η υγρασία
- το θαλασσινό νερό (αλάτι)
- το οξυγόνο
- η οξύτητα και η αλκαλικότητα
- η υπεριώδης ακτινοβολία
- το ηλεκτροχημικό δυναμικό
- το είδος ιόντων
- η αγωγιμότητα των ηλεκτρολυτών

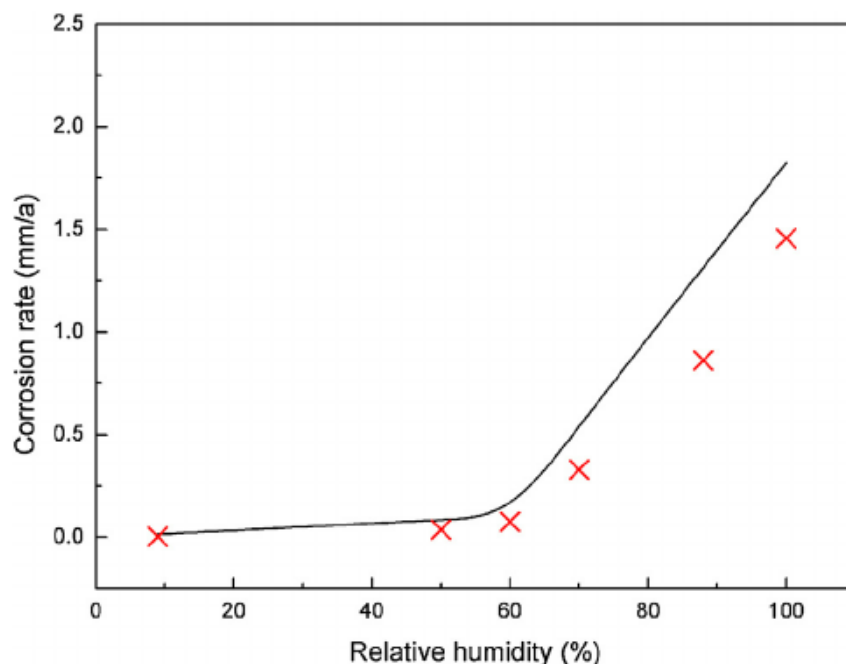
Ο ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Γενικά, για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 βαθμούς ο ρυθμός διάβρωσης του μετάλλου σχεδόν διπλασιάζεται. Ωστόσο, δεν συμπεριφέρονται όλες οι περιοχές του πλοίου το ίδιο στην διάβρωση. Για παράδειγμα οι περιοχές του πλοίου που βρίσκονται κοντά στο μηχανοστάσιο ή σε θερμαινόμενες δεξαμενές φορτίου έχουν την τάση να διαβρώνονται περισσότερο. Ένα χαρακτηριστικό των διπύθμενων σε σχέση με τα απλά είναι ότι όταν οι δεξαμενές του πλοίου είναι πλήρως φορτωμένες, οι άδειες δεξαμενές έρματος μπορούν να λειτουργούν σαν αποθήκη ψυχρού ή θερμού αέρα

βοηθώντας στη διατήρηση συγκεκριμένης τιμής της θερμοκρασίας του φορτίου για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με τα απλά βυτιοφόρα. Η αύξηση της θερμοκρασίας φορτίου ή έρματος, σε συνδυασμό με τις εξωτερικές περιοχές του πλοίου που βρίσκονται εντός ή εκτός νερού έχει ως αποτέλεσμα την εντονότερη διάβρωση του χάλυβα τόσο στις δεξαμενές φορτίου όσο και στις δεξαμενές έρματος (Καρύδης 2002, Jirapure et al. 2014, ABS 2017). Ο ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα στο θαλασσινό νερό μεταβάλλεται με την θερμοκρασία (Obanijesu 2009), όπως φαίνεται στο σχήμα 1.



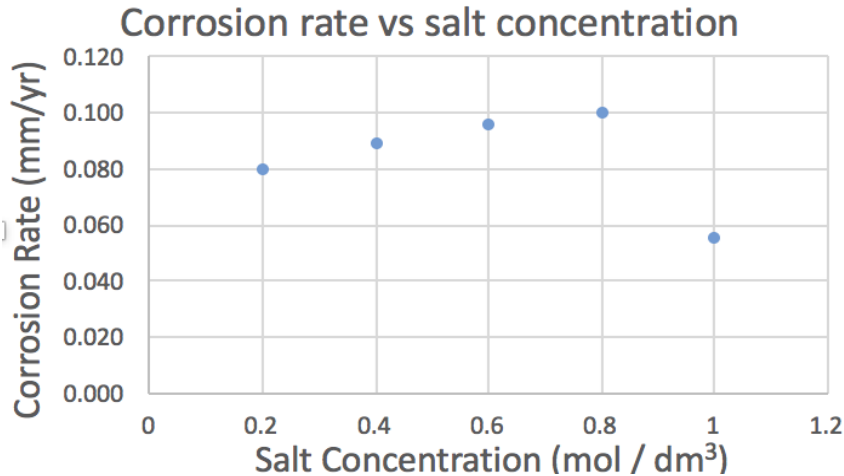
Σχήμα 1. Ο ρυθμός διάβρωσης συναρτῆσει της θερμοκρασίας (πηγή: Obanijesu 2009).

Η υγρασία επιταχύνει τη διάβρωση, όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 2, καθώς επηρεάζει τις υπάρχουσες αντιδιαβρωτικές επικαλύψεις. Οποιαδήποτε προστατευτική επίστρωση πρέπει να είναι ανθεκτική στην υγρασία του περιβάλλοντος, αλλά και αδιαπέραστη στο νερό όταν τμήμα του πλοίου βρίσκεται βυθισμένο σε αυτό.



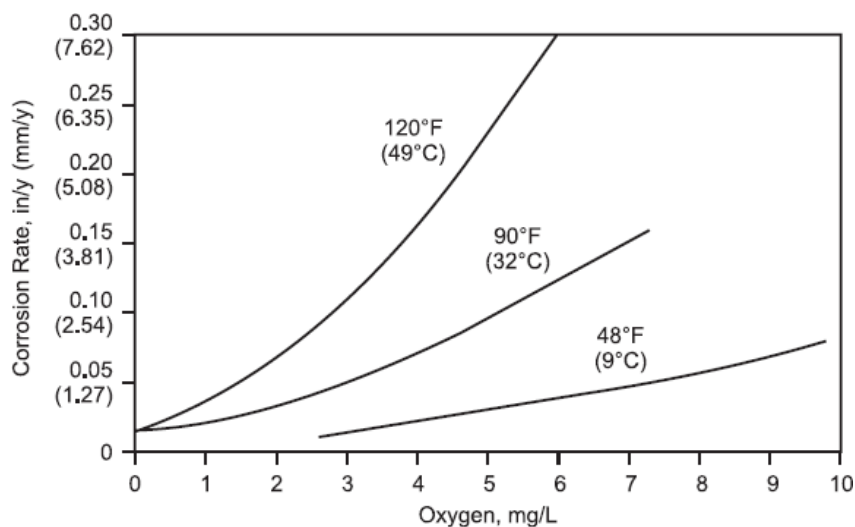
Σχήμα 2. Ο ρυθμός διάβρωσης συναρτήσει της υγρασίας (πηγή: Xiang *et al.* 2013).

Το χλωριούχο νάτριο (κοινό αλάτι) σχηματίζει υδατικά διαλύματα με μεγάλη αγωγιμότητα οπότε επιταχύνει την διάβρωση (ABS 2017, Jirapure *et al.* 2014). Η επίδραση της συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου στην ταχύτητα διάβρωσης φαίνεται από στο διάγραμμα του σχήματος 3. Για τον περιορισμό των φαινομένων διάβρωσης, συνήθως χρησιμοποιείται κατάλληλη επίστρωση ή επικάλυψη της μεταλλικής επιφάνειας, αφού προηγηθεί ο απαιτούμενος καθαρισμός και η προετοιμασία αυτής. Κύματα, άνεμοι καθώς και ο θαλάσσιος ψεκασμός είναι μερικοί από τους παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πριν από την εφαρμογή αντιδιαβρωτικής επίστρωσης σε μεταλλικές επιφάνειες θαλάσσιων και ναυπηγικών κατασκευών.



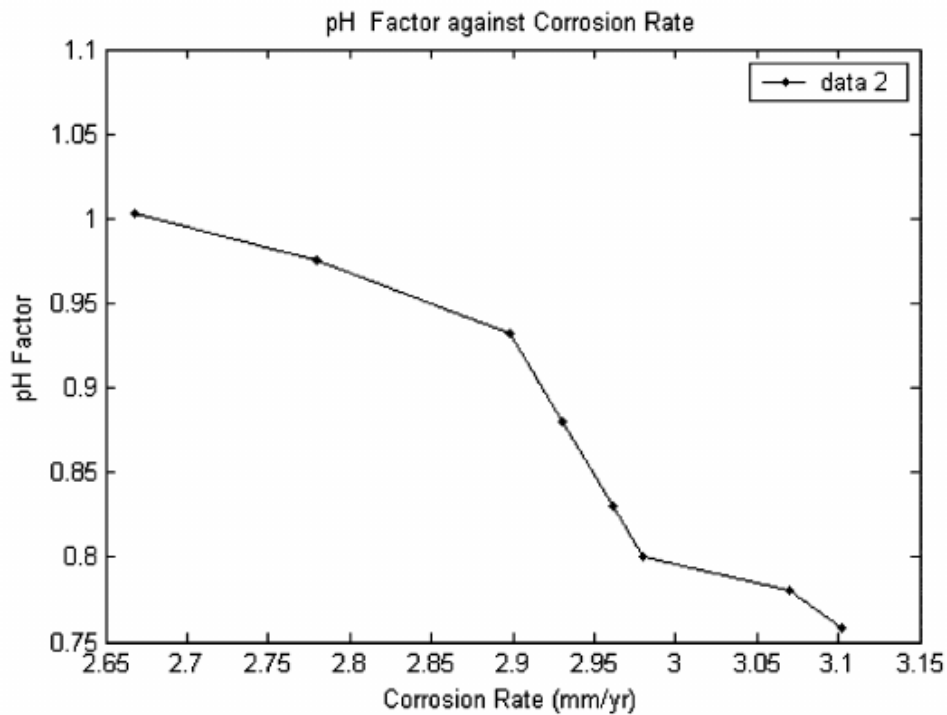
Σχήμα 3. Ο ρυθμός διάβρωσης χάλυβα, συναρτήσει της συγκέντρωσης χλωριούχου νατρίου (πηγή: <https://chemistry.stackexchange.com/questions/44828/how-does-salt-concentration-affect-corrosion-rate-of-iron>).

Ο ρυθμός διάβρωσης όσον αφορά την παρουσία οξυγόνου, εξαρτάται από τη συγκέντρωσή του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και κοντά στην επιφάνεια του χάλυβα. Ορισμένες περιοχές έχουν την τάση να διαβρώνονται περισσότερο εξαιτίας της τοπικής περίσσειας οξυγόνου σε σχέση με άλλες περιοχές μικρότερης συγκέντρωσης. Επιπλέον, περιοχές όπου εντοπίζεται υγρασία, όπως οι δεξαμενές έρματος μετά την αφαίρεση του νερού καθώς και οι δεξαμενές φορτίου μετά τον καθαρισμό τους διαβρώνονται γρηγορότερα από άλλες που είναι βυθισμένες στο θαλ. Στο διάγραμμα του σχήματος 4 φαίνεται η επίδραση της περιεκτικότητας του θαλασσινού νερού σε οξυγόνο στο ρυθμό διάβρωσης, για διαφορετικές θερμοκρασίες.



Σχήμα 4. Ο ρυθμός διάβρωσης συναρτήσει της συγκέντρωσης οξυγόνου (πηγή: *Nalco Water Company 2018*).

Το μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητας ενός διαλύματος είναι το pH . Η κλίμακα pH συνήθως εκτείνεται από το 1 έως 14 με το 7 να αποτελεί την ουδέτερη τιμή. Όσο μειώνεται η τιμή του pH στην περιοχή 1-7, τόσο πιο όξινο είναι το διάλυμα, ενώ όσο αυξάνεται στην περιοχή 7-14, τόσο πιο αλκαλικό είναι. Στο θαλάσσιο περιβάλλον το pH είναι περίπου 7,5. Η διάλυση του σιδήρου συμβαίνει εξαιτίας της αναγωγής του διαλυμένου οξυγόνου οπότε σχηματίζονται ιόντα υδροξυλίου (OH^-). Όταν το pH μειωθεί στην τιμή 1 τότε τα ιόντα του υδρογόνου σε σχέση με το ιόντα του υδροξυλίου είναι περισσότερα κατά 10^{12} φορές, οδηγώντας στην επιτάχυνση της διάβρωσης του χάλυβα. Για τιμές $pH < 1$ ο ρυθμός διάβρωσης του μετάλλου αυξάνεται, όπως φαίνεται από το διάγραμμα του σχήματος 5.

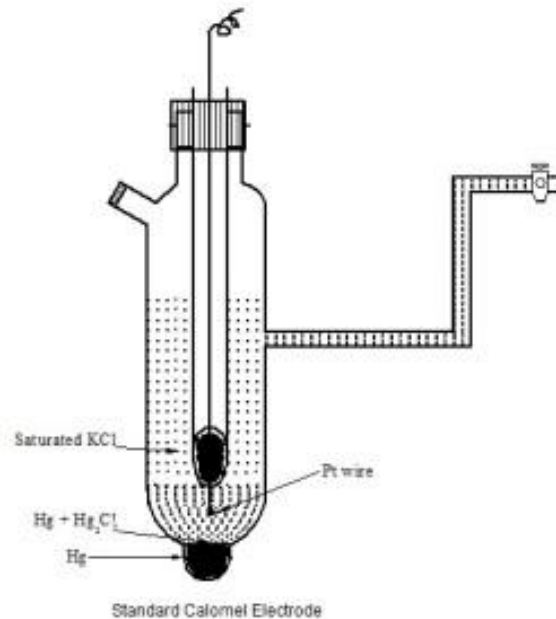


Σχήμα 5. Ο ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα σε ισχυρά όξινο περιβάλλον, συναρτήσσει του pH (πηγή: Obanijesu 2009).

Η υπεριώδης ακτινοβολία συντελεί στη φθορά των επικαλύψεων που χρησιμοποιούνται ενάντια στην διάβρωση. Οι επικαλύψεις είναι ιδιαίτερα ευπαθείς στον συγκεκριμένο τύπο φθοράς, λόγω του φαινομένου της γήρανσης.

Ένα μέταλλο, όταν βυθίζεται σε ηλεκτρικά αγώγιμο υγρό, αποκτά συγκεκριμένη τιμή ηλεκτροχημικού δυναμικού, σε συνθήκες ισορροπίας. Η τιμή καθορίζεται από το είδος του μετάλλου, τη θερμοκρασία, το είδος και τη συγκέντρωση των ιόντων στο

περιβάλλον. Το δυναμικό αυτό μπορεί να μετρηθεί σε σύγκριση με κάποιο άλλο γνωστό που αναπτύσσεται σε συγκεκριμένα ηλεκτρόδια αναφοράς, όπως αυτό του αργύρου/χλωριούχου αργύρου και χαλκού/θειικού χαλκού. Στο σχήμα 6 απεικονίζεται το ηλεκτρόδιο αναφοράς καλομέλινα, που χρησιμοποιείται πολλές φορές για να μετρηθεί το ηλεκτροχημικό δυναμικό ενός μετάλλου. Στο θαλάσσιο περιβάλλον χρησιμοποιείται ως ηλεκτρόδιο αναφοράς, κυρίως το ηλεκτρόδιο αργύρου/χλωριούχου αργύρου.

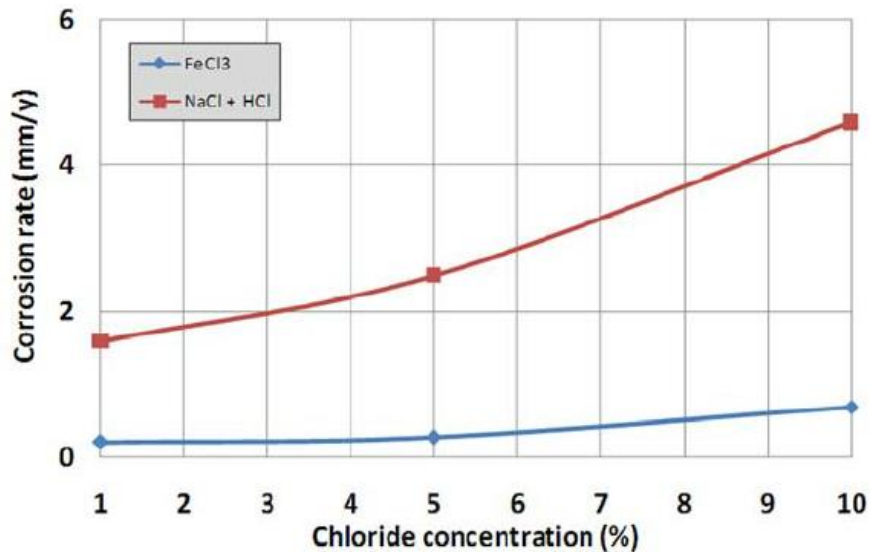


Σχήμα 6. Ηλεκτρόδιο αναφοράς καλομέλινα, ως προς το οποίο μετράται συνήθως το ηλεκτροχημικό δυναμικό ενός μετάλλου.

(πηγή: <https://utkarshinedu.wordpress.com/2016/12/21/lecture-1-105-calomel-electrode/>)

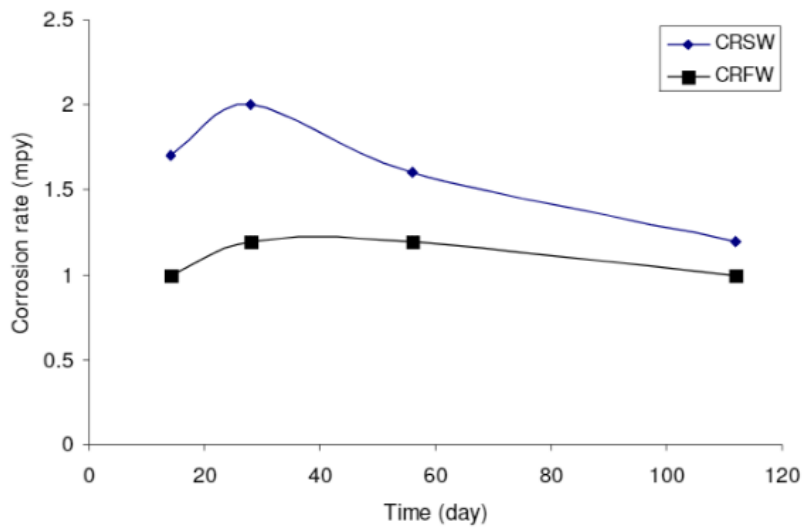
Οι διάφοροι τύποι ιόντων που υπάρχουν στο περιβάλλον, επηρεάζουν διαφορετικά την διάβρωση των μετάλλων. Ορισμένα είδη ιόντων που υπάρχουν στο θαλασσινό νερό ή στο φορτίο που μεταφέρεται από το πλοίο είναι πιο διαβρωτικοί σε σχέση με άλλους. Στο σχήμα 7 φαίνεται η επίδραση της συγκέντρωσης των χλωριούχων ιόντων, στο ρυθμό διάβρωσης του χάλυβα σε υδατικό διάλυμα. Τα χλωριούχα ιόντα (Cl^-) μαζί με τα θειικά (SO_4^{2-}) και τα θειούχα (S^{2-}) ιόντα είναι από τα πλέον δραστικά στο να προκαλούν φαινόμενα διάβρωσης. Τα χλωριούχα ιόντα επιδρούν αρνητικά στην επιφάνεια των μετάλλων εμποδίζοντας το σχηματισμό οξειδίων που βοηθούν στην προστασία της επιφάνειας από τη σκουριά. Τα θειικά ιόντα που βρίσκονται εντός της ίδιας της σκουριάς συμμετέχουν σε πρόσθετες αντιδράσεις παραγωγής ηλεκτρονίων, που έχουν ως συνέπεια τη διάβρωση των μεταλλικών εσωτερικών τοιχωμάτων στις δεξαμενές

φορτίου. Η ποσότητα θείου που απαιτείται για να συμβούν τα παραπάνω, συνήθως ανευρίσκεται στο ίδιο το φορτίο ή παράγεται από τη δράση βακτηρίων που βρίσκονται στο φορτίο που μεταφέρεται, όπως συμβαίνει με το αργό πετρέλαιο (Jirapure *et al.* 2014, ABS 2017).



Σχήμα 7. Ο ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα συναρτήσει της συγκέντρωσης των χλωριούχων ιόντων στο νερό (πηγή: Prawoto *et al.* 2009).

Η παρουσία ηλεκτρολύτη είναι πολύ σημαντική για να συμβεί διάβρωση. Η αγωγιμότητα του ηλεκτρολύτη παίζει σημαντικό ρόλο στην ταχύτητα διάβρωσης των μετάλλων. Η διαφορά αγωγιμότητας ανάμεσα στο γλυκό, το θαλασσινό και το απεσταγμένο νερό είναι πολύ μεγάλη. Ο ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα στο θαλασσινό νερό είναι σχεδόν υπερδιπλάσιος σε σχέση με το γλυκό και μηδαμινός στο απεσταγμένο νερό. Στο σχήμα 8 φαίνεται η ταχύτητα διάβρωσης του χάλυβα σε θαλασσινό ή γλυκό νερό, συναρτήσει του χρόνου.



Σχήμα 8. Ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα στο θαλασσινό και το γλυκό νερό (πηγή: Ukraka 2011).

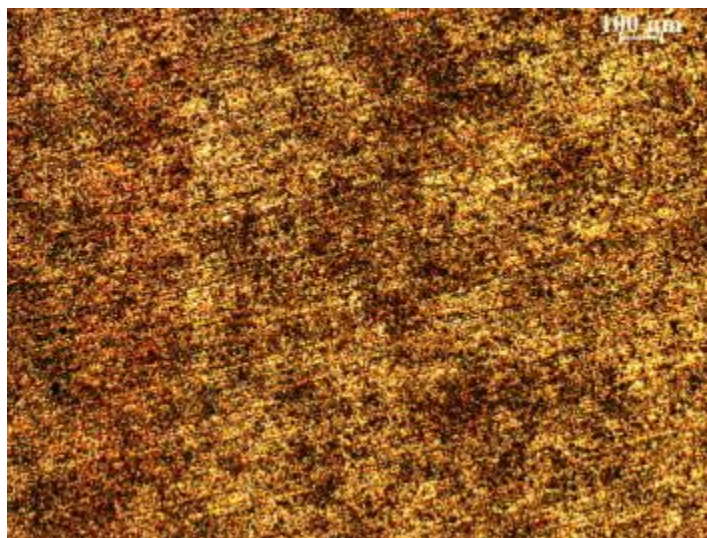
Αυτό συμβαίνει λόγω της διαφορετικής συγκέντρωσης ιόντων σε κάθε διαφορετικό διαβρωτικό περιβάλλον. Στο θαλασσινό περιβάλλον υπάρχουν άλατα σε μεγαλύτερη συγκέντρωση, αλλά και μικροοργανισμοί που προκαλούν μεγαλύτερη αγωγιμότητα και ρύπανση αντίστοιχα οδηγώντας στην ταχύτερη διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών. Επίσης, το περιβάλλον στο οποίο γίνεται χρήση πυρηνικής ενέργειας είναι διαβρωτικό εξαιτίας της ύπαρξης ακτινοβολίας που επηρεάζει τη χημική σύσταση τη δομή και τις ηλεκτροχημικές ιδιότητες των μετάλλων (Καρύδης 2002, Jirapure *et al.* 2014, ABS 2017).

2.5 Μορφές διάβρωσης

Η διάβρωση ανάλογα με τις μορφές που εμφανίζεται και τα αποτελέσματα που προκαλεί μπορεί να διακριθεί στα παρακάτω είδη (Καρύδης 2002, Jirapure *et al.* 2014, ABS 2017):

Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση (*General Corrosion*)

Πρόκειται για τον πιο συχνό τύπο διάβρωσης που παρατηρείται στα μέταλλα που βρίσκονται σε ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Χαρακτηριστική περίπτωση ομοιόμορφης διάβρωσης ελάσματος πλοίου φαίνεται στην εικόνα 1.



Εικόνα 1. Απεικόνιση γενικής διάβρωσης σε έλασμα πλοίου (πηγή: Makhlouf 2015).

Η συνεχής εναλλαγή θέσεων ανόδου και καθόδου έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια μετάλλου με την πάροδο του χρόνου, δημιουργώντας ένα ομοιόμορφο στρώμα προϊόντων διάβρωσης στην επιφάνειά του. Το πόσο αργά ή γρήγορα εξελίσσεται η παραπάνω διαδικασία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μεταβολή της θερμοκρασίας, την περιεκτικότητα σε οξυγόνο και την αγωγιμότητα του περιβάλλοντος. Αυτός ο τύπος διάβρωσης είναι ο πιο προβλέψιμος και ακίνδυνος τόσο από άποψη αντιμετώπισης (αντιμετωπίζεται αυξάνοντας το πάχος του μετάλλου), όσο και από την ευκολία στη διάκριση του (οπτικά).

Διάβρωση με βελονισμούς (*Pitting Corrosion*)

Αυτή η μορφή διάβρωσης είναι από τις πιο καταστρεπτικές, εξαιτίας της μεγάλης διείσδυσης, της συγκεκριμένης τοπικής περιοχής που δρα καθώς και της δυσκολίας της να γίνει εύκολα αντιληπτή. Όταν για κάποιο λόγο διασπαστεί η ομοιογένεια του προστατευτικού στρώματος οξειδίου τότε αυτές οι μικρές επιφάνειες λειτουργούν ως άνοδοι και η γύρω περιοχή ως κάθοδος. Το παραπάνω είδος διάβρωσης μπορεί να συμβεί και σε απομονωμένες περιοχές όπου η επικάλυψη έχει φθαρεί. Εάν η πηγή δεν εντοπιστεί εγκαίρως και δεν καθαριστεί, η διάβρωση συνεχίζεται εσωτερικά του μετάλλου δημιουργώντας οπές, επιταχύνοντας ακόμα περισσότερο το ρυθμό διάβρωσης. Η ύπαρξη στάσιμων νερών επιταχύνει τη διάβρωση σε ανοξειδωτους χάλυβες και κράματα αλουμινίου (Καρύδης 2002, ABS 2017). Χαρακτηριστική περίπτωση βελονοειδούς διάβρωσης φαίνεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2. Διάβρωση με βελονισμούς (πηγή: Glister 2017).

Μηχανική διάβρωση (*Cracking Corrosion*)

Το συγκεκριμένο είδος διάβρωσης είναι το πιο καταστρεπτικό τόσο για το ίδιο το υλικό όσο και στις οικονομικές επιπτώσεις που επιφέρει. Παρατηρείται ότι οι εξωτερικές φορτίσεις σε επιφάνειες με εσοχές, οδηγούν είτε στην ολοκληρωτική θραύση του υλικού, είτε στη δημιουργία ρωγμών, ακόμα και αν η τάση που ασκείται είναι μικρότερη (της τάξης του 10%) της αντοχής του μετάλλου. Σε αρχικό στάδιο σχηματισμού της ρωγμής, με την εφαρμογή τάσης, η διάβρωση είναι κατά 10 φορές εντονότερη. Έτσι, συμβαίνει ταχεία διάδοση της ρωγμής που οδηγεί τελικά στη θραύση του μεταλλικού υλικού. Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτό το είδος διάβρωσης, είναι το φορτίο που ασκείται, η θερμοκρασία, ο χρόνος επιβολής φορτίου καθώς και οι ιδιότητες του μετάλλου. Η διεύθυνση διάδοσης των ρωγμών είναι κάθετη στην διεύθυνση επιβολής φορτίου. Αποτέλεσμα της μηχανικής διάβρωσης είναι ο σχηματισμός και η διάδοση ρωγμών, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3. Αποτέλεσμα μηχανικής διάβρωσης (*Stress Corrosion Cracking*)
(πηγή: <http://www.metalconsult.com/stress-corrosion-cracking-reactor-vessel.html>).

Γαλβανική διάβρωση (*Galvanic Corrosion*)

Με τον όρο γαλβανική διάβρωση ή διάβρωση επαφής εννοείται η φθορά που υφίστανται τα μέταλλα όταν έρθουν σε αγώγιμη επαφή μεταξύ τους σε έντονα διαβρωτικό περιβάλλον. Όταν σχηματίζεται αυτή η ζεύξη, ένα από τα μέταλλα δρα ως άνοδος και διαβρώνεται, ενώ το άλλο ως κάθοδος και προστατεύεται. Για να συμβεί αυτό πρέπει να υπάρχει επαφή επαφή ή σύνδεση των διαφορετικών μετάλλων παρουσία ηλεκτρολύτη. Ο ρυθμός διάβρωσης κατά την επαφή των μετάλλων εξαρτάται από το δυναμικό ανάμεσα στα δύο υλικά. Ένα παράδειγμα εμφάνισης γαλβανικής διάβρωσης είναι η διάβρωση του επιψευδαργυρωμένου χάλυβα (γαλβανιζέ λαμαρίνα) όταν δημιουργηθεί ρωγμή στην επιμετάλλωση. Στην περίπτωση αυτή το ευγενές υλικό είναι ο σίδηρος (Fe) που αποτελεί την κάθοδο και προστατεύεται σε σχέση με τον ηλεκτροθετικότερο ψευδάργυρο (Zn) που αποτελεί την άνοδος και διαβρώνεται. Γαλβανική διάβρωση χαλύβδινων συνδέσμων φαίνεται στην εικόνα 4.



Εικόνα 4. Γαλβανική διάβρωση σε διαφορετικά μέταλλα που βρίσκονται σε επαφή, (πηγή: [https://www.wikiwand.com/en/Galvanic corrosion](https://www.wikiwand.com/en/Galvanic%20corrosion)).

Σπηλαιώδης διάβρωση (*Cavitation Corrosion*)

Σπηλαιώδης διάβρωση, είναι το φαινόμενο κατά το οποίο σε ένα ή περισσότερα σημεία ενός σώματος ή επιφάνειας που βρίσκονται εντός υγρού, η τοπική στατική πίεση γίνεται μικρότερη από την τάση ατμών του υγρού που το περιβάλλει, με αποτέλεσμα τη δημιουργία φυσαλίδων. Αυτές, όταν μετατοπιστούν σε κάποιο άλλο σημείο υψηλότερης πίεσης, προσκρούουν στη μεταλλική επιφάνεια του εξαρτήματος (π.χ. έλικα) και διασπώνται προκαλώντας μικρορωγμές στη μεταλλική επιφάνεια, από την εκτίναξη θραυσμάτων. Μ' αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται κοιλότητες και προκαλείται φθορά του μετάλλου. Γενικά, όσο μεγαλύτερη σκληρότητα παρουσιάζει ένα μέταλλο τόσο πιο ανθεκτικό είναι σε αυτόν τον τύπο της διάβρωσης. Στην εικόνα 5 φαίνεται έλικα πλοίου που έχει υποστεί σπηλαιώδη διάβρωση.

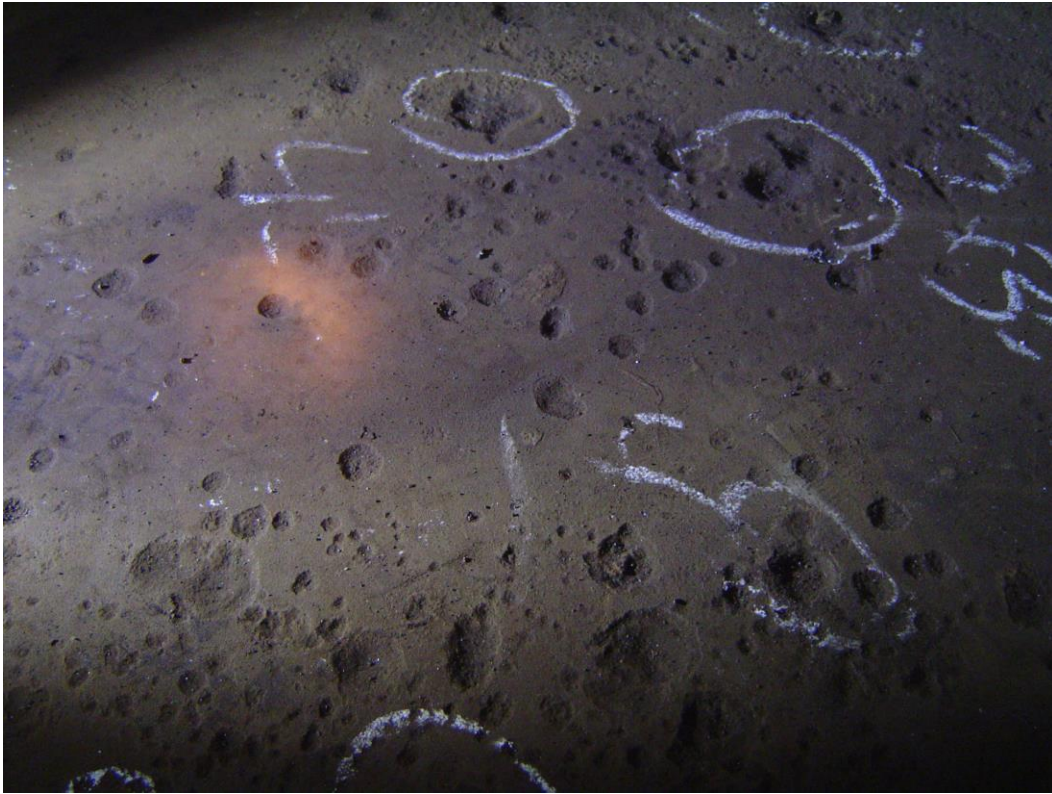


Εικόνα 5. Σπηλαιώδης διάβρωση σε έλικα πλοίου (πηγή: PES solutions 2014).

Μικροβιολογική διάβρωση (*Microbiological Corrosion*)

Η μικροβιολογική διάβρωση είναι πολύ δύσκολο να διακριθεί από τις άλλες μορφές διάβρωσης. Όλα τα μέταλλα μπορούν να υποστούν αυτό το είδος διάβρωσης ανεξαρτήτως των μηχανικών και χημικών ιδιοτήτων τους. Υπάρχουν δύο τύποι βακτηρίων που προκαλούν μικροβιολογική διάβρωση: τα οξεοπαραγωγά βακτήρια *APB* (*Acid Producing Bacteria*) και τα βακτήρια που ανάγουν τα θειικά άλατα *SRB* (*Sulfate Reducing Bacteria*). Οι παραπάνω κατηγορίες βακτηρίων συνήθως συνυπάρχουν στην επιφάνεια του χάλυβα δημιουργώντας οξέα και υδρόθειο. Για να συμβεί αυτός ο τύπος διάβρωσης θα πρέπει να επικρατούν κατάλληλες συνθήκες, όπως στάσιμα νερά, θειικά ιόντα διαλυμένα στο θαλασσινό νερό, κατάλληλη θερμοκρασία ανάπτυξης των μικροβίων (20 - 40°C) και κατάλληλο υπόστρωμα που ευνοεί την ανάπτυξη τους (αργό πετρέλαιο). Οι περιοχές που εμφανίζεται η μικροβιολογική διάβρωση είναι οι δεξαμενές φορτίου, οι δεξαμενές έρματος και οι σωληνώσεις φορτοεκφόρτωσης πετρελαίου. Οι ενδείξεις για την ύπαρξη βακτηριακής διάβρωσης σε αρχικό στάδιο είναι η ύπαρξη μαύρου στρώματος πάνω στην επιφάνεια του χάλυβα το οποίο απομακρύνεται εξαιτίας της οξείδωσης. Επιπρόσθετα, η χαρακτηριστική οσμή της σήψης που προέρχεται από το παραγόμενο υδρόθειο, καθώς και η δημιουργία οπών, είναι ενδείξεις βακτηριακής διάβρωσης (ABS 2017, Καρύδης 2002). Το αποτέλεσμα βακτηριακής διάβρωσης στα

εσωτερικά τοιχώματα δεξαμενής φορτίου φαίνονται στην εικόνα 6.



Εικόνα 6. Μικροβιολογική διάβρωση στο εσωτερικό δεξαμενής μεταφοράς πετρελαίου (πηγή: <https://echamicrobiology.com/knowledge-hub/common-problems/marine-corrosion>).

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

3.1 Εισαγωγή στις μεθόδους αντιδιαβρωτικής προστασίας

Βασικός στόχος των μεθόδων που θα αναφερθούν παρακάτω, είναι η προστασία της μεταλλικής κατασκευής από τη διάβρωση. Οι χαλύβδινες κατασκευές που βρίσκονται σε θαλάσσιο περιβάλλον μπορούν να προστατευτούν με τη χρήση κατάλληλων επιστρώσεων, οι οποίες ωστόσο έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής. Για να αποφευχθεί η φθορά τους, είναι αναγκαίο εκτός από την συντήρηση που γίνεται στα πλαίσια της τακτικής επιθεώρησης, να εφαρμόζονται και οι κατάλληλες μέθοδοι προστασίας τόσο κατά την φάση του σχεδιασμού όσο και κατά την διάρκεια της υπηρεσιακής λειτουργίας του πλοίου (Pedefferi *et al.* 2018).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι 4 βασικές μέθοδοι αντιδιαβρωτικής προστασίας:

- Πρόληψη κατά τη φάση του σχεδιασμού (*Design*)
- Μέθοδος επιβολής εξωτερικού ρεύματος (*ICCP*)
- Μέθοδος των θυσιαζόμενων ανόδων (*SACP*)
- Χρήση επικαλυπτικών αντιδιαβρωτικών επιστρώσεων (*Coatings*)

3.2 Σχεδιασμός και αντιδιαβρωτική προστασία

Στη συγκεκριμένη μέθοδο δίνεται έμφαση στην επιλογή του κατάλληλου μετάλλου που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή, λαμβάνοντας υπόψη την αντοχή του στη διάβρωση, το περιβάλλον και το κόστος, σε συνδυασμό με την αξιοπιστία και την ποιότητά του. Οι όροι αξιοπιστία και ποιότητα, αναφέρονται στο πόσο γρήγορα εμφανίζεται η διάβρωση στο υλικό.

Όλες οι κατασκευές έχουν κάποια χρονική διάρκεια λειτουργίας χωρίς κάποια ιδιαίτερη συντήρηση. Η αξιοπιστία της κατασκευής εξαρτάται από την επιλογή του κατάλληλου υλικού, την παρακολούθηση της εξέλιξης της διάβρωσης και τον έλεγχο κατά τη φάση του σχεδιασμού, της κατασκευής και της λειτουργίας της σε συνδυασμό με την κατάλληλη στρατηγική συντήρησης. Αξίζει να υιοθετηθεί ένα πρότυπο αξιοπιστίας το οποίο να αποσκοπεί στα βέλτιστα οικονομικά οφέλη, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος του υλικού, το κόστος των μέτρων πρόληψης έναντι της διάβρωσης στη φάση του σχεδιασμού αλλά και το κόστος διορθωτικών ενεργειών σε στοιχεία της κατασκευής που έχουν υποστεί διάβρωση (Pedefferi *et al.* 2018).

3.2.1 Επιλογή αξιόπιστης λύσης

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι πολλές διαφορετικές λύσεις είναι κατάλληλες για να διασφαλίζεται η αξιοπιστία σε μία κατασκευή. Το ερώτημα που τίθεται είναι ποια από όλες είναι η πιο αξιόπιστη, κατάλληλη και ταιριάζει καλύτερα στην κάθε κατασκευή. Μια επιλογή είναι μία οικονομική λύση η οποία συνοδεύεται από συστηματικές παρεμβάσεις που θα εξασφαλίζουν τη λειτουργικότητα της κατασκευής. Μια άλλη επιλογή αποτελεί ενός ακριβότερου και ανθεκτικότερου υλικού με σκοπό τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής χωρίς παρεμβάσεις. Η αλλαγή υλικού και οι παρεμβάσεις κατά τη διάρκεια λειτουργίας μιας κατασκευής δεν είναι πάντα εύκολη διαδικασία, γιατί απαιτείται τερματισμός κάποιων λειτουργιών, όπως για παράδειγμα στις σωληνώσεις εναλλάκτη θερμότητας. Επίσης, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα υλικά σε όλες τις κατασκευές. Η τελική επιλογή βασίζεται στην οικονομική προσέγγιση του κόστους κύκλου ζωής η οποία επιστρέφει την φθηνότερη αλλά ταυτόχρονα και την πιο αξιόπιστη επιλογή.

Μια διαφορετική ανάλυση προσεγγίζει πιθανοκρατικά το κόστος του κύκλου ζωής του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί έχοντας ως δεδομένο την πιθανότητα αναμενόμενης αστοχίας του. Τα δεδομένα της πιθανής αποτυχίας λαμβάνονται από τις αναμενόμενες πιθανές δαπάνες που θα συμβούν εξαιτίας της διάβρωσης και αντλώνται από εξειδικευμένους παρόχους (Pedefferri *et al.* 2018).

3.2.2 Πρόληψη στην φάση του σχεδιασμού

Η πρόληψη της διάβρωσης ξεκινά από τη σχεδίαση. Για την επιλογή της τελικής σχεδίασης είναι αναγκαίο να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράγοντες που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την επίδραση της διάβρωσης:

- Το περιβάλλον
- Η επιλογή του μεταλλικού υλικού
- Οι περιορισμοί κατασκευής και επαφής μεταξύ των μεταλλικών ελασμάτων

Όσον αφορά το περιβάλλον, όλα τα υλικά δεν αντιδρούν με τον ίδιο τρόπο σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία, η συγκέντρωση διαφόρων ουσιών και η περιεκτικότητα σε οξυγόνο είναι μερικοί από τους παράγοντες που καθορίζουν το αποτέλεσμα της επίδρασης της διάβρωσης στην κατασκευή. Οι τοπικές συνθήκες που επικρατούν σε συγκεκριμένα σημεία της κατασκευής, όπως η παρουσία λιμναζόντων υγρών καθώς και οι πιθανές επαφές μεταξύ των μετάλλων παρουσία ηλεκτρολύτη (υδατικό διάλυμα), είναι ικανές να διαβρώσουν τα μεταλλικά τμήματα του πλοίου ή άλλης θαλάσσιας κατασκευής (Pedefferri *et al.* 2018, Gruszka *et al.* 2020).

3.2.3 Επιλογή του κατάλληλου μεταλλικού υλικού

Η επιλογή του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή είναι ένας παράγοντας που σχετίζεται με την φάση του σχεδιασμού. Οι μηχανικοί επιλέγουν υλικά με μεγάλη αντοχή και ανθεκτικότητα όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε συνθήκες έντονης διάβρωσης. Αντίθετα, υπάρχουν τμήματα του πλοίου για τα οποία αυτό δεν είναι απαραίτητο και προτιμάται ένα πιο φθινό και με μικρότερη ανθεκτικότητα στη διάβρωση υλικό. Η επιλογή ενός μετάλλου ανθεκτικού στη διάβρωση καθορίζεται τόσο από τα βασικά όσο και από τα τεχνολογικά του χαρακτηριστικά. Ως βασικά κριτήρια επιλογής χρησιμοποιούνται όσα σχετίζονται με τις θεμελιώδεις αρχές διάβρωσης, δηλαδή θερμοδυναμικά και ηλεκτροχημικά, ενώ στη συνέχεια λαμβάνονται υπόψη χαρακτηριστικά που σχετίζονται με χαμηλό ρυθμό διάβρωσης. Στη μελέτη επιλογής υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται μία αναφορά στην οποία γίνεται αξιολόγηση των αντιδιαβρωτικών μεθόδων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν (π.χ. επιστρώσεις σε συνδυασμό με καθοδική ή ανοδική προστασία). Τα τεχνολογικά κριτήρια της αξιολόγησης θα πρέπει να βασίζονται σε διεθνή πρότυπα όπως τα *ISO* και *NACE* ή αντίστοιχα πρότυπα εξειδικευμένων εταιριών. Τα πρότυπα αυτά παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις προδιαγραφές των υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Εκτός από τα παραπάνω, για τη τελική επιλογή υλικού λαμβάνονται υπόψη οι μηχανικές, θερμικές και ηλεκτρικές ιδιότητες καθώς και η συγκολλητότητα του υλικού. Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας αφορά μια οικονομική εκτίμηση του κόστους επιλογής (Pedefferi *et al.* 2018).

3.2.4 Χαρακτηριστικά μετάλλων που χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική βιομηχανία

Οι ανθρακούχοι και οι μικροκραματωμένοι χάλυβες είναι τα πλέον χρησιμοποιημένα μέταλλα στην ναυπηγική, εξαιτίας του χαμηλού κόστους, της μηχανικής αντοχής και των λοιπών μηχανικών ιδιοτήτων τους (συμπεριφορά σε εφελκυσμό, θλίψη, διάτμηση). Το κόστος του χάλυβα για ναυπηγικές κατασκευές είναι μικρότερο από το κόστος άλλων μετάλλων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον ίδιο σκοπό. Π.χ. ο ψευδάργυρος έχει διπλάσιο κόστος από το ναυπηγικό χάλυβα, το αλουμίνιο και ο μόλυβδος τετραπλάσιο, ο χαλκός δεκαπλάσιο, το χρώμιο εικοσαπλάσιο, το τιτάνιο και τα κράματα νικελίου τριακονταπλάσιο (Pedefferi *et al.* 2018). Επίσης, οι χάλυβες έχουν το πλεονέκτημα της εύκολης μετατροπής τους σε κράματα με κατάλληλες θερμικές επεξεργασίες. Οι χάλυβες παρουσιάζουν προβλήματα ρωγμών όταν οι θερμοκρασίες υπερβαίνουν τους 70°C σε διαλύματα που περιέχουν καυστικά αλκάλια. Οι ανοξείδωτοι χάλυβες αποτελούν κράματα με τη μεγαλύτερη αξιοπιστία,

ανθεκτικότητα και ασφάλεια, για αυτό χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλους τους τομείς της βιομηχανίας όπως στην ενέργεια, τις μεταφορές και σε ιατρικές εφαρμογές. Η αντοχή τους βασίζεται στο παθητικό συνεκτικό στρώμα οξειδίου που σχηματίζει το χρώμιο στην επιφάνεια του μετάλλου όταν αντιδρά με το οξυγόνο. Το λεπτό αυτό στρώμα αυτή εμποδίζει τη διέλευση του οξυγόνου και άλλων διαβρωτικών στοιχείων που θα μπορούσαν να προσβάλουν το μέταλλο.

Το χρώμιο είναι το βασικό συστατικό για να διατηρήσει ο χάλυβας την αντιδιαβρωτική του ικανότητα. Η ελάχιστη περιεκτικότητα σε χρώμιο είναι 11% σε συνήθεις συνθήκες. Για μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση η περιεκτικότητα σε χρώμιο κυμαίνεται γύρω στο 18% και αφορά το μεγαλύτερο ποσοστό των χαλύβων που χρησιμοποιούνται στις βιομηχανικές κατασκευές. Για ακόμη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα χρησιμοποιείται ακόμα μεγαλύτερο ποσοστό χρωμίου σε συνδυασμό με μολυβδένιο. Η προσθήκη νικελίου σε ποσοστό 8-10% προσδίδει επιπλέον αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες ενισχύοντας την ολκιμότητα και παράλληλα την αντοχή στη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες.

Τα κράματα νικελίου χρησιμοποιούνται ευρέως στην βιομηχανία εξαιτίας της ιδιότητας τους να συνδυάζουν υψηλή ολκιμότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με υψηλή αντοχή στη διάβρωση.

Τα κράματα αλουμινίου εμφανίζουν αντοχή στην διάβρωση σε τιμές pH μεταξύ 4 και 9, καθώς στις συνθήκες αυτές σχηματίζεται μία προστατευτική μεμβράνη οξειδίου του μετάλλου, η οποία λειτουργεί ως φράγμα και παρεμποδίζει τη μεταφορά ηλεκτρονίων. Ωστόσο, η μεμβράνη αυτή σε όξινο και αλκαλικό περιβάλλον καταστρέφεται και σχηματίζονται ουσίες οι οποίες ευνοούν τη διάβρωση αν παραμείνουν προσκολλημένες στην επιφάνεια του μετάλλου.

Τα κράματα χαλκού παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στη διάβρωση επειδή παραμένουν παθητικά και έτσι προστατεύονται. Ο χαλκός και ο ορείχαλκος χρησιμοποιούνται σε όξινο, ουδέτερο ή αλκαλικό περιβάλλον. Για την επιλογή του μετάλλου σε περιβάλλοντα με υψηλή παρουσία ιόντων χλωρίου, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συνθήκες οξύτητας του περιβάλλοντος, δηλαδή αν είναι $pH \geq 7$ ή $pH < 7$. Σε περιπτώσεις στις οποίες το pH είναι μεγαλύτερο ή ίσο του 7 πρέπει να χρησιμοποιείται ανοξειδωτος χάλυβας με κατάλληλο αριθμό *PREN* (*pitting resistance equivalent number*). Για υψηλή περιεκτικότητα ιόντων χλωρίου τα κράματα χαλκού και τιτανίου είναι τα πλέον κατάλληλα. Σε τιμές pH μικρότερες από 7 (όξινο περιβάλλον) χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα ανθεκτικά κράματα (Pedefferi *et al.* 2018).

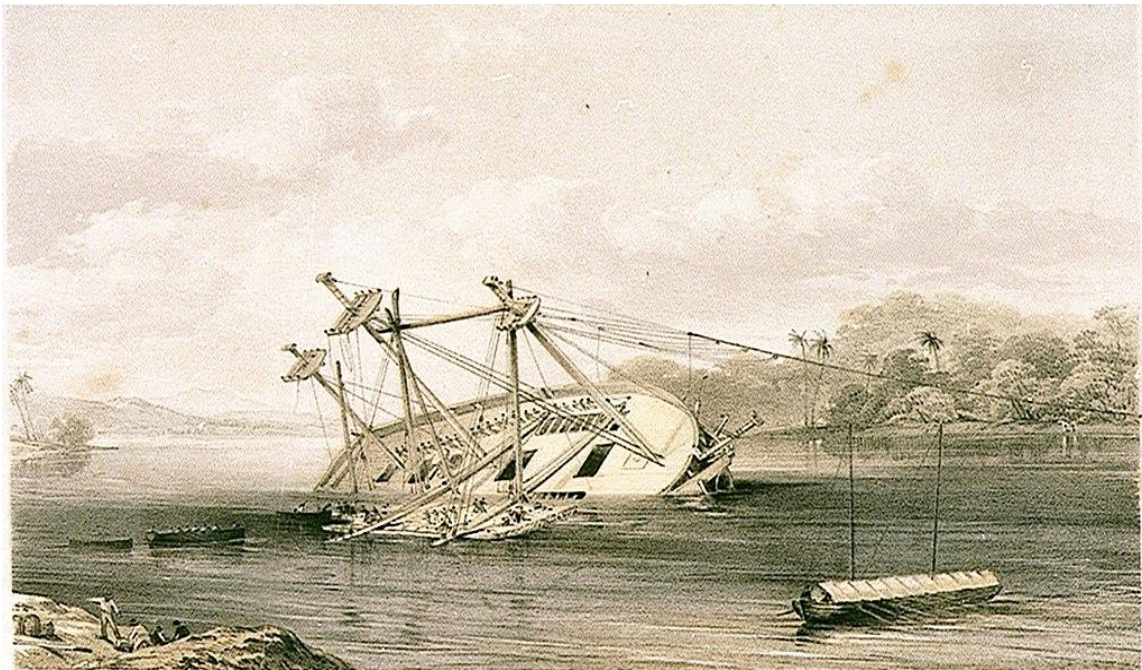
3.3 Καθοδική προστασία

Η καθοδική προστασία είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης της διάβρωσης, που χρησιμοποιείται ευρέως στη ναυπηγική και μπορεί να περιορίσει όλους τους τύπους διάβρωσης. Πρόκειται για μία ηλεκτροχημική μέθοδο η οποία χρησιμοποιείται για να αποτρέψει τη διάβρωση της μεταλλικής κατασκευής μέσω της παραγωγής συνεχούς καθοδικού ρεύματος που παρέχεται από κατάλληλο σύστημα (Schmid 1999).

Η καθοδική προστασία αναφέρθηκε για πρώτη φορά από τον *Sir Humphry Davy* το 1824 στο Λονδίνο, όταν του ζητήθηκαν οι συμβουλές του από το Βασιλικό Ναυτικό σχετικά με τη διάβρωση των φύλλων χαλκού που χρησιμοποιούνταν για επένδυση στο ξύλινο σκαρί πολεμικών πλοίων. Πίστευε ότι οι «δυνάμεις χημικής αντίδρασης» μπορούν να μειωθούν ή να αυξηθούν με την αλλαγή της «ηλεκτρικής κατάστασης» του υλικού. Τα υλικά μπορούν να συνδυαστούν μόνο αν έχουν διαφορετικά ηλεκτρικά φορτία. Ένα «θετικό» υλικό μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε «αρνητικό» και το αντίστροφο. Ο *Davy* διαπίστωσε ότι η διάβρωση του χαλκού από το θαλασσινό νερό θα μπορούσε να αποτραπεί εάν το μέταλλο ήταν «αρνητικά φορτισμένο». Για να το εξηγήσει αυτό πραγματοποίησε σειρά πειραμάτων βυθίζοντας φύλλα χαλκού σε θαλασσινό νερό. Σε ορισμένα από αυτά είχαν συνδεθεί ελάσματα κασσιτέρου ενώ σε κάποια όχι. Αυτό που παρατήρησε ήταν ότι προστατεύονταν από τη διάβρωση μόνο τα φύλλα του χαλκού που βρίσκονταν σε επαφή με κασσίτερο ενώ τα υπόλοιπα διαβρώνονταν σε μεγάλο βαθμό. Τα αποτελέσματα στάλθηκαν στο Βασιλικό Ναυτικό από όπου πήρε έγκριση για τη συνέχιση των πειραμάτων επένδυσης χαλκού στα πολεμικά πλοία. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στη ναυτική βάση του *Portsmouth*. Ο *Davy* προσάρμοσε πλάκες ψευδαργύρου και χυτοσιδήρου για προστασία από τη διάβρωση. Πλάκες χυτοσιδήρου με πάχος 5 cm και μήκος 60 cm έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε εννέα πλοία. Η πρώτη εγκατάσταση έγινε στη φρεγάτα *Samarang* το 1824 (εικόνα 7). Άνοδοι ψευδαργύρου τοποθετήθηκαν και κατόπιν το πλοίο ταξίδεψε για τον Καναδά και επέστρεψε ένα χρόνο μετά. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρυντικά, εκτός από κάποια φθορά που εντοπίστηκε στην πρύμνη του πλοίου και αποδόθηκε σε άλλους παράγοντες (Bohnes *et al.* 1997, Ashworth 2010).

Μετά το θάνατο του *Davy* το 1829 οι έρευνες συνεχίστηκαν από το μαθητή του *Faraday*, ο οποίος διαπίστωσε ότι ο χυτοσίδηρος διαβρώνεται γρηγορότερα κοντά στην επιφάνεια του θαλασσινού νερού από ότι βαθύτερα. Το 1834 ανακάλυψε μια ποσοτική σχέση μεταξύ της μάζας του μετάλλου που χάνεται εξαιτίας της διάβρωσης και του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει. Το 1890 ο *T. Edison* ασχολήθηκε με την εφαρμογή καθοδικής προστασίας με τη χρήση εξωτερικής πηγής ρεύματος, όμως οι προσπάθειες του απέτυχαν εξαιτίας της έλλειψης κατάλληλης εξωτερικής πηγής ρεύματος και

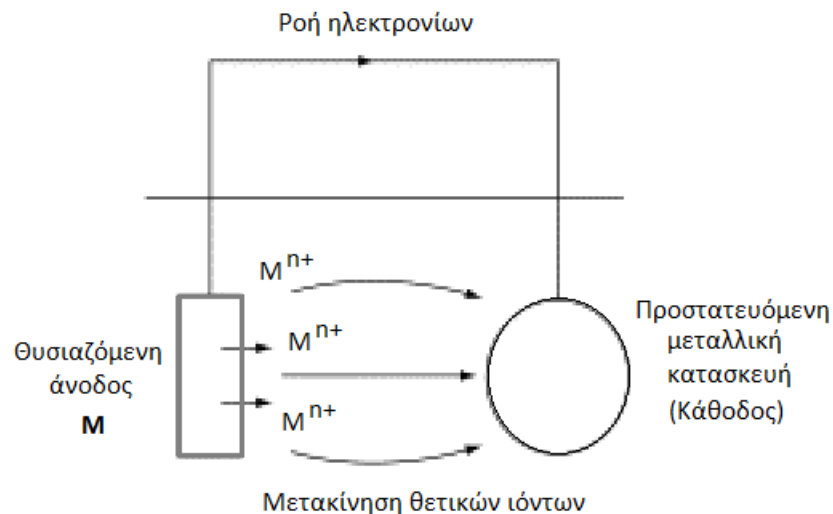
ανόδων. Το 1902, ο *K. Cohen* εφάρμοσε επιτυχώς καθοδική προστασία χρησιμοποιώντας εξωτερικά επιβαλλόμενο ρεύμα. Ο διευθυντής αστικών έργων στην Καρλσρούη, *H. Gerrert*, κατασκεύασε την πρώτη εγκατάσταση καθοδικής προστασίας για αγωγούς το 1906. Αυτή ήταν μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος χωρητικότητας 10 V, 12 A, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την προστασία αγωγών φυσικού αερίου και νερού μήκους 300 m, εντός του ηλεκτρικού πεδίου μιας γραμμής του τραμ.



Εικόνα 7. Η φρεγάτα *HMS Samarang* το 1848 στο στάδιο εκτέλεσης εργασιών συντήρησης (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/HMS_Samarang_\(1822\)](https://en.wikipedia.org/wiki/HMS_Samarang_(1822))).

Μία σημαντική εξέλιξη σχετικά με την καθοδική προστασία έγινε το 1945 στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής όταν η μέθοδος καθιερώθηκε εξαιτίας των αυξημένων αναγκών της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου που οδήγησαν στη δημιουργία λεπτών υπόγειων σωληνώσεων από χάλυβα για τη μεταφορά πετρελαίου και φυσικού αερίου. Οι σωληνώσεις αυτές προστατεύονταν από τη διάβρωση με τη βοήθεια θυσιαζόμενων ανόδων. Μέχρι το 1950 δεν χρησιμοποιούνταν ευρέως στις σωληνώσεις η μέθοδος της καθοδικής προστασίας, έως ότου το 1952 εγκαταστάθηκε ένα σύστημα καθοδικής προστασίας ενός δικτύου καυσίμων μήκους 1000 m. Η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως σε πλωτές κατασκευές. Τέλος, η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνη της, χωρίς να υπάρχει επίστρωση στην επιφάνεια που πρόκειται να προστατευθεί, είτε σε συνδυασμό με προστατευτική επίστρωση, οπότε έχει καλύτερο αποτέλεσμα και η κατασκευή προστατεύεται αποτελεσματικότερα (Bushman 2013, Francis 2020).

Οι τεχνικές της καθοδικής προστασίας εφαρμόζονται σε περιβάλλον που περιέχει ηλεκτρολύτες όπως νερό, έδαφος και άλλα. Κατασκευές στις οποίες συναντάται τέτοιο περιβάλλον αποτελούν τα λιμάνια, τα πλοία, οι προβλήτες, οι δεξαμενές πετρελαίου, τα φράγματα και οι γέφυρες. Στην καθοδική προστασία τα ηλεκτρόνια που παράγονται εξωτερικά μέσω κατάλληλης πηγής έχουν ως στόχο τη μετατροπή του υπό προστασία μετάλλου σε κάθοδο. Όταν τα ηλεκτρόνια παρέχονται από εξωτερική μονάδα τότε σταματούν να παράγονται στις περιοχές ανοδικής δράσης, ενισχύοντας ταυτόχρονα την καθοδική δράση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προστατεύεται η μεταλλική επιφάνεια στις καθοδικές περιοχές από τη μη παραγωγή ηλεκτρονίων στις περιοχές ανοδικής δράσης. Υπάρχουν δύο μέθοδοι καθοδικής προστασίας της γάστρας και της υπόλοιπης μεταλλικής κατασκευής του πλοίου: α) η χρήση θυσιαζόμενων ανόδων (*sacrificial anodes*) και β) η τεχνική επιβαλλόμενου ρεύματος (*impressed current*). Στην πρώτη περίπτωση, η επιφάνεια της μεταλλικής κατασκευής συνδέεται με ένα μέταλλο ανοδικότερο από αυτό της κατασκευής, όπως φαίνεται στο σχήμα 9, με αποτέλεσμα το τελευταίο να καταναλώνεται και να προστατεύεται η επιφάνεια του μετάλλου της κατασκευής. Στη δεύτερη περίπτωση, το εξωτερικά επιβαλλόμενο ρεύμα παρέχεται από μια πηγή συνεχούς ρεύματος (Pedefferri *et al.* 2018).



Σχήμα 9. Σχηματική απεικόνιση διάταξης καθοδικής προστασίας.

3.4 Καθοδική προστασία μέσω θυσιαζόμενων ανόδων (SACP)

Στη συγκεκριμένη μέθοδο τοποθετούνται στην εξωτερική επιφάνεια του πλοίου ανοδικότερα μέταλλα από αυτά της γάστρας. Τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται συνήθως ως ανόδια είναι ο ψευδάργυρος, το μαγνήσιο και το αλουμίνιο τα οποία είναι

πιο ηλεκτροθετικά (ανοδικότερα) από το χάλυβα ή το σίδηρο (καθοδικότερος) που χρησιμοποιείται για την κατασκευή της γάστρας του πλοίου. Η σύνδεση των δύο μετάλλων έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ηλεκτροχημικού στοιχείου στο οποίο λαμβάνει χώρα διάβρωση του ηλεκτροθετικότερου μετάλλου (άνοδος) και αντιδιαβρωτική προστασία του ευγενέστερου (κάθοδος). Έτσι, τα ανόδια του ψευδαργύρου, αλουμινίου ή μαγνησίου τα οποία είναι πιο ηλεκτροθετικά προκαλούν ροή ρεύματος προς την κατασκευή του πλοίου μετατρέποντας τη σε κάθοδο. Οι άνοδοι ονομάζονται θυσιαζόμενες επειδή το υλικό τους καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της παρεχόμενης καθοδικής προστασίας. Τα ανόδια αποβάλλοντας ηλεκτρόνια σχηματίζουν ιόντα τα οποία, αντιδρώντας με το οξυγόνο και το θαλασσινό νερό, οδηγούν στη διάβρωση του υλικού της θυσιαζόμενης ανόδου, ενώ αντίθετα το μέταλλο της κατασκευής απορροφά ηλεκτρόνια και προστατεύεται από τη διάβρωση (κάθοδος). Η επιλογή του κατάλληλου ανοδίου εξαρτάται από οικονομικούς και μηχανικούς περιορισμούς. Ένα ποσοστό των θυσιαζόμενων ανοδίων, της τάξης του 20 – 30%, εγκαθίσταται στην πρύμνη και το πηδάλιο του πλοίου (εικόνα 8). Το μέταλλο που χρησιμοποιείται ως άνοδος επηρεάζει άμεσα το ρυθμό και την έκταση της διάβρωσης και κατ' επέκταση την ποσότητα ρεύματος που απαιτείται για αντιδιαβρωτική προστασία. Οι άνοδοι πρέπει να επιθεωρούνται περιοδικά και να αντικαθίστανται (Jotun 2001).



Εικόνα 8. Θυσιαζόμενα ανόδια τοποθετημένα στην γάστρα και στο πηδάλιο πλοίου (πηγή: <https://el.wiktionary.org/wiki/%CF%80%CE%B7%CE%B4%CE%AC%CE%BB%CE%B9%CE%BF>).

3.4.1 Τύποι θυσιαζόμενων ανόδων

Άνοδοι ψευδαργύρου

Το διαβρωτικό περιβάλλον επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την επιτυχία η όχι του συστήματος αντιδιαβρωτικής προστασίας που εφαρμόζεται σε αυτή τη μέθοδο. Η περιεκτικότητα σε σίδηρο είναι μία βασική παράμετρος που καθορίζει την απόδοση των ανόδων ψευδαργύρου. Όταν η περιεκτικότητα σε σίδηρο είναι μεγαλύτερη από 0,005% σχηματίζεται ένα λεπτό στρώμα με μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση στην επιφάνεια του σιδήρου και η προστασία είναι ανεπαρκής. Έτσι ορίζεται το όριο περιεκτικότητας σε σίδηρο 0,005%. Αξίζει να σημειωθεί ότι η προσθήκη 0,5 – 1% αλουμινίου ενισχύει την απόδοση της ανόδου. Σε θαλασσινό νερό με την αύξηση της θερμοκρασίας έχουμε μείωση της απόδοσης της ανόδου, ενώ το δυναμικό της ανόδου αυξάνεται. Πλεονέκτημα του ψευδαργύρου ως υλικού κατασκευής θυσιαζόμενων ανόδων θεωρείται η υψηλή απόδοση και η μεγάλη διάρκεια ζωής του (Υφαντής 2002).

Άνοδοι μαγνησίου

Το μαγνήσιο χρησιμοποιείται για την προστασία οικιακών συσκευών παραγωγής νερού (ηλιακοί θερμοσίφωνες), σε δεξαμενές αποθήκευσης νερού αλλά και σε δομές που βρίσκονται κάτω από το έδαφος. Ο συγκεκριμένος τύπος ανόδου δε χρησιμοποιείται σε θαλασσινό νερό εξαιτίας της μεγάλης έκτασης διάβρωσης που παρουσιάζει στο συγκεκριμένο περιβάλλον. Ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υφάλμυρο ή γλυκό νερό σε περιπτώσεις που απαιτείται υψηλή τάση για να παραχθεί το απαιτούμενο ρεύμα για την καθοδική προστασία. Το πλεονέκτημα του μαγνησίου είναι ότι έχει υψηλό ηλεκτρικό δυναμικό σε σχέση με άλλες ανόδους. Μειονέκτημά του είναι ο χαμηλός βαθμός κατανάλωσης, που είναι περίπου 50%. Αυτός ο χαμηλός βαθμός απόδοσης οδήγησε στη δημιουργία μεγαλύτερης απόδοσης κραμάτων Mg με 6% Al και 3% Zn. Οι άνοδοι μαγνησίου εξαιτίας των αρνητικών δυναμικών που παράγουν μπορούν να προκαλέσουν φθορές στην επιφάνεια της επίστρωσης που τοποθετούνται. Τέλος, η αντικατάσταση των ανόδων πρέπει να γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα από ίδιες ανόδους σε μέγεθος και τύπο (Υφαντής 2002).

Άνοδοι αλουμινίου

Το αλουμίνιο αποτελεί μια άλλη επιλογή εκτός από τον ψευδάργυρο και το μαγνήσιο. Η θέση του στην ηλεκτροχημική σειρά βρίσκεται ανάμεσα στα δύο παραπάνω μέταλλα. Χρησιμοποιείται συνήθως για την προστασία κατασκευών που βρίσκονται σε θαλάσσιο περιβάλλον. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο καθαρό αλουμίνιο σχηματίζεται ένα επιφανειακό στρώμα από οξείδιο που εμποδίζει την ομοιόμορφη ροή του ρεύματος. Αυτό έχει ως συνέπεια να χρησιμοποιούνται ειδικά κράματα για την κατασκευή ανόδων

από αλουμίνιο. Το βασικό πλεονέκτημα του αλουμινίου είναι ο βαθμός απόδοσης του ο οποίος αγγίζει το 80% και η μεγάλη διάρκεια ζωής του. Αντίθετα, σαν μειονέκτημα μπορεί να θεωρηθεί η χαμηλή τιμή ηλεκτρικής τάση που μπορεί να παρέχει (Υφαντής 2002).

3.4.2 Σύνδεση ανόδου με την κατασκευή

Η ηλεκτρική σύνδεση της ανόδου με την κατασκευή είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία που πρέπει να πραγματοποιείται πολύ προσεκτικά. Όταν οι άνοδοι συνδέονται απευθείας με την κατασκευή, η σύνδεση επιτυγχάνεται με συστήματα στερέωσης (άμεσα συγκολλημένες ή βιδωμένες στην δομή), ενώ όταν οι άνοδοι δεν συνδέονται απευθείας με την κατασκευή η σύνδεση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός μονωμένου καλωδίου χαλκού. Το καλώδιο αυτό είτε προσκολλάται απευθείας στον πυρήνα του ανοδίου είτε χυτεύεται εσωτερικά κατά την κατασκευή του. Η σύνδεση κατασκευής καλωδίου γίνεται με συγκόλληση και με τη βοήθεια κατάλληλων σφιγκτήρων για να εξασφαλιστεί καλή ηλεκτρική σύνδεση με την κατασκευή (USDOD 2019).

3.4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης θυσιαζόμενων ανόδων

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση ανόδων είναι πολλαπλά:

- Απλή και οικονομική εγκατάσταση
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας
- Εύκολη διαθεσιμότητα
- Μη εξάρτηση από εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Μικρή πιθανότητα ηλεκτρικών παρεμβολών σε γειτονικές δομές
- Μεγάλο ποσοστό παρεχόμενης προστασίας (80% - 90%)
- Εύκολη εφαρμογή σε πολύπλοκα δίκτυα.

Τα μειονεκτήματα της χρήσης των ανόδων είναι τα εξής:

- Μικρό ρεύμα εξόδου σε ηλεκτρολύτες υψηλής αντίστασης
- Μεγάλος αριθμός ανόδων σε γυμνές δομές που είναι ασύμφορος
- Πολλαπλή εφαρμογή ανόδων λόγω της μικρής εμβέλειας προστασίας
- Μείωση της έντασης ρεύματος λόγω φθοράς των ανόδων με την πάροδο του χρόνου
- Ύπαρξη μεταβολών στη δομή, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε νέα μελέτη και εγκατάσταση νέων ανόδων για να διατηρηθεί η προστασία
- Τα κατάλοιπα των ανόδων αποτελούν πηγή ρύπανσης και είναι ακατάλληλα για δίκτυα πόσιμου νερού (USDOD 2019, Jotun 2001).

3.4.4 Υπολογισμός ρεύματος, ηλεκτρικής αντίστασης και βάρους ανόδων

Για το σχεδιασμό ενός συστήματος καθοδικής προστασίας είναι αναγκαίο να υπολογίζονται ο αριθμός των ανόδων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν καθώς και οι θέσεις αυτών πάνω στην κατασκευή. Οι υπολογισμοί αυτοί εκτελούνται λαμβάνοντας υπόψη τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Την περιοχή που πρόκειται να προστατευθεί
- Το ποσοστό φθοράς της επικάλυψης
- Τη μέση πυκνότητα ρεύματος
- Τη διάρκεια ζωής της προστασίας
- Το ρυθμό κατανάλωσης της ανόδου

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Για να υπολογιστεί η ένταση του ρεύματος καθοδικής προστασίας θα πρέπει να είναι γνωστή η βρεχόμενη επιφάνεια της μεταλλικής κατασκευής που πρόκειται να προστατευτεί. Για την επιφάνεια, αυτή η χρησιμοποιούνται διάφορες προσεγγιστικές σχέσεις, όπως η (1).

$$S = (1.8 \times L_{BP} \times D) + (L_{BP} \times C_b \times B) \quad (1)$$

όπου:

S = εμβαδόν επιφάνειας (σε m^2)

L_{BP} = μήκος μεταξύ καθέτων

D = βύθισμα

C_b = συντελεστής γάστρας

B = πλάτος εξάλων

Στον πίνακα 1 δίνονται τυπικοί συντελεστές γάστρας για διάφορα πλοία (Υφαντής 2002).

Το απαιτούμενο ρεύμα I (σε A) δίνεται από τη σχέση (2).

$$I = S \cdot Z_b \quad (2)$$

όπου:

S = εμβαδόν επιφάνειας (σε m^2)

Z_b = πυκνότητα ρεύματος (σε A/m^2)

Πίνακας 1: Συντελεστές γάστρας C_b για διάφορους τύπους πλοίων.

Τύπος πλοίου	Συντελεστής γάστρας
Επιβατηγά πλοία	0,6
Φορτηγά πλοία	0,75
Μηχανότρατες	0,55
Σκάφη αναψυχής	0,4-0,5
Ρυμουλκά	0,6
Βυθόκοροι	0,8
Τάνκερ	0,8-0,9
Πολεμικά πλοία	0,55

ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ ΑΝΟΔΟΥ

Η ένταση ρεύματος I δίνεται από τον νόμο του *Ohm*:

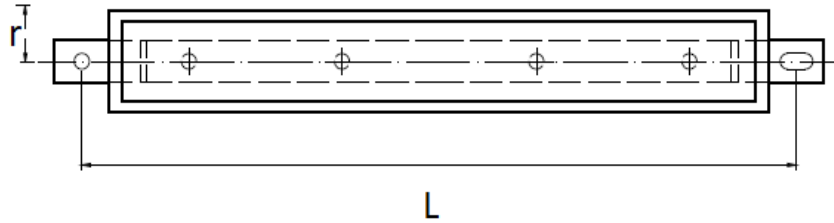
$$I = \frac{\Delta V}{R} \quad (3)$$

ΔV = διαφορά δυναμικού (σε *Volt*), μεταξύ του δυναμικού προστασίας του χάλυβα και του δυναμικού της ανόδου στο θαλασσινό νερό.

R = Αντίσταση της ανόδου (σε Ω).

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΝΟΔΟΥ (French Standard 2012, Tezdogan *et al.* 2014)

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας τυπικής ανόδου κυλινδρικού σχήματος φαίνονται στο σχήμα 10.



Σχήμα 10. Τυπική άνοδος κυκλινδρικού σχήματος
(πηγή: http://wilsonwaltoninternational.com/site/wp-content/uploads/2019/07/0219_mtsa_ww.pdf).

Για λεπτές ανόδους με μήκος $L \geq 4r$ η αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \times \left[\ln \left(\frac{4L}{r} \right) - 1 \right] \quad (4)$$

Για $L < 4r$ η αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \times \left\{ \ln \left[\frac{2L}{r} \times \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L} \right)^2} \right) \right] + \frac{r}{2L} - \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L} \right)^2} \right\} \quad (5)$$

Για μακριά επίπεδη πλάκα με μήκος $L \geq 4 \times$ πλάτος, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$R = \frac{\rho}{2S} \quad (6)$$

Για κοντή επίπεδη πλάκα, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$R = 0.315 \times \frac{\rho}{\sqrt{S}} \quad (7)$$

Στις παραπάνω σχέσεις είναι:

R = αντίσταση ανόδου (σε Ω)

ρ = ειδική αντίσταση (σε $\Omega \cdot m$)

L = μήκος ανόδου (σε m)

r = ακτίνα ανόδου (σε m)

S = η εκτεθειμένη επιφάνεια ανόδου (σε m^2)

Διάρκεια ζωής ανόδου

Η διάρκεια ζωής της ανόδου υπολογίζεται από τη σχέση 8 (French Standard 2012, Υφαντής 2003, Tezdogan *et al.* 2014):

$$T = \frac{w \cdot u}{E \cdot I} \quad (8)$$

όπου:

T = διάρκεια ζωής της ανόδου σε χρόνια (σε έτη)

w = μάζα της ανόδου (σε kg)

u = συντελεστής απόδοσης της ανόδου

E = ρυθμός κατανάλωσης της ανόδου (σε $kg/A \cdot y$)

I = μέσος όρος ρεύματος εξόδου της ανόδου κατά την διάρκεια ζωής της (σε A)

Συνολική μάζα ανόδων

Η συνολική μάζα των ανόδων του συστήματος για να διατηρηθεί η καθοδική προστασία δίνεται από τον τύπο:

$$W_{ολ} = \frac{I \cdot T \cdot 8760}{Q \cdot u} \quad (9)$$

όπου,

$W_{ολ}$ = συνολική μάζα του υλικού της ανόδου (kg)

I = συνολικό ρεύμα που απαιτείται (A)

T = διάρκεια ζωής για το σύστημα της ανόδου σε χρόνια (y)

Q = ηλεκτροχημική απόδοση του υλικού ανόδου (Ah/kg)

u = συντελεστής απόδοσης της ανόδου

8760 = ο αριθμός των ωρών ενός έτους.

Αριθμός των ανόδων

Ο αριθμός των ανόδων δίνεται από τον τύπο:

$$N = \frac{W_{ολ}}{w} \quad (10)$$

όπου:

$W_{ολ}$ = η συνολική μάζα του υλικού της ανόδου (σε *kg*)

w = η μάζα κάθε ανόδου (σε *kg*).

Η τοποθέτηση των ανόδων στα διάφορα σημεία του πλοίου, θα πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα τμήματα του, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η συνολική αντιδιαβρωτική προστασία της γάστρας. Γι' αυτό, με κατάλληλους υπολογισμούς προσδιορίζεται η θέση των ανόδων κατά μήκος του πλοίου.

Η αποτελεσματική προστασία επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση πολλών μικρών ανόδων κατά μήκος της γάστρας με τον ακόλουθο τρόπο: Ένα ποσοστό 20 – 30% τοποθετούνται στην πρύμνη του πλοίου και στο πηδάλιο. Οι υπόλοιπες άνοδοι κατανέμονται κατάλληλα στην πλώρη και στο κεντρικό τμήμα του πλοίου κατά μήκος των γραμμών ροής. Οι άνοδοι πρέπει να απέχουν ομοιόμορφα μεταξύ τους ή ταξινομούνται σε διαμήκεις ομάδες. Στην περίπτωση της ομαδοποίησης των ανόδων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αναμενόμενη μείωση του ρεύματος εξόδου της ανόδου. Επίσης, οι άνοδοι δεν πρέπει να τοποθετούνται κοντά σε περιοχές που είναι πιθανό να προκληθεί βλάβη από την κίνηση της αλυσίδα της άγκυρας.

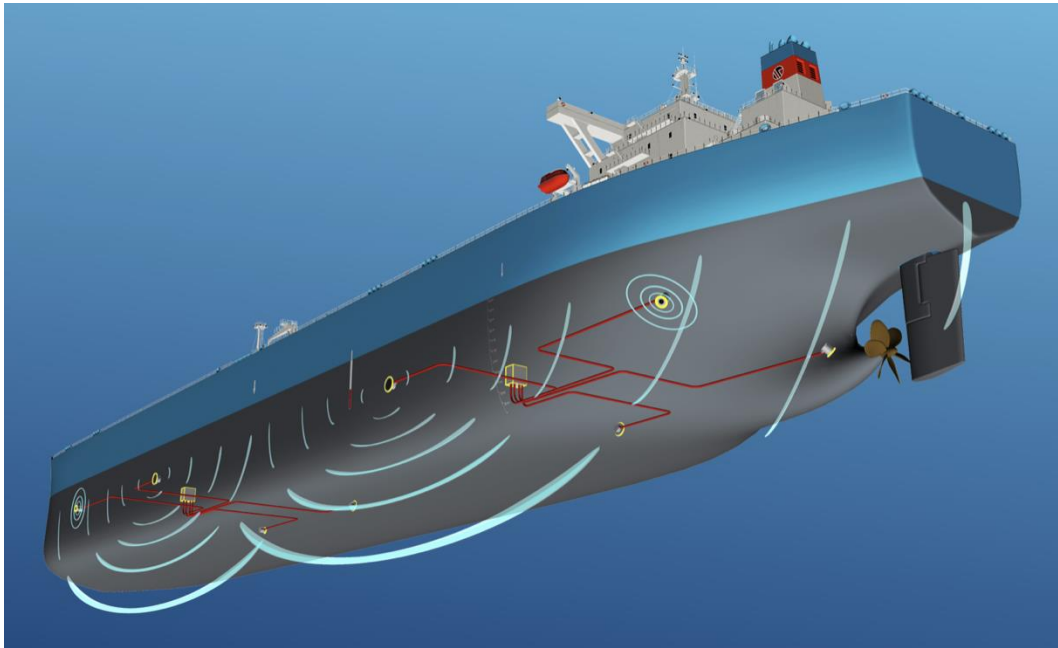
Στο κεντρικό τμήμα του πλοίου όταν υπάρχουν παρατροπίδια οι άνοδοι τοποθετούνται σε μία από τις δύο πλευρές του. Οι άνοδοι δεν πρέπει να προσκολλώνται στο επίπεδο του πυθμένα και απευθείας στο περίβλημα του πλοίου χωρίς τα κατάλληλα ενισχυτικά. Στην πρύμνη οι άνοδοι που τοποθετούνται κοντά στην περιοχή του άξονα της έλικας, δεν πρέπει να επηρεάζουν σε καμία περίπτωση τη λειτουργία της έλικας. Στο πηδάλιο τοποθετούνται θυσιαζόμενες άνοδοι αμφοτερόπλευρα και στο επίπεδο του άξονα της έλικας ή πάνω και κάτω από τα πτερύγια της έλικας (French Standard 2012, Υφαντής 2003, Tezdogan *et al.* 2014).

3.5 Καθοδική προστασία με χρήση εξωτερικά επιβαλλόμενου ρεύματος (ICCP)

Τα συστήματα επιβολής εξωτερικού ρεύματος, όπως και αυτά των θυσιαζόμενων ανόδων παρέχουν ρεύμα για την προστασία της δομής. Σχηματική αναπαράσταση της

παρεχόμενης καθοδικής προστασίας με τη μέθοδο αυτή δίνεται στο σχήμα 11. Στη μέθοδο αυτή το ρεύμα παρέχεται από έναν ανορθωτή ή μία πηγή συνεχούς ρεύματος. Ένα σύστημα ICCP (*Impressed current cathodic protection*) αποτελείται από την πηγή τροφοδοσίας, την άνοδο, ηλεκτρόδια αναφοράς, το ηλεκτρολυτικό περιβάλλον και τη δομή που πρόκειται να προστατευτεί. Η πηγή τροφοδοσίας παράγει το ρεύμα το οποίο μεταφέρεται από την άνοδο στη δομή, φορτίζοντας την αρνητικά και οδηγώντας σε μείωση του δυναμικού της. Η τιμή αυτή για την προστασία του χάλυβα είναι της τάξης του -1 V . Το σύστημα για να είναι σε θέση να πολώσει το βυθισμένο χάλυβα και όχι τμήμα του, θα πρέπει να έχει δυναμικό από -800 έως -1100 mV έναντι του ηλεκτροδίου Ag/AgCl και να διατηρείται το δυναμικό αυτό σταθερό καθόλη τη διάρκεια εφαρμογής του συστήματος επιβολής εξωτερικού ρεύματος.

Η άνοδος συνδέεται με το θετικό πόλο της πηγής και η υπό προστασία κατασκευή με τον αρνητικό. Ως άνοδοι χρησιμοποιούνται υλικά όπως ο γραφίτης, ο σίδηρος υψηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο, επιπλατινωμένο τιτάνιο και λευκόχρυσος (πλατίνα). Οι άνοδοι πρέπει να αντικαθίστανται και να ελέγχονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τα καλώδια των ανόδων θα πρέπει να είναι καλά μονωμένα ώστε το σύστημα προστασίας να είναι αποτελεσματικό (Tezdogan *et al.* 2014).



Σχήμα 11. Σχηματική αναπαράσταση καθοδικής προστασίας της γάστρας του πλοίου, με τη χρήση εξωτερικά επιβαλλόμενου ρεύματος (πηγή: <https://www.fndiving.com/services/underwater-ship-repair/replacing-iccp-and-cathodic-protection-shields/>).

3.5.1 Τύποι ανόδων παροχής εξωτερικού ρεύματος

Για να επιλεγθεί η κατάλληλη άνοδος που θα χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη εκτός από το κόστος, η σχέση μεταξύ του ρυθμού κατανάλωσης και του ρεύματος. Τα συνηθέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο αυτή είναι ο γραφίτης, ο μαγνητίτης, ο σίδηρος υψηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο και κράματα μολύβδου-αργύρου. Υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα όλο και περισσότερο είναι το τιτάνιο, το νιόβιο, το βολφράμιο καθώς και μεικτά οξειδία μετάλλων. Η καλύτερη επιλογή θεωρείται το επιπλατινωμένο τιτάνιο εξαιτίας του μικρού ρυθμού κατανάλωσης, που ανέρχεται σε 0,01 g/year (British Standard 1991, Bohnes *et al.* 1997). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ανόδων παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 (British Standard 1991).

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά των ανόδων που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο ICCP.

Υλικό	Μέγιστη πυκνότητα ρεύματος (A/m ²)	Ρυθμός κατανάλωσης ρεύματος (kg/A·year)	Μέγιστη τάση λειτουργίας (V)
Χάλυβας	5	9	50
Γραφίτης	10	0.5	50
Κράματα σιδήρου	50	0.2-1.0	50
Μαγνητίτης	100	0.005	50
Κράματα μολύβδου	300	0.25	25
Επιπλατινωμένο τιτάνιο	1000	0.00001	8

Άνοδοι γραφίτη

Οι άνοδοι γραφίτη χρησιμοποιούνται ως σύνηθες υλικό κατασκευής ανόδου εξωτερικού ρεύματος χαμηλού κόστους. Τα συνηθέστερα σχήματα ανόδων γραφίτη είναι στρογγυλές ή τετράγωνες ράβδοι, κατασκευασμένες από σκόνη άνθρακα και ρητίνη ανθρακόπισσας. Η ρητίνη χρησιμοποιείται ως συνδετικός παράγοντας για τη συγκράτηση των σωματιδίων του γραφίτη. Τα συστατικά του μείγματος θερμαίνονται μαζί για ένα μήνα σε υψηλές θερμοκρασίες για την τελική τήξη και μορφοποίηση. Αυτή η διαδικασία αυξάνει την αντοχή στην οξείδωση. Ο γραφίτης που χρησιμοποιείται ως

υλικό ανόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πυκνότητες ρεύματος 2,5 - 10 A/m^2 (British Standard 1991).

Άνοδοι σιδήρου υψηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο

Ο σίδηρος υψηλής περιεκτικότητας πυριτίου είναι ένα κράμα σιδήρου με 14% Si και 1% C. Η πυκνότητα του κυμαίνεται από 7,0 – 7,2 g/cm^3 . Οι άνοδοι σιδήρου παράγονται σε δύο τύπους, με την προσθήκη χρωμίου, για τη βελτίωση της διάρκειας ζωής σε χλωριούχα εδάφη και στο νερό. Στην επιφάνεια της ανόδου σχηματίζεται ένα λεπτό στρώμα οξειδίου του πυριτίου (SiO_2) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός οξειδωσης, και να επιβραδύνεται ο ρυθμός κατανάλωσης. Οι συγκεκριμένοι τύποι ανόδων έχουν καλές ηλεκτρικές ιδιότητες και η αντίσταση του κράματος είναι 72 $\mu\Omega \cdot cm$ στους 20 °C. Οι άνοδοι αυτής της κατηγορίας παρουσιάζουν υψηλή αγωγιμότητα καθώς και υψηλή αντοχή στον εφελκυσμό, κάτι το οποίο θεωρείται πλεονέκτημα έναντι των άλλων τύπων ανόδων. Ωστόσο, η χαμηλή επιμήκυνση στη θραύση, τις καθιστά εύθραυστες σε μηχανικές τάσεις.

Άνοδοι μαγνητίτη

Ο μαγνητίτης (Fe_3O_4) με κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να μετατραπεί σε μια αποτελεσματική άνοδο καθοδικής προστασίας. Οι άνοδοι μαγνητίτη, είναι διαθέσιμες με τη μορφή χυτών κυλίνδρων, που φέρουν στο εσωτερικό τους μεταλλική επένδυση στην οποία είναι συνδεδεμένο ένα καλώδιο σύνδεσης. Οι άνοδοι που περιέχουν μαγνητίτη έχουν χαμηλό ρυθμό κατανάλωσης μικρότερο των 5 $g/A \cdot y$ και η κατανάλωση αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας ρεύματος ανόδου. Οι άνοδοι αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στο έδαφος όσο και στο νερό. Αντέχουν στις υψηλές τάσεις και σε υψηλό κυματισμό. Το μειονέκτημά αυτών είναι η ευθραυστότητά τους, η δυσκολία χύτευσης και η σχετικά υψηλή ηλεκτρική αντίσταση του υλικού (British Standard 1991).

Άνοδοι κράματος μόλυβδου

Άνοδοι αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται μόνο σε συνθήκες θαλασσινού νερού και μπορεί να περιέχουν διάφορα μέταλλα. Η αποδοτικότητα και λειτουργικότητα αυτών των ανόδων βασίζεται στο σχηματισμό ενός επιφανειακού στρώματος οξειδίου του μολύβδου το οποίο αποτελεί ένα αγωγίμο μέσο που δεν αλλοιώνεται γρήγορα και παρατείνει τη διάρκεια ζωής της επιφάνειας του μετάλλου. Η απόδοση μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά σε βαθιά νερά ή σε νερά με χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Το

κράμα αυτό έχει καλές μηχανικές ιδιότητες. Το πλεονέκτημα των ανόδων κράματος μολύβδου είναι η εύκολη διαμόρφωσή τους. Μειονεκτήματα αποτελούν η μεγάλη πυκνότητά του και η περιορισμένη σταθερότητά του σε ηλεκτρολυτικό περιβάλλον με υψηλή συγκέντρωση ιόντων χλωρίου. Για το λόγο αυτό η χρήση τους δε θεωρείται κατάλληλη για το εξωτερικό περίβλημα των πλοίων (British Standard 1991).

Άνοδοι μεικτών οξειδίων μετάλλων

Οι άνοδοι αυτοί χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην ναυπηγική βιομηχανία. Αποτελούνται από ένα μείγμα οξειδίων ευγενών μετάλλων (ρουθίνιο και ιρίδιο) με άλλα οξείδια, που τοποθετούνται πάνω σε υπόστρωμα τιτανίου σχηματίζοντας μια λεπτή μεμβράνη (φιλμ). Οι άνοδοι αυτής της κατηγορίας συμπεριφέρονται όπως οι επιπλατινωμένες άνοδοι αλλά είναι οικονομικότερες. Μπορούν να διαμορφωθούν σε διάφορα σχήματα όπως ράβδοι, πλέγματα, σύρματα και άλλα. Παρέχουν ρεύμα υψηλής πυκνότητας και έχουν χαμηλό ρυθμό κατανάλωσης.

Άνοδοι επιπλατινωμένου τιτανίου

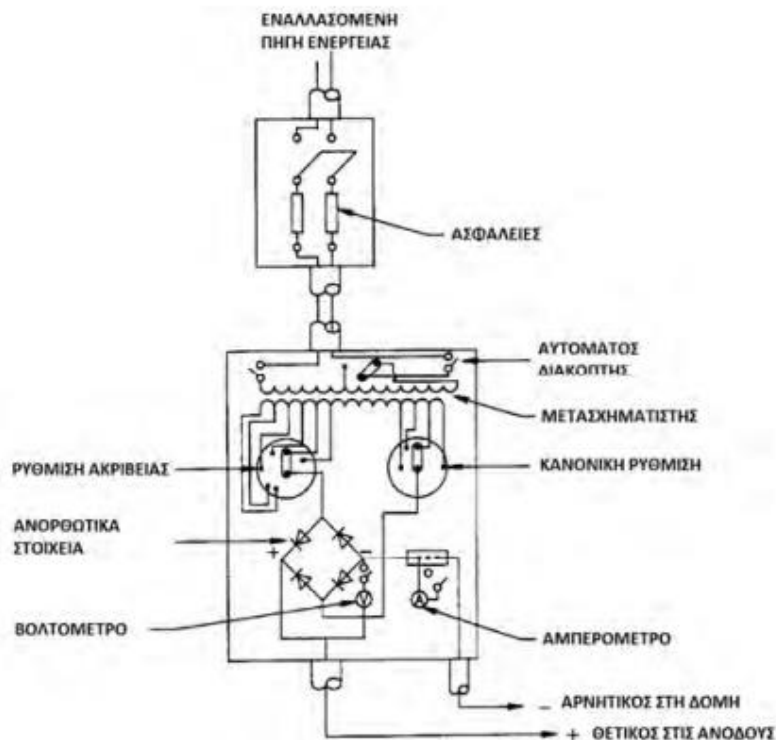
Ο λευκόχρυσος και τα κράματά του μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή διαφόρων τύπων ανόδων. Το πλεονέκτημα τους είναι ο πολύ χαμηλός ρυθμός κατανάλωσης $0,00001 \text{ A/kg}\cdot\gamma$, και το γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολύ μεγάλες πυκνότητες ρεύματος. Ωστόσο, το κόστος τους είναι πολύ υψηλό, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται συχνά με τη μορφή ενός λεπτού στρώματος πάχους περίπου $0,0025 \text{ mm}$ που επικαλύπτει την επιφάνεια τιτανίου ή νιοβίου. Αυτά τα μέταλλα σχηματίζουν ένα στρώμα οξειδίου υψηλής ηλεκτρικής αντίστασης που παρουσιάζει καλή αντοχή στη διάβρωση. Η διάρκεια ζωής του στρώματος που δημιουργείται μπορεί να επηρεαστεί από το μέγεθος και τη συχνότητα του κυματισμού καθώς επίσης και από την αντίσταση του ηλεκτρολυτικού περιβάλλοντος. Το ποσοστό κατανάλωσης αυξάνεται, όσο αυξάνεται η ηλεκτρική αντίσταση της ανόδου (USDOD 2019).

3.5.2 Πηγές ρεύματος ICCP

Οι πηγές παροχής ρεύματος που χρησιμοποιούνται σε συστήματα επιβολής εξωτερικού ρεύματος είναι μετασχηματιστές και ανορθωτές.

Μετασχηματιστές / Ανορθωτές

Ως πηγή ισχύος στα συστήματα επιβολής εξωτερικού ρεύματος χρησιμοποιούνται περισσότερο οι ανορθωτές. Η μονάδα, όπως φαίνεται στο σχήμα 12, αποτελείται από έναν μετασχηματιστή και έναν ανορθωτή για να μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Ακροδέκτες εξόδου και διάφορα άλλα στοιχεία ολοκληρώνουν την τελική συναρμολόγηση της μονάδας (USDOD 2019).



Σχήμα 12. Κύκλωμα ανορθωτή μονοφασικής γέφυρας

(πηγή: https://www.wbdg.org/FFC/ARMYCOE/PWTB/pwtb_420_49_29.pdf).

Ο κύριος ρόλος του μετασχηματιστή είναι να μειώνει το εισερχόμενο εναλλασσόμενο ρεύμα σε μια συμβατή τιμή για τη λειτουργία του ανορθωτή. Στους περισσότερους ανορθωτές η τάση εξόδου από το δευτερεύον πηνίο περνάει από ένα σύστημα διακοπών έτσι ώστε να ρυθμίζεται στους ανορθωτές σταδιακά μέχρι να αποκτήσει την τελική τιμή.

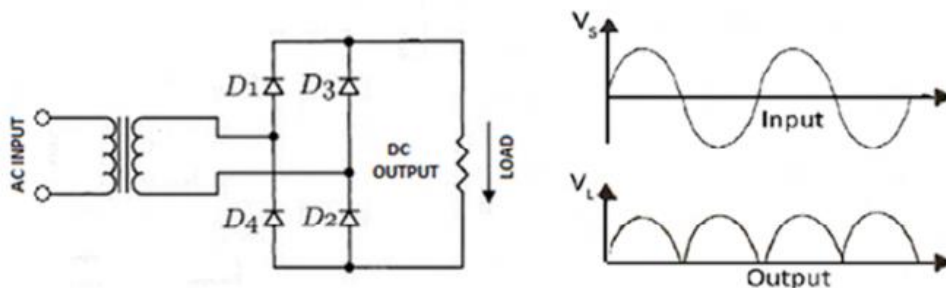
Ο κύρια λειτουργία του ανορθωτή είναι να μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Τα συνήθη στοιχεία ανόρθωσης είναι πλάκες σεληνίου και δίοδοι πυριτίου. Οι δίοδοι πυριτίου αντέχουν σε υψηλές τάσεις, γεγονός που μπορεί να θεωρηθεί ως πλεονέκτημα, αλλά μπορεί να αστοχήσουν λόγω υπερφόρτισης. Οι ανορθωτές δεν είναι 100% αποτελεσματικοί στην μετατροπή εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλείται από το εναλλασσόμενο ρεύμα και σε ενεργειακές απώλειες στα στοιχεία ανόρθωσης, που έχουν ως αποτέλεσμα την κακή λειτουργία τους λόγω υπερθέρμανσης. Η απόδοση ενός ανορθωτή υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Απόδοση(\%)} = \frac{\text{συνεχής τάση εξόδου}}{\text{εναλλασσόμενη τάση εισόδου}} \times 100 \quad (12)$$

Τυπικές αποδόσεις μονοφασικής γέφυρας είναι περίπου 60 - 75%. Οι τύποι ανορθωτών που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως η μονοφασική και η τριφασική γέφυρα. Η τελευταία χρησιμοποιείται σε μονάδες υψηλής ισχύος (USDOD 2019).

Μονοφασική γέφυρα

Αυτός ο τύπος ανορθωτή (σχήμα 13) χρησιμοποιείται για ισχύ εξόδου μέχρι 1000 W. Πάνω από 1000 W, χρησιμοποιείται τύπος ανορθωτή ηλεκτρικής απόδοσης τριών μονάδων (τριφασική γέφυρα). Η μονάδα διόρθωσης αποτελείται από τέσσερα στοιχεία. Αν κάποιο από τα διορθωτικά στοιχεία αποτύχει ή αλλάξει αντίσταση, τα υπόλοιπα στοιχεία συνήθως αποτυγχάνουν. Το ενεργό ζεύγος στοιχείων εναλλάσσεται καθώς η πολικότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος αντιστρέφεται ενώ το άλλο ζεύγος εμποδίζει τη ροή του ρεύματος.

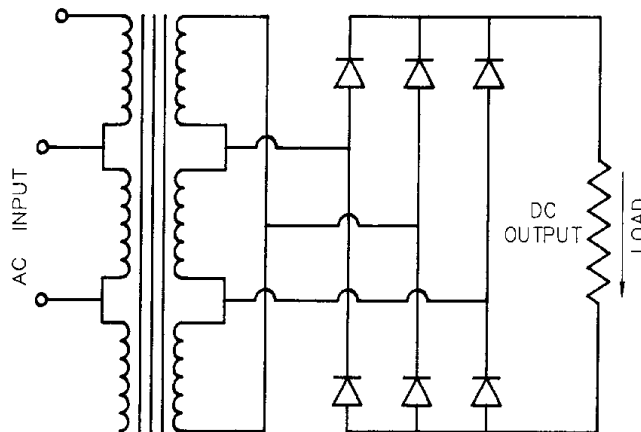


Σχήμα 13: Κύκλωμα μονοφασικής γέφυρας

(πηγή: https://www.wbdg.org/FFC/ARMYCOE/PWTB/pwtb_420_49_29.pdf).

Τριφασική γέφυρα

Το κύκλωμα λειτουργεί ως συνδυασμός τριών μονοφασικών γεφυρών. Το συνεχές ρεύμα που παράγεται εμφανίζει λιγότερες αυξομειώσεις, δηλαδή παρουσιάζει μικρότερο «κυματισμό». Λόγω αυτής της περιορισμένης αυξομείωσης της έντασης του εναλλασσόμενου ρεύματος, οι τριφασικές γέφυρες είναι πιο αποτελεσματικές από τις μονοφασικές (USDOD 2019).



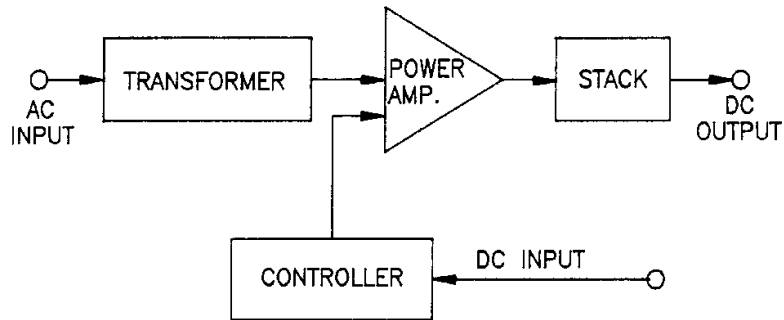
Σχήμα 14. Κύκλωμα τριφασικής γέφυρας

(πηγή: https://www.wbdg.org/FFC/ARMYCOE/PWTB/pwtb_420_49_29.pdf).

Ειδικοί τύποι ανορθωτών

Υπάρχουν επίσης και άλλοι ειδικοί τύποι ανορθωτών, ειδικά σχεδιασμένοι για χρήση σε συστήματα καθοδικής προστασίας, που έχουν αναπτυχθεί για συγκεκριμένες εφαρμογές. Ορισμένοι ανορθωτές αυτού του τύπου επιτρέπουν τον αυτόματο έλεγχο του ρεύματος για να διατηρείται ένα σταθερό δυναμικό ανάμεσα στην προστατευόμενη δομή (χάλυβας) και τον ηλεκτρολύτη (θαλασσινό νερό), ενώ άλλοι παρέχουν ένα σταθερό ρεύμα σε αντιστάσεις εξωτερικού κυκλώματος. Δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις ανορθωτών ειδικού τύπου περιγράφονται ακολούθως:

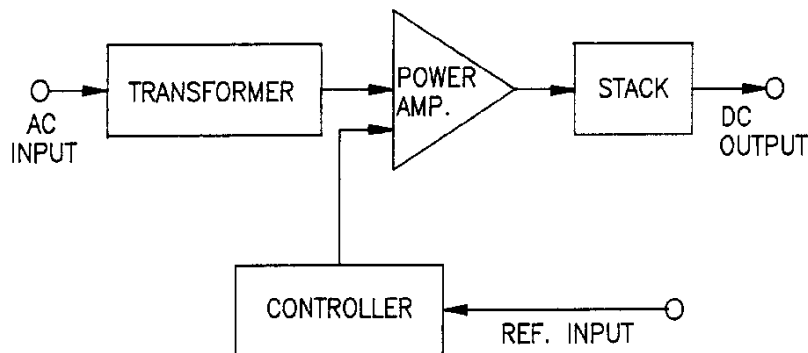
α) Το ηλεκτρικό κύκλωμα ανορθωτή του ειδικού τύπου που φαίνεται στο σχήμα 15. Ένα σήμα εισόδου συνεχούς ρεύματος τροφοδοτείται στον ενισχυτή από μία ρυθμιζόμενη αντίσταση του κυκλώματος εξόδου. Ο ενισχυτής χρησιμοποιεί αυτό το σήμα για να ρυθμίσει την τάση που παρέχεται στα στοιχεία του ανορθωτή, έτσι ώστε να δημιουργείται ένα σταθερό σήμα εισόδου και να προκύπτει ένα σταθερό ρεύμα εξόδου. Ο ενισχυτής συνήθως είναι ηλεκτρονικός.



Σχήμα 15. Κύκλωμα ανορθωτή σταθερού ρεύματος

(πηγή: https://www.wbdg.org/FFC/ARMYCOE/PWTB/pwtb_420_49_29.pdf).

β) Η δεύτερη περίπτωση αφορά έναν ανορθωτή αυτόματου ελέγχου δυναμικού, το κύκλωμα του οποίου φαίνεται στο σχήμα 16. Αυτός ο τύπος μονάδας χρησιμοποιεί τη διαφορά δυναμικού μεταξύ της δομής (χάλυβα) και του ηλεκτρολύτη (θαλασινό νερό), για τον έλεγχο του ρεύματος εξόδου. Αυτοί οι ανορθωτές χρησιμοποιούνται συνήθως όταν οι απαιτήσεις του ρεύματος ή η αντίσταση του κυκλώματος ποικίλλει σημαντικά με το χρόνο, όπως στην περίπτωση της δομής σε μία περιοχή με υψηλά περιοδικά παλιρροϊκά ρεύματα ή σε μία θαλάσσια περιοχή με υψηλή αλατότητα (Βόρεια θάλασσα) (USDOD 2019).



Σχήμα 16. Κύκλωμα ανορθωτή αυτόματου ελέγχου του δυναμικού

(πηγή: https://www.wbdg.org/FFC/ARMYCOE/PWTB/pwtb_420_49_29.pdf).

Αυτόματοι διακόπτες-ασφάλειες και όργανα μέτρησης

Οι αυτόματοι διακόπτες προστατεύουν το κύκλωμα από υπερφόρτιση με τη βοήθεια ενός εσωτερικού μηχανισμού που ανοίγει το διακόπτη όταν το ρεύμα ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο. Χρησιμοποιούν και ως διακόπτες "ON" και "OFF" για το κύκλωμα. Ο ανορθωτής πρέπει να είναι εφοδιασμένος με αντικεραυνικά όργανα στην είσοδο AC και έξοδο DC, εκτός από διακόπτες και ασφάλειες, προκειμένου να αποφευχθεί βλάβη από κεραυνό ή άλλες μικρής διάρκειας αυξομειώσεις της τάσης. Ο ανορθωτής πρέπει να είναι εφοδιασμένος με όργανα μέτρησης για να μπορεί να μετρηθεί το ρεύμα εξόδου και η τάση. Οι μονάδες ανόρθωσης μπορεί να χρησιμοποιούν συστήματα ψύξης μέσω λαδιού ή μέσω αέρα. Οι αερόψυκτες μονάδες έχουν χαμηλότερο κόστος και είναι πιο εύκολες στην εγκατάσταση και στην επισκευή. Η τάση και το ρεύμα ωστόσο, πρέπει να μετρώνται και να ελέγχονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, με τη βοήθεια φορητών συσκευών μέτρησης.

3.5.3 Σταθμοί ελέγχου

Οι σταθμοί ελέγχου για τα συστήματα εξωτερικού ρεύματος προστασίας είναι απλά σημεία σύνδεσης ενός βολτομέτρου για τη μέτρηση του δυναμικού της εγκατάστασης. Οποιαδήποτε θέση, μέσω τη οποίας η δομή μπορεί να εκτιμηθεί και να αξιολογηθεί, θα μπορούσε να θεωρηθεί σταθμός ελέγχου. Γενικά, σε συστήματα επιβολής εξωτερικού ρεύματος δεν χρησιμοποιούνται οι ίδιοι σταθμοί ελέγχου, που χρησιμοποιούνται σε γαλβανικά συστήματα θυσιαζομένων ανόδων (British Standard 1991).

3.5.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συστημάτων εξωτερικού ρεύματος

Ως πλεονεκτήματα των συστημάτων εξωτερικού ρεύματος μπορούν να θεωρηθούν τα παρακάτω (British Standards 1991, USDOD 2019, Jotun 2001, Taylan 2009):

- Παράγουν υψηλή τάση DC (η διαφορά δυναμικού περιορίζεται μόνο από το μέγεθος της πηγής ενέργειας).
- Εφαρμόζονται σε μεγάλες δομές που απαιτούν επιπλέον ρεύμα ακόμα και χωρίς να έχουν προστατευτική επικάλυψη.
- Παράγουν υψηλής έντασης ρεύμα, ακόμη και σε ηλεκτρολύτες με μεγάλη αντίσταση.
- Μπορούν να αντικατασταθούν εύκολα χωρίς υψηλό κόστος.
- Μπορούν να τοποθετηθούν σε κατασκευές που δεν διαθέτουν εξ' αρχής συστήματα καθοδικής προστασίας.

- Χρειάζεται η εγκατάσταση μικρότερου αριθμού ανόδων, απ' ότι στη μέθοδο της καθοδικής προστασίας με τη χρήση θυσιαζόμενων ανόδων.

Τα μειονεκτήματα των συστημάτων εξωτερικού ρεύματος είναι τα εξής (British Standards 1991, USDOD 2019, Jotun 2001, Taylan 2009):

- Έχουν υψηλό κόστος και απαιτούν καθορισμένες συνθήκες λειτουργίας και συντήρησης.
- Υπάρχει σημαντική πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας ή βλάβης των συστημάτων.
- Μπορεί να προκαλέσουν παρεμβολές σε άλλες δομές μέσω τυχαία δημιουργούμενων παράσιτων ρευμάτων.
- Πρέπει να παρέχεται στο σύστημα συνεχής ροή ρεύματος, η τιμή της οποίας να ελέγχεται συνεχώς.
- Τα στοιχεία του κυκλώματος πρέπει να είναι συνδεδεμένα με τη σωστή πολικότητα, ώστε να παρέχεται καθοδική προστασία.

3.6 Χρώματα

Ως χρώμα ορίζεται οποιοδήποτε υγρό, που περιέχει διαλυμένες χρωστικές ουσίες και που έχει την ικανότητα να σχηματίζει μία μεμβράνη προστασίας μετά την εφαρμογή στη μεταλλική ή άλλου είδους επιφάνεια (υπόστρωμα). Η μεμβράνη αυτή παρέχει προστασία και διακοσμητικά χαρακτηριστικά στο υπόστρωμα.

Τα κύρια συστατικά του χρώματος είναι ο φορέας, η χρωστική ουσία και τα πρόσθετα, δηλαδή το πληρωτικό, ο διαλύτης και τα αραιωτικά.

Φορέας

Ο φορέας είναι ένα από τα βασικά συστατικά κάθε χρώματος. Αποτελείται από συνθετικά πολυμερή τα οποία δημιουργούν τη μεμβράνη προστασίας που προσκολλάται στη μεταλλική επιφάνεια. Τα πιο γνωστά συνθετικά πολυμερή είναι οι βινυλικές ρητίνες, οι ρητίνες χλωριωμένων πολυμερών, η πίσσα, οι φαινολικές ρητίνες και οι ρητίνες πολυουρεθάνης (Καρύδης 2002, Pedferri *et al.* 2018).

Διαλύτες και αραιωτικά

Είναι βασικά συστατικά των χρωμάτων που διευκολύνουν την εφαρμογή τους και επιτρέπουν το σχηματισμό της προστατευτικής μεμβράνης. Συνήθως, είναι οργανικές ουσίες, όπως αρωματικοί υδρογονάνθρακες, αλκοόλες, εστέρες, κετόνες ή νερό. Ο

διαλύτης, όπως και τα πρόσθετα υλικά σε ένα χρώμα, τροποποιεί τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του χρώματος, ώστε να είναι εύκολη και ομοιόμορφη η εφαρμογή του στην επιφάνεια που πρόκειται να προστατευθεί. Ο διαλύτης εξατμίζεται μετά την εφαρμογή του χρώματος, οπότε απομένει μια ξηρή προστατευτική μεμβράνη προσκολλημένη στην επιφάνεια του υποστρώματος.

Οι διαλύτες και τα αραιωτικά είναι εύφλεκτα υλικά. Ο κίνδυνος ανάφλεξης είναι μικρότερος μετά το στέγνωμα του χρώματος (Καρύδης 2002, Tezdogan *et al.* 2014, Pedefferri *et al.* 2018).

Χρωστικές ουσίες – Πρόσθετα

Οι χρωστικές και τα πρόσθετα είναι στερεά συστατικά που βρίσκονται διασκορπισμένα στο φορέα του χρώματος. Οι χρωστικές ουσίες συνήθως είναι οργανικής φύσης ουσίες, ενώ τα πρόσθετα προέρχονται από φυσικά ορυκτά μετά από άλεση, έκπλυση και κατάλληλες θερμικές κατεργασίες.

Οι χρωστικές ταξινομούνται ως ενεργές ή αδρανείς. Οι ενεργές έχουν ως πρωταρχική λειτουργία τη διακοπή της ανοδικής διαδικασίας. Αντίθετα, οι αδρανείς χρωστικές στοχεύουν στη μείωση της διαπερατότητας της μεμβράνης και στη βελτίωση των ιδιοτήτων πρόσφυσης (Καρύδης 2002). Τυπικά αδρανή πρόσθετα είναι οξειδία μετάλλων (οξειδία τιτανίου, οξειδία σιδήρου και οξειδία ψευδαργύρου) και ορισμένα ανόργανα ανθρακικά ή θειικά άλατα. Ο σκοπός των πρόσθετων είναι διπλός: να σταθεροποιηθεί το πάχος και να διαμορφωθούν οι φυσικές, φησικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες της προστατευτικής μεμβράνης.

Για χρώματα που εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία, χρησιμοποιείται ως χρωστική το αλουμίνιο που λειτουργεί ως φραγμός στην διείσδυση της ακτινοβολίας στην προστατευτική μεμβράνη. Για να ταξινομηθούν οι χρωστικές χρησιμοποιείται η τιμή της ογκομετρικής συγκέντρωσης *VCP*, η οποία ορίζεται ως ο λόγος του όγκου χρωστικής προς τον όγκο της ξηρής βαφής. Υπάρχει μία βέλτιστη τιμή του *VCP* η οποία αν ξεπεραστεί αλλάζουν σημαντικά οι ιδιότητες της βαφής (Καρύδης 2002, Tezdogan *et al.* 2014, Pedefferri *et al.* 2018).

Το χρώμα παρέχει προστασία από τη διάβρωση επειδή δημιουργεί ένα φράγμα μεταξύ του υποστρώματος και του περιβάλλοντος, σταματώντας έτσι τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Πολλά χρώματα, αστάρια και επικαλυπτικά εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία. Μία άλλη κατηγορία χρωμάτων περιλαμβάνει αυτά που περιέχουν ενώσεις του φωσφόρου ή του ψευδαργύρου για την προστασία του μετάλλου από τη διάβρωση. Τέτοιου είδους χρωστικές χρησιμοποιούνται μόνο σε αστάρια.

Προκειμένου να επιτευχθεί η ικανοποιητική εφαρμογή προστατευτικής επικάλυψης σε ένα πλοίο, θα πρέπει να έχει προηγηθεί κατάλληλη προκατεργασία της επιφάνειας που περιλαμβάνει αφαίρεση ρύπων, καθαρισμό, διαμόρφωση αιχμηρών άκρων και λείανση της μεταλλικής επιφάνειας (Tezdogan *et al.* 2014).

4. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ

4.1 Ορισμός- Γενικά στοιχεία επιθεωρήσεων

Με τον όρο επιθεώρηση εννοείται η αξιολόγηση και η συμμόρφωση με τα πρότυπα μέτρα της κλάσης ή του νηογνώμονα ή το Διεθνή Οργανισμό Ναυσιπλοΐας *IMO* (*International Maritime Organization*). Αυτό απαιτεί πιστή εφαρμογή του σχεδιασμού και της ικανοποίησης των ανάλογων νομοθεσιών, κανονισμών και πρωτοκόλλων ασφαλείας. Η αξιολόγηση των παραπάνω μέτρων γίνεται μέσω επιθεώρησης, η οποία περιλαμβάνει παρατήρηση, έλεγχο και κρίση, καθώς και κατάλληλες μετρήσεις και εργαστηριακές δοκιμές, όταν αυτό απαιτείται σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα (*Bureau Veritas 2020, ABS 2021*).

Σκοπός της επιθεώρησης, είναι να αποκτηθούν πιστοποιητικά αξιοπλοΐας και ασφαλείας ή να ανανεώθουν τα ήδη υπάρχοντα, περιοδικά ή έκτακτα. Τα πλοία υποβάλλονται σε επιθεωρήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα με σκοπό τη διατήρηση της κλάσης και της αξιοπλοΐας τους. Οι πιο βασικές από αυτές ανάλογα με το χρονικό διάστημα που διενεργούνται διακρίνονται σε ετήσιες (*annual*), ενδιάμεσες (*intermediate*) και ειδικές (*special*) επιθεωρήσεις. Ο έλεγχος των παραπάνω διενεργείται σύμφωνα με τις σχετικές απαιτήσεις προκειμένου να επιβεβαιωθεί ότι η γάστρα, τα μηχανήματα, ο εξοπλισμός και οι συσκευές συμμορφώνονται με τους ισχύοντες κανόνες και θα παραμείνουν σε ικανοποιητική κατάσταση μέχρι τον επόμενο έλεγχο. Όταν διαπιστωθεί, μετά από προγραμματισμένη επιθεώρηση, ότι οι παρατηρήσεις που έχουν γίνει κατά τον περασμένο έλεγχο δεν έχουν αποκατασταθεί ή διορθωθεί, τότε ο επιθεωρητής μπορεί να κρίνει το πλοίο ως μη αξιόπλοο και να μην του επιτρέψει να αναχωρήσει από το λιμάνι ή από όπου αυτό είναι προσαραγμένο. Αυτό, όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό, έχει τεράστιο κόστος για τη ναυτιλιακή εταιρεία καθώς το φορτίο που μεταφέρει ενδέχεται να αλλοιωθεί, αλλά και λόγω των διαφόρων ρητρών που ισχύουν για την παράδοση του φορτίου.

Ακολούθως, αναλύεται ο προγραμματισμός των επιθεωρήσεων και το χρονικό διάστημα που πραγματοποιούνται. Ο έλεγχος των μηχανήματων, των υδραυλικών και των ηλεκτρονικών συστημάτων και γενικά του συνόλου του μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού του πλοίου ελέγχεται κατά τη διάρκεια των επιθεωρήσεων. Ο βαθμός διάβρωσης των σωληνώσεων και των εξαρτημάτων ελέγχεται, ώστε να μην επηρεάζει την ομαλή λειτουργία τους.

4.2 Προγραμματισμός επιθεωρήσεων

Η ετήσια επιθεώρηση προγραμματίζεται κάθε χρόνο ως ακολούθως:

- Η προθεσμία αντιστοιχεί γενικά στην ημερομηνία επετείου της κλάσης ή στη λήξη του προηγούμενου πιστοποιητικού.
- Η επιθεώρηση κανονικά διενεργείται εντός χρονικού διαστήματος 3 μηνών και στις δύο πλευρές της προθεσμίας (πριν και μετά).
- Σε περίπτωση που η ετήσια έρευνα ξεκινά πριν από το καθορισμένο χρονικό διάστημα, θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί το πολύ έξι μήνες μετά την ημερομηνία έναρξης. Σε τέτοιες περιπτώσεις η επέτειος χρονολογείται για τις επόμενες ετήσιες επιθεωρήσεις σε χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί σε μια ημερομηνία το αργότερο 3 μήνες μετά την έναρξη της ετήσιας έρευνας που μόλις πραγματοποιήθηκε.
- Μια πρόσθετη ετήσια έρευνα μπορεί να απαιτείται όταν έχει ανανεωθεί η ημερομηνία επετείου αναφορικά με τον παραπάνω περιορισμό.

Η ενδιάμεση επιθεώρηση προγραμματίζεται ακολούθως:

- Η προθεσμία είναι 2,5 έτη πριν από την ημερομηνία λήξης του πιστοποιητικού.
- Η έρευνα κανονικά διενεργείται εντός χρονικού διαστήματος 9 μηνών και στις δύο πλευρές της προθεσμίας.
- Η ενδιάμεση επιθεώρηση ολοκληρώνεται ταυτόχρονα με τη δεύτερη ή την τρίτη ετήσια επιθεώρηση.

Η ειδική επιθεώρηση προγραμματίζεται ακολούθως:

- Η προθεσμία ορίζεται σε διάστημα 5 ετών και αντιστοιχεί στην ημερομηνία λήξης του πιστοποιητικού.
- Η έρευνα κανονικά ολοκληρώνεται εντός χρονικού διαστήματος 3 μηνών πριν από την ημερομηνία λήξης του πιστοποιητικού.
- Η έρευνα μπορεί να ξεκινήσει στην τέταρτη ετήσια επιθεώρηση ή μεταξύ της τέταρτης και της πέμπτης.
- Σε περίπτωση που η έρευνα αρχίσει 15 μήνες πριν από την ημερομηνία λήξης του πιστοποιητικού, η ημερομηνία λήξης της έρευνας θα προωθηθεί σε μια ημερομηνία όχι αργότερο από 15 μήνες μετά την έναρξη.

- Η ειδική επιθεώρηση ολοκληρώνεται ταυτόχρονα με την τελευταία ετήσια έρευνα σε κάθε περίοδο του πιστοποιητικού κλάσης.

Η επιθεώρηση πυθμένα προγραμματίζεται ως ακολούθως:

- Απαιτούνται δύο επιθεωρήσεις του πυθμένα για κάθε πενταετή περίοδο του πιστοποιητικού κλάσης. Το μεσοδιάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών επιθεωρήσεων δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να υπερβεί τους 36 μήνες.
- Η επιθεώρηση διενεργείται την ημερομηνία λήξης ή λίγο πριν από αυτήν.
- Η επιθεώρηση του πυθμένα πραγματοποιείται σε συνδυασμό με την ειδική επιθεώρηση, δηλαδή όχι περισσότερο από 15 μήνες πριν από την ημερομηνία λήξης του πιστοποιητικού κλάσης.

Η επιθεώρηση του άξονα της έλικας προγραμματίζεται ακολούθως:

- Ο έλεγχος της έλικας διενεργείται κάθε 5 χρόνια.
- Η επιθεώρηση της έλικας πραγματοποιείται σε συνδυασμό με αυτήν του πυθμένα σε δεξαμενή (*dry dock*).

4.3 Ετήσια επιθεώρηση (*Annual Survey*)

Κατά την ετήσια επιθεώρηση γίνεται μια οπτική επιθεώρηση της γάστρας, του εξοπλισμού και των μηχανημάτων του πλοίου και δοκιμές αυτών, στο μέτρο που είναι απαραίτητο και εφικτό για να επαληθευτεί ότι το πλοίο βρίσκεται σε αποδεκτή γενική κατάσταση και συντηρείται σωστά. Οι ετήσιες επιθεωρήσεις πρέπει να πραγματοποιούνται τρεις μήνες πριν ή μετά από την ετήσια επέτειο από την ημερομηνία της αρχικής επιθεώρησης κλάσης ή την ολοκλήρωση του τελευταίου *special survey*.

Συγκεκριμένα, ελέγχονται η γάστρα του πλοίου (*hull*) και ο εξοπλισμός της, ο μηχανολογικός εξοπλισμός (*machinery and systems*), τα καπάκια - καλύμματα των δεξαμενών (*hatch cover*), ο λέβητας (*boiler*), ηλεκτρικά μηχανήματα και εξοπλισμός (*electrical machinery and equipment*), το σύστημα πυρασφάλειας-πυρανίχνευσης (*fire protection system*) και το σύστημα συναγερμού έκτακτης ανάγκης (*general emergency alarm system*) (Καρύδης 2002, Bureau Veritas 2020, ABS 2021).

Γάστρα και εξοπλισμός

Ο έλεγχος περιλαμβάνει μια γενική εξωτερική εξέταση, οπτικό έλεγχο των ακόλουθων στοιχείων (Bureau Veritas 2020, Καρύδης 2002, ABS 2021):

1. Εξωτερικό περίβλημα πάνω από την ίσαλο γραμμή, ανθρωποθυρίδες και προσβάσιμα μέρη του πηδαλίου
2. Ελάσματα κύριου καταστρώματος και υπερκατασκευών
3. Μέσα στεγανότητας της γάστρας, εξαεριστικών διαφραγμάτων και καλύμματα χώρων μηχανοστασίου
4. Σωλήνες αέρα, σωλήνες υπερχειλήσης και σωλήνες εξαερισμού με τις επικαλύψεις τους
5. Περιοχές συγκόλλησης μεταξύ σωλήνων αέρα και καταστρώματος
6. Βαφή της γραμμής καταστρώματος και γραμμής φόρτωσης όπου είναι απαραίτητο
7. Έλεγχος σωστικών μέσων (σωσιβίων, σωστικών λεμβών)
8. Συστημάτων αγκύρωσης και αγκυροβόλησης
9. Φρακτών
10. Στεγανότητα στο πλευρικό μέρος του πλοίου κάτω από το κύριο κατάστρωμα

Στην ετήσια επιθεώρηση ο επιθεωρητής εστιάζει σε όλα τα προσβάσιμα τμήματα της κατασκευής με κυριότερη έμφαση στις περιοχές εκείνες που μπορούν να υποστούν ραγδαίες φθορές, όπως συνδέσεις και κολλήσεις καθώς και σε εκείνες που έχουν μειωμένη προστασία επίστρωσης με χρώμα (*coating*) ή παρουσίασαν σημαντικές φθορές στην προηγούμενη ετήσια ή ειδική επιθεώρηση και δεν διορθώθηκαν, καθώς και σε τμήματα που έχουν χαρακτηριστεί ως ύποπτα από προηγούμενες επιθεωρήσεις. Βέβαια, όλες αυτές οι παρατηρήσεις γίνονται χωρίς ιδιαίτερη εμβάθυνση παρά μόνο στην περίπτωση που εντοπιστούν ενδείξεις ανωμαλιών. Οι «ύποπτες» περιοχές που εντοπίστηκαν σε προηγούμενους ελέγχους πρέπει να εξετασθούν εκ νέου. Οι παλιές μετρήσεις πάχους πρέπει να λαμβάνονται από τον επιθεωρητή και να συγκρίνονται με τις νέες, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι διορθώθηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα. Οι μετρήσεις πρέπει να είναι λεπτομερείς ώστε να προσδιοριστούν οι περιοχές διάβρωσης (Bureau Veritas 2020, DNV 2012).

Καλύμματα δεξαμενών

Ο εκπρόσωπος του πλοίου είναι υποχρεωμένος να διαβεβαιώσει τον επιθεωρητή ότι δεν έχει γίνει αντικατάσταση ή κάποια αλλαγή στα καλύμματα των δεξαμενών και των ανθρωποθυρίδων. Ελέγχονται από τον επιθεωρητή τα ακόλουθα:

1. Συσκευές στεγανότητας κατά μήκος, εγκάρσια και ενδιάμεσες διασταυρώσεις. (φλάντζες, κανάλια αποχέτευσης και σωλήνες αν υπάρχουν).
2. Συσκευές σύσφιξης, ράβδοι συγκράτησης, κοτσαδόροι.
3. Τροχαλίες αλυσίδας ή σχοινιού.
4. Οδηγοί.
5. Ράγες οδήγησης και τροχοί.
6. Πώματα.
7. Σύρματα, αλυσίδες.
8. Υδραυλικό σύστημα απαραίτητο για το κλείσιμο και την ασφάλιση.
9. Κλειδαριές ασφαλείας και συσκευές συγκράτησης.

Σχετικά με τα παραπάνω, η λειτουργία των καλυμμάτων πρέπει να παρέχει επαρκή χώρο για αποθήκευση φορτίου, ασφάλιση σε ανοιχτή κατάσταση, σωστή εφαρμογή, κλείδωμα και στεγανοποίηση εν πλω καθώς και λειτουργικές δομές υδραυλικών και εξαρτημάτων ισχύος, καλώδια, αλυσίδες και μονάδες σύνδεσης (Bureau Veritas 2020). Στις εικόνες 9 – 12 φαίνονται στοιχεία που εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια ελέγχου ετήσιας επιθεώρησης πλοίου και εμφανίζουν διάβρωση σε τέτοιο βαθμό, ώστε να δυσχεραίνεται η λειτουργία τους.



Εικόνα 9. Κοτσαδόρος με σημάδια ομοιόμορφης διάβρωσης, όπως εντοπίστηκαν κατά την επιθεώρηση (Μαγιορ 2013α).



Εικόνα 10. Οδηγός πάνω στους οποίους εδράζονται τα καλύμματα των δεξαμενών εμφανίζονται να έχουν διαβρωθεί (Μαγιορ 2013α).



Εικόνα 11. Διάβρωση σε ράγες οδήγησης και τροχούς που βοηθούν στην κίνηση των καλυμμάτων (Mayor 2013a).



Εικόνα 12. Διάβρωση σε εξαρτήματα σύσφιξης και ράβδους συγκράτησης των καλυμμάτων (Mayor 2013a).

Μηχανολογικά συστήματα και εξοπλισμός

Σχετικά με τον έλεγχο των μηχανημάτων και του μηχανολογικού εξοπλισμού επιθεωρούνται τα ακόλουθα:

- 1.** Επιβεβαίωση ότι τα μηχανήματα, οι λέβητες και τα συστήματα σωληνώσεων με τα εξαρτήματα τους διατηρούνται σε καλό επίπεδο, έτσι ώστε να μειωθεί στο ελάχιστο ο κίνδυνος για το προσωπικό, αλλά και αν κάποια επιπλοκή συμβεί να υπάρχουν τα ανταλλακτικά να επιδιορθωθεί εγκαίρως.
- 2.** Επιβεβαίωση ότι έχουν προβλεφθεί διατάξεις για να επανέλθουν τα μηχανήματα σε λειτουργία ή η λειτουργία της γεννήτριας έκτακτης ανάγκης από την κατάσταση του ακυβέρνητου πλοίου χωρίς εξωτερική βοήθεια.
- 3.** Επιβεβαίωση ότι τα μέσα διαφυγής από το μηχανοστάσιο και άλλους χώρους λειτουργούν κανονικά.
- 4.** Γενική εξέταση των μηχανημάτων, λεβήτων, υδραυλικών και άλλων συστημάτων καθώς και των εξαρτημάτων τους για επιβεβαίωση της σωστής τους συντήρησης.
- 5.** Εξέταση των μέσων για τη λειτουργία της κεντρικής μηχανής και των βοηθητικών μηχανημάτων απαραίτητα για την ασφάλεια του πλοίου.
- 6.** Επιβεβαίωση ότι η κανονική λειτουργία των μηχανημάτων πρόωσης μπορεί να αποκατασταθεί ακόμη και αν ένα από τα απαραίτητα βοηθητικά μέσα δεν λειτουργεί.
- 7.** Επιβεβαίωση ότι τα συστήματα εξαερισμού των μηχανημάτων λειτουργούν κανονικά.
- 8.** Επιβεβαίωση ότι η επικοινωνία μεταξύ γέφυρας-μηχανής καθώς και με άλλες θέσεις του πλοίου λειτουργεί κανονικά.
- 9.** Επιβεβαίωση ότι ο συναγερμός του μηχανοστασίου ακούγεται καθαρά στο κατάλυμα των μηχανικών.
- 10.** Επιβεβαίωση ότι τα μέσα ένδειξης της γωνιακής θέσης του πηδαλίου λειτουργούν ικανοποιητικά.
- 11.** Επιβεβαίωση ότι οι διάφοροι συναγερμοί υδραυλικών, ηλεκτρικών και ηλεκτρο-υδραυλικών συστημάτων λειτουργούν κανονικά καθώς και οι διακόπτες αυτών.
- 12.** Επιβεβαίωση ότι οι ρυθμίσεις επαναφόρτισης στο κεντρικό τιμόνι λειτουργούν κανονικά.
- 13.** Επιβεβαίωση ότι οι μετρητές μηχανημάτων και λαδιού λειτουργούν.

14. Επιβεβαίωση ότι τα μέσα πυρασφάλειας θα λειτουργήσουν σε περίπτωση πυρκαγιάς στο μηχανοστάσιο.

Όταν το πλοίο είναι εξοπλισμένο με ψυκτική εγκατάσταση η ετήσια έρευνα περιλαμβάνει την εξωτερική εξέταση των παρακάτω:

1. Δοχεία πίεσης της εγκατάστασης.
2. Σωληνώσεις ψύξης.
3. Σύστημα εξαερισμού συμπεριλαμβανομένης της δοκιμής του.
4. Σύστημα πυρόσβεσης ψεκασμού με νερό.
5. Σύστημα υδροσυλλεκτών συμπεριλαμβανομένης της λειτουργικής δοκιμής του.
6. Σύστημα ανίχνευσης αερίου.
7. Έλεγχο του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.

Λέβητες

Για τους λέβητες ατμού, η ετήσια επιθεώρηση συνίσταται σε εξωτερική οπτική εξέταση αυτών και των παρελκομένων τους, συμπεριλαμβανομένων των συσκευών ασφαλείας, των χειριστηρίων, των σωληνώσεων διαφυγής υψηλής πίεσης και ατμού, της μόνωσης και των μετρητικών οργάνων. Η ετήσια επιθεώρηση περιλαμβάνει τη δοκιμή ασφαλείας και προστασίας των συσκευών καθώς και δοκιμή της βαλβίδας ασφαλείας. Στους λέβητες καυσαερίων, οι βαλβίδες ασφαλείας πρέπει να ελέγχονται και η δοκιμή να καταγράφεται σε βιβλίο για επανεξέταση από τον επιθεωρητή πριν από τον ετήσιο έλεγχο μηχανημάτων.

Ηλεκτρικά μηχανήματα και εξοπλισμός

Η επιθεώρηση των ηλεκτρικών μηχανημάτων και εξοπλισμού περιλαμβάνει τον έλεγχο των παρακάτω στοιχείων (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021):

1. Γενική εξέταση οπτικά και σε κατάσταση λειτουργίας των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων για ηλεκτρική ενέργεια και φωτισμό, ειδικότερα στις κύριες γεννήτριες και στις γεννήτριες έκτακτης ανάγκης, στους ηλεκτρικούς κινητήρες, στους πίνακες διανομής, διακόπτες, καλώδια και προστατευτικές συσκευές κυκλώματος, δείκτες ηλεκτρικής μόνωσης και αυτόματους εκκινητές ενέργειας έκτακτης ανάγκης.

2. Έλεγχος, στο μέτρο του δυνατού, της λειτουργίας των πηγών ισχύος έκτακτης ανάγκης, συμπεριλαμβανομένης της αυτόματης λειτουργίας όσων λειτουργούν με σύστημα αυτοματισμού.
3. Επαλήθευση ότι οι προφυλάξεις που παρέχονται κατά του βραχυκυκλώματος διατηρούνται κατά την πυρκαγιά και άλλων κινδύνων ηλεκτρικής προέλευσης.
4. Ηλεκτρικός έλεγχος των μηχανημάτων πρόωσης της γέφυρας και συναφείς ρυθμίσεις (συναγερμοί και συσκευές ασφαλείας).
5. Γενικός έλεγχος στα πληροφοριακά συστήματα και τους υπολογιστές του πλοίου, καταγραφή της τροποποίησης του λογισμικού όταν απαιτείται αλλαγή σε κάποιο μηχανήμα, έλεγχος ενημέρωσης του λογισμικού σύμφωνα με τις τελευταίες διατάξεις των κανονισμών.

Σύστημα πυρασφάλειας και πυρανίχνευσης

Η επιθεώρηση του συστήματος πυρασφάλειας και πυρανίχνευσης περιλαμβάνει την εξέταση των παρακάτω (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021):

1. Έλεγχος ότι τα σχέδια ελέγχου πυρκαγιάς έχουν καταχωρηθεί σωστά.
2. Εξέταση και δοκιμή της λειτουργίας των αυτόματων και χειροκίνητων θυρών διαφυγής.
3. Έλεγχος των τηλεχειριστηρίων για τη διακοπή λειτουργίας των ανεμιστήρων στους χώρους ενδιαίτησης και τα μέσα διακοπής ρεύματος στο μαγειρείο σε κατάσταση λειτουργίας.
4. Εξέταση των πυροσβεστικών και ειδικών διατάξεων στους χώρους μηχανημάτων και την επιβεβαίωση της λειτουργίας του εξαερισμού και της διοχέτευσης - απελευθέρωσης καπνού, το κλείσιμο ηλεκτρικής ενέργειας και της διακοπής λειτουργίας του λέβητα, ανεμιστήρων καθώς και τη διακοπή του καυσίμου και αντλιών που εκλύουν εύφλεκτα υγρά.
5. Εξέταση των ρυθμίσεων για εξ' αποστάσεως κλείσιμο της βαλβίδας καυσίμου και επιβεβαίωση του κλεισίματος των βαλβίδων στις δεξαμενές που περιέχουν καύσιμο λαδιού, λιπαντικό λάδι και άλλα εύφλεκτα έλαια.
6. Δοκιμή των μέσων διακοπής των συστημάτων εξαερισμού έξω από τους χώρους που εξυπηρετούνται.
7. Έλεγχος και δοκιμές των συστημάτων ανίχνευσης πυρκαγιάς ή καπνού.

8. Έλεγχος ρυθμιστικών διατάξεων για συσκευές πυρασφάλειας σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης σύμφωνα με τα πρότυπα διεθνών οργανισμών.

4.4 Ενδιάμεση επιθεώρηση (*Intermediate Survey*)

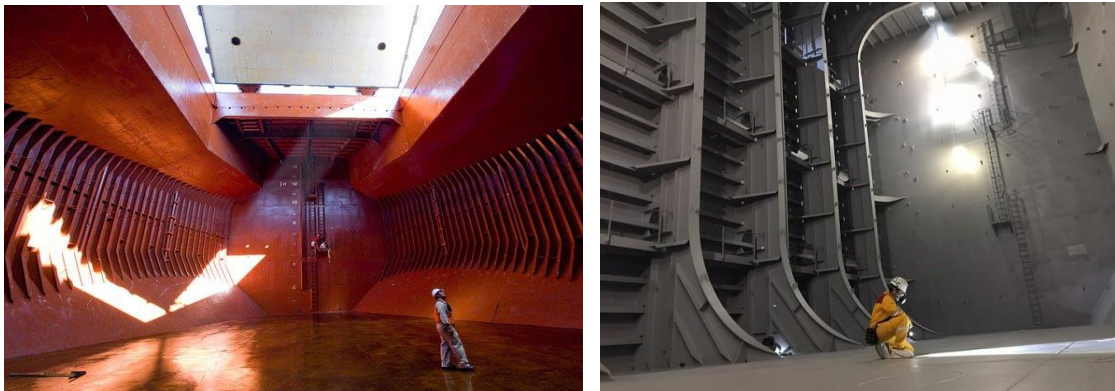
Οι ενδιάμεσες επιθεωρήσεις πραγματοποιούνται σε αντικατάσταση της δεύτερης ή τρίτης ετήσιας επιθεώρησης (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, Καρύδης 2002). Οι ενδιάμεσες επιθεωρήσεις πρέπει να πραγματοποιούνται έξι μήνες πριν ή μετά το πέρας των 2,5 ετών. Σε γενικό πλαίσιο οι απαιτήσεις είναι ίδιες με αυτές των ετήσιων επιθεωρήσεων με σημαντική διαφορά τον έλεγχο των δεξαμενών έρματος και φορτίου. Η ενδιάμεση επιθεώρηση είναι μια έρευνα που περιλαμβάνει οπτικό έλεγχο, μετρήσεις και δοκιμές ανάλογα με την περίπτωση, του κύτους και του εξοπλισμού, των μηχανημάτων και των συστημάτων, προκειμένου να επιβεβαιωθεί ότι το πλοίο συμμορφώνεται με τις σχετικές διατάξεις και κανονισμούς και θα είναι αξιόπλοο μέχρι τον επόμενο έλεγχο της εκάστοτε επιθεώρησης με την προϋπόθεση ότι κατά το διάστημα αυτό συντηρείται σωστά από το πλήρωμά του. Η ενδιάμεση επιθεώρηση, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, επικεντρώνεται στις δεξαμενές φορτίου και έρματος χωρίς αυτό να σημαίνει ότι τα υπόλοιπα στοιχεία του ετήσιου ελέγχου δεν ελέγχονται.

- Στα πλοία ηλικίας άνω των πέντε και μέχρι δέκα ετών απαιτείται μία εσωτερική γενική επιθεώρηση ορισμένων δεξαμενών θαλάσσιου έρματος και φορτίου (Καρύδης 2002, Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021). Οι δεξαμενές αυτές μπορεί να βρίσκονται στα διπύθμενα ή σε άλλους ανεξάρτητους χώρους. Εάν κατά την επιθεώρηση υπάρχουν ορατά κατασκευαστικά σφάλματα και σημεία διάβρωσης ο έλεγχος επεκτείνεται και σε άλλους χώρους έρματος. Στην περίπτωση που διακρίνεται καταστροφή της προστατευτικής επίστρωσης, εκτεταμένη διάβρωση ή κάποιο άλλο ελάττωμα, είναι αναγκαία η παχυμέτρηση της διαβρωμένης περιοχής από τον επιθεωρητή. Σε αντίθετη περίπτωση αν δεν εντοπιστούν εμφανή ελαττώματα και σημεία διάβρωσης είναι στην κρίση του επιθεωρητή αν θα προχωρήσει σε παχυμέτρηση ή αν θα περατώσει την διαδικασία. Σε πλοία ξηρού φορτίου άνω των 5 ετών απαιτείται επιθεώρηση των χώρου φορτίου καθώς και λεπτομερής επιθεώρηση 2 αμπαριών, ένα από τα οποία πρέπει να είναι πρωραίο.
- Σε πλοία άνω των 10 ετών απαιτείται πιο λεπτομερής έλεγχος των δεξαμενών έρματος και φορτίου με έμφαση τόσο στην επίστρωση της μεταλλικής κατασκευής καθώς και στην κατασκευή εσωτερικά του αμπαριού ή της δεξαμενής φορτίου και έρματος, πραγματοποιώντας παχυμετρήσεις για τον προσδιορισμό του βαθμού διάβρωσης (Καρύδης 2002, Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021). Ιδιαίτερη

προσοχή πρέπει να δίνεται στην κατάσταση των εγκάρσιων φρακτών, των νομέων και των μεταξύ τους συνδέσεων.

- Στα πλοία άνω των 15 ετών εξετάζονται όλοι οι χώροι των δεξαμενών έρματος και φορτίου ανεξαρτήτως αν υπάρχουν ενδείξεις διάβρωσης ή όχι (Καρύδης 2002, Bureau Veritas 2020, DNV 2012 , ABS 2021). Επίσης, εξετάζεται η στεγανότητα στα διπύθμενα πλοία καθώς γίνεται έλεγχος των μηχανισμών αγκυροβολίας και των αγκυρών. Τέλος γίνεται έλεγχος των σεντινών και των κενών δεξαμενών, των αναρροφήσεων, των συστημάτων πρόωσης και των συστημάτων προστασίας από πυρκαγιά.

Στην εικόνα 13 φαίνεται η διαδικασία ελέγχου σε χώρους φορτίου (αμπάρια) πλοίου.



Εικόνα 13. Επιθεώρηση σε χώρους φόρτωσης (αμπάρια) μετά τη διαδικασία καθαρισμού.

(πηγή: <https://nationalpost.com/posted-toronto/floating-around-toronto-a-boat-full-of-sugar> και <https://www.jotun.com/gr/gr/b2b/news/Jotun-delivers-tanker-flexibility-durability-and-commercial-advantage-with-new-Tankguard-Flexline-cargo-tank-coating.aspx>).

4.5 Ειδικές επιθεωρήσεις (*Special Surveys*)

Η ειδική επιθεώρηση πρέπει να περιλαμβάνει εκτεταμένη εξέταση και έλεγχο για να εξασφαλιστεί ότι οι δομές, τα κύρια και βοηθητικά μηχανήματα, τα συστήματα, ο εξοπλισμός και οι ρυθμίσεις του πλοίου βρίσκονται σε ικανοποιητική κατάσταση και έχουν αποκατασταθεί τυχόν σφάλματα και βλάβες που είχαν εντοπιστεί σε προηγούμενο έλεγχο. Κατά την ειδική επιθεώρηση επιθεωρούνται επιπλέον ο πυθμένας του πλοίου (*bottom survey*), καθώς και ο άξονας του πλοίου (*propeller shaft*). Πρέπει να προγραμματίζεται από το αρμόδιο προσωπικό η διαδικασία της επιθεώρησης πριν από την έναρξη της. Αυτή περιλαμβάνει νέες παχυμετρήσεις που πρέπει να γίνονται στα ελάσματα του πλοίου.

Η ειδική επιθεώρηση ορίζεται σε διάστημα 5 ετών και αντιστοιχεί στην ημερομηνία λήξης του πιστοποιητικού. Η έρευνα κανονικά ολοκληρώνεται εντός χρονικού διαστήματος 3 μηνών πριν από την ημερομηνία λήξης. Ο έλεγχος μπορεί να ξεκινήσει στην τέταρτη ετήσια έρευνα ή μεταξύ της τέταρτης και πέμπτης ετήσιας έρευνας. Όσον αφορά την επιθεώρηση πυθμένα, απαιτείται διπλός έλεγχος του πυθμένα ανά 5 έτη με την προϋπόθεση ότι το μεσοδιάστημα των ερευνών δεν απέχει περισσότερο από 36 μήνες. Ο πρώτος έλεγχος του πυθμένα πρέπει να πραγματοποιείται στα 2,5 χρόνια στην ενδιάμεση επιθεώρηση όταν τα πλοία είναι 10 ετών και πάνω, ενώ ο δεύτερος πρέπει να γίνεται στα 5 έτη και όχι περισσότερο από 15 μήνες πριν από τη λήξη του πιστοποιητικού. Η επιθεώρηση του άξονα της έλικας του πλοίου γίνεται κάθε 5 χρόνια και περιλαμβάνει έλεγχο για διάβρωση, έλεγχο της αντοχής, των στεγανοποιητικών και των εδράνων του άξονα. Η ειδική επιθεώρηση της γάστρας μπορεί να λάβει χώρα και κατά τη διάρκεια πλεύσης του πλοίου, εάν έχουν προηγηθεί οι κατάλληλες ενέργειες ώστε δοθεί ο κατάλληλος εξοπλισμός στον επιθεωρητή. Η τεχνική αυτή θεωρείται η καλύτερη από την πλευρά της εξοικονόμησης χρόνου. Από την άλλη πλευρά όμως για να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη πρόσβαση σε εγκαταστάσεις και μηχανήματα, θεωρείται αναγκαίος ο δεξαμενισμός (Καρύδης 2002, Bureau Veritas 2020, DNV 2012 , ABS 2021).

Γάστρα και εξοπλισμός

Ο έλεγχος της γάστρας και του εξοπλισμού της περιλαμβάνει τόσο τα εξωτερικά τμήματα, όσο και τα στοιχεία του καταστρώματος, των αμπαριών και των καλυμμάτων τους, των δεξαμενών, των συστημάτων αγκυροβολίας, και της θύρας εισόδου από την πλώρη. Περιλαμβάνει επίσης ικανό αριθμό παχυμετρήσεων των ενισχυτικών και των ελασμάτων. Οι επιθεωρήσεις της γάστρας πρέπει να συμπληρώνονται με μετρήσεις πάχους και τις απαιτούμενες δοκιμές, για να διασφαλιστεί η δομική ακεραιότητα και αποτελεσματικότητα της κατασκευής. Ο στόχος της εξέτασης είναι να εντοπιστούν σημεία διάβρωσης, σημαντικές παραμορφώσεις, ζημιές ή άλλες δομικές παραμορφώσεις που μπορεί να υπάρχουν και να αποτελέσουν εστία προβλήματος. Πρέπει ακόμα να ελέγχεται το εξωτερικό περίβλημα πάνω από την ίσαλο γραμμή, τα ελάσματα του κύριου καταστρώματος και των υπερκατασκευών, τα μέσα στεγανοποίησης της γάστρας, οι σωλήνες αέρα, οι σωλήνες υπερχειλήσης και οι σωλήνες εξαερισμού με τις επικαλύψεις τους, να γίνεται επαλήθευση και βαφή της γραμμής καταστρώματος και της γραμμής φόρτωσης όπου είναι απαραίτητο. Επίσης να γίνεται έλεγχος των σωστικών μέσων, της κατάστασης των φρακτών και της στεγανότητας στο πλευρικό μέρος του πλοίου κάτω από το κύριο κατάστρωμα. Τέλος, ελέγχονται όλα τα συστήματα σωληνώσεων υδροσυλλεκτών και έρματος σε συνθήκες υψηλής εργασιακής

πίεσης, με σκοπό να εξασφαλιστεί ότι η στεγανότητα και η λειτουργικότητά τους διατηρείται σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Όσον αφορά τα συστήματα αγκυροβολίας, ελέγχονται τόσο οι αλυσίδες για τυχόν φθορές ή διάβρωση, ο μηχανισμός ανύψωσης αυτής, καθώς και οι συνδέσεις (κρίκοι) της αλυσίδας. Αν παρατηρηθεί κάποια ασυνέχεια ή φθορά στα παραπάνω, τότε είναι αναγκαία η αντικατάσταση αυτών. Είναι αναγκαίο επίσης όταν το πλοίο είναι ηλικίας μεγαλύτερης των 5 ετών, οι κρίκοι της αλυσίδας να ελέγχονται με παχυμέτρηση. Οποιοσδήποτε κρίκος με μη επιτρεπτό πάχος, κατεστραμμένος ή υπερβολικά φθαρμένος πρέπει να αντικαθίσταται (Bureau Veritas 2020, DNV 2012 , ABS 2021). Στην εικόνα 14 φαίνεται το σύστημα αγκυροβολίας πλοίου με σημάδια διάβρωσης, η έκταση της οποίας θα πρέπει να ελεγχθεί κατά τη διάρκεια επιθεώρησης.



Εικόνα 14. Άγκυρα πλοίου με σημάδια διάβρωσης τόσο στην αλυσίδα όσο και στο κύριο σώμα αυτής (Alandia 2020).

Καταστρώματα και καλύμματα των αμπαριών

Τα καταστρώματα πρέπει να εξετάζονται, με ιδιαίτερη προσοχή στις περιοχές που είναι πιθανότερο να εμφανιστεί διάβρωση, όπως γωνίες και άλλες ασυνέχειες της δομής. Υπερκατασκευές και καπάκια αμπαριών πρέπει να εξετάζονται επιμελώς στη διάρκεια της επιθεώρησης. Η επένδυση από χάλυβα στα καταστρώματα πρέπει να αφαιρείται, κατά την κρίση του επιθεωρητή, σε περίπτωση αμφιβολίας ως προς την κατάσταση της εσωτερικής επένδυσης. Σχετικά με τα καπάκια ή καλύμματα γίνεται έλεγχος της

επένδυσης και επικάλυψης του καλύμματος του αμπαριού. Σε περιοχές του αμπαριού που η πρόσβαση δεν είναι δυνατή, ο έλεγχος γίνεται από τα προσβάσιμα μέρη του ανοίγματός του.

Τα καλύμματα πρέπει να ελέγχονται σχετικά με την ικανοποιητική λειτουργία, καθώς και την αποθήκευση και ασφάλιση σε ανοιχτή κατάσταση. Επίσης, η σωστή εφαρμογή τους, το κλείδωμα του φορτίου και η αποτελεσματικότητα της στεγανοποίησης μαζί με τα υδραυλικά και ηλεκτρικά εξαρτήματα είναι βασικές παράμετροι εξέτασης στα προστατευτικά των αμπαριών. Επιπλέον, γίνεται έλεγχος της αποτελεσματικότητας των διατάξεων σφράγισης όλων των καλυμμάτων (βλ. εικόνα 15), με τη βοήθεια ειδικού τεστ νερού-μάνικας. Πρέπει ακόμα να διενεργούνται μετρήσεις πάχους των ενισχυτικών. Τέλος, ελέγχονται συσκευές σύσφιξης, ράβδοι συγκράτησης, κοτσαδόροι, τροχαλίες, ράγες οδήγησης, τροχοί και κλειδαριές ασφαλείας (Bureau Veritas 2020, DNV 2012 , ABS 2021).



Εικόνα 15. Καλύμματα αμπαριών πλοίου σε ανοιχτή θέση για έλεγχο (πηγή: <https://safety4sea.com/lessons-learned-cargo-damage-caused-by-leaking-hatch-covers/>).

Στις εικόνες 16 έως 18 που ακολουθούν, φαίνονται δομές οι οποίες λόγω διάβρωσης και μηχανικής καταπόνησης παρουσιάζουν μειωμένη λειτουργικότητα. Στόχος των ελέγχων που γίνονται στη διάρκεια μιας επιθεώρησης είναι να εντοπιστούν τέτοιου είδους δυσλειτουργίες και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα που έχουν προκληθεί από τη διάβρωση, ώστε να υποδειχτούν οι απαραίτητες επισκευές ή εργασίες συντήρησης.



Εικόνα 16. Σημάδια διάβρωσης κυλίνδρου ανύψωσης καλύμματος
(πηγή: Alatas Singapore Pte Ltd. 2020).



Εικόνα 17. Σημάδια διάβρωσης στους τροχούς και τις ράγες οδήγησης
(πηγή: Alatas Singapore Pte Ltd. 2020).



Εικόνα 18. Αντικατάσταση τροχού οδήγησης και κυλίνδρου ανύψωσης (πηγή: Alatas Singapore Pte Ltd. 2020).

Δεξαμενές

Ο τύπος και ο αριθμός των δεξαμενών ελέγχονται εσωτερικά σε κάθε ειδική έρευνα ανανέωσης ανάλογα με την ηλικία του πλοίου. Ο οπτικός έλεγχος γίνεται για να εξακριβωθεί η κατάσταση της δομής, των υδροσυλλεκτών και των δοχείων αποστράγγισης-άντλησης, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων σωληνώσεων και των εξαρτημάτων τους (βλ. εικόνα 13). Όταν η εσωτερική επιφάνεια των δεξαμενών καλύπτεται με τσιμέντο ή άλλα υλικά, η αφαίρεση της επένδυσης προστασίας μπορεί να αναβληθεί υπό τον όρο ότι εξετάστηκε και βρέθηκε ικανοποιητικά προσκολλημένη στις χαλύβδινες επιφάνειες. Όσον αφορά τις δεξαμενές έρματος, αυτές πρέπει να ελέγχονται σε ετήσια βάση. Μετρήσεις του πάχους των κατασκευαστικών στοιχείων των δεξαμενών ελέγχονται όπως κρίνεται απαραίτητο από τον επιθεωρητή. Οι δεξαμενές έρματος, οι κορυφές των δεξαμενών του διπύθμενου και άλλες ανεξάρτητες δεξαμενές υποβάλλονται σε δοκιμές με πίεση νερού έτσι ώστε να διαπιστωθεί η κατάσταση στην οποία βρίσκονται.

Οι δεξαμενές καυσίμου, λιπαντικών και γλυκού νερού πρέπει να ελέγχονται με πλήρωση, έτσι ώστε να διαπιστωθεί ότι υπάρχει αύξηση της ποσότητας του νερού εσωτερικά των δεξαμενών υπό συνθήκες λειτουργίας και συντήρησης. Οι παραπάνω

δοκιμές απαιτούνται ώστε να επιβεβαιώνονται τα όρια πλήρωσης εξωτερικά των δεξαμενών και ότι η δοκιμή πίεσης πραγματοποιείται σύμφωνα με τις απαιτήσεις. Ο επιθεωρητής μπορεί να επεκτείνει τη δοκιμή όπου αυτός κρίνει απαραίτητο (Καρύδης 2002, Bureau Veritas 2020, DNV 2012 , ABS 2021).

Παχυμετρήσεις

Όπως απαιτείται σύμφωνα με τους κανονισμούς επιθεωρήσεων οι μετρήσεις πάχους πρέπει να πραγματοποιούνται υπό την ευθύνη του ιδιοκτήτη και παρουσία του επιθεωρητή, από ανεξάρτητο εξωτερικό συνεργάτη (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021). Για όλα τα πλοία, ισχύουν τα ακόλουθα:

- Απαιτούνται μετρήσεις πάχους της δομής της γάστρας του πλοίου, οι οποίες παρακολουθούνται από έναν επιθεωρητή. Αυτό απαιτεί από τον επιθεωρητή να είναι επί του σκάφους ενώ λαμβάνονται μετρήσεις, επιτρέποντάς του να παρέμβει ανά πάσα στιγμή για τον έλεγχο της διαδικασίας.
- Πριν από την έναρξη της ειδικής επιθεώρησης, πραγματοποιείται συνάντηση μεταξύ του επιθεωρητή και του πλοίαρχου του πλοίου ή κάποιου ειδικευμένου αντιπροσώπου που έχει ορίσει ο πλοίαρχος ή η εταιρεία, με τον αντιπρόσωπο της εταιρείας διεξαγωγής των μετρήσεων, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφαλής και αποτελεσματική εκτέλεση των μετρήσεων πάχους επί του σκάφους.

Για δομή κατασκευασμένη με υλικό διαφορετικό από χάλυβα, υπάρχουν διαφορετικές απαιτήσεις μέτρησης πάχους που εφαρμόζονται σύμφωνα με τα πρωτόκολλα ασφαλείας. Η μέτρηση του πάχους πρέπει κανονικά να πραγματοποιείται μέσω δοκιμών υπερήχων. Η ακρίβεια του εξοπλισμού πρέπει να ελέγχεται και να γίνεται αποδεκτή από τον επιθεωρητή όπως απαιτείται. Οι μετρήσεις πάχους πρέπει να πραγματοποιούνται από εταιρεία εξουσιοδοτημένη από την ναυτιλιακή εταιρεία στην οποία ανήκει το πλοίο (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021).

Τέλος, πρέπει να εκπονείται έκθεση μέτρησης πάχους. Η έκθεση πρέπει να περιέχει τη θέση των μετρήσεων, το πάχος που μετρήθηκε και το αντίστοιχο αρχικό πάχος. Επιπλέον, η έκθεση πρέπει να περιλαμβάνει την ημερομηνία κατά την οποία οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν, τον τύπο του εξοπλισμού μέτρησης, τα ονόματα και τα προσόντα των χειριστών και τις υπογραφές τους.

Ο επιθεωρητής μπορεί να επανεξετάσει την τελική μέτρηση του πάχους και εφόσον την εγκρίνει να υπογράψει την αντίστοιχη πιστοποίηση. Σε ψυχόμενους χώρους φορτίου η κατάσταση της επικάλυψης πίσω από τη μόνωση πρέπει να εξετάζεται σε συγκεκριμένα σημεία. Ο έλεγχος μπορεί να περιορίζεται στην επαλήθευση για το αν η

προστατευτική επικάλυψη παραμένει αποτελεσματική και ότι εκεί δεν υπάρχουν ορατά δομικά ελαττώματα. Όπου η κατάσταση επικάλυψης είναι μέτρια ή ελλιπής, η εξέταση πρέπει να επεκτείνεται και σε άλλα πιθανά σημεία που εντοπίζονται σημάδια διάβρωσης και όπως θεωρείται απαραίτητο από τον επιθεωρητή (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021).

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων πρέπει να υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των ατόμων που βρίσκονται στην περιοχή του χώρου που διεξάγεται η παχυμέτρηση, του υπεύθυνου αξιωματικού στο κατάστρωμα και του πλοιάρχου. Οι ρυθμίσεις επικοινωνίας πρέπει να τηρούνται καθόλη τη διάρκεια της διαδικασίας.

Μηχανήματα και εξοπλισμός

Ο έλεγχος του μηχανολογικού εξοπλισμού, πραγματοποιείται από τον επιθεωρητή κατά τη φάση της επιθεώρησης. Ωστόσο, μπορούν να γίνουν αποδεκτοί και άλλου είδους έλεγχοι από τον επιθεωρητή σε σχέση με τα χαρακτηριστικά και την γενική κατάσταση του πλοίου. Ως μέρος της ειδικής επιθεώρησης όσον αφορά τα μηχανήματα και τον εξοπλισμό, πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια δοκιμαστική αποβάθρα, για να επιβεβαιωθεί η ικανοποιητική λειτουργία των κύριων και βοηθητικών μηχανημάτων. Εάν γίνουν σημαντικές επισκευές σε κύρια ή βοηθητικά μηχανήματα πλοήγησης του πλοίου, κατά τη φάση των δοκιμαστικών ελέγχων δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να εντοπιστούν τυχόν σφάλματα και να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία των μηχανημάτων αυτών. Οι επισκευές πραγματοποιούνται από την κατασκευαστική εταιρεία, ώστε να γνωρίζει η ίδια τις αλλαγές αυτές που πρόκειται να γίνουν και να οριστούν οι απαραίτητες δοκιμές παρουσία νηογνώμονα. Οι δοκιμές αποδεικνύουν την ικανοποιητική λειτουργία του εξοπλισμού υπό ρεαλιστικές συνθήκες λειτουργίας όσον αφορά το εύρος ελιγμών της μονάδας πρόωσης.

Ανάλογα με τον τύπο των μηχανημάτων, τα μηχανικά μέρη και τα εξαρτήματα τους πρέπει να υποβάλλονται σε δοκιμή πίεσης κατά περίπτωση, όπου θεωρείται απαραίτητο από τον επιθεωρητή. Πρέπει να πραγματοποιούνται δοκιμές λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένης της δοκιμής συναγερμών και συσκευών ασφαλείας. Όσον αφορά τις μηχανές εσωτερικής καύσης ελέγχονται:

1. Οι κύλινδροι με τα χιτώνια και τα καλύμματα τους μαζί με τις βαλβίδες και τα γρανάζια αυτών.
2. Τα έμβολα.
3. Οι κεφαλές.
4. Οι αεροσυμπιεστές.

5. Αντλίες καυσίμου, έρματος, φορτίου.
6. Αντλίες καυσίμου.
7. Στροφαλοφόροι άξονες μαζί με τα ρουλεμάν τους.
8. Μειωτήρας.

Σχετικά με τους ατμοστρόβιλους ελέγχονται :

1. Οι συμπυκνωτές και οι αντλίες εξαγωγής αυτών.
2. Το περίβλημα και οι ρότορες.
3. Τα ακροφύσια.
4. Ρουλεμάν.
5. Στεγανωτικά εξαρτήματα περιβλήματος-άξονα.
6. Άξονες, συμπεριλαμβανομένων και των συνδέσμων τους.

Οι ατμοστρόβιλοι πρόωσης είναι εξοπλισμένοι με δείκτες θέσης ρότορα και κραδασμών εγκεκριμένου τύπου, καθώς και εξοπλισμό μέτρησης πίεσης ατμού σε κατάλληλες θέσεις κατά μήκος του ατμού ροής. Οι ρυθμίσεις για την αλλαγή σε λειτουργία έκτακτης ανάγκης είναι εύκολα λειτουργικές. Η επιθεώρηση αφορά την εξέταση ρουλεμάν στροφείου, ρουλεμάν ώθησης και εύκαμπτων συνδέσμων, ώστε να διαπιστωθεί η καλή λειτουργία τους. Μετά τον έλεγχο γίνονται κατάλληλες δοκιμές ισχύος (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021).

Αεριοστρόβιλοι (*gas turbine*)

Ένας αεριοστρόβιλος (*gas turbine*), είναι ένας τύπος κινητήρα εσωτερικής καύσης που μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε μηχανική. Τα κύρια στοιχεία ενός τυπικού αεριοστροβίλου είναι:

1. Ο συμπιεστής αερίου
2. Ο καυστήρας
3. Η τουρμπίνα

Ο συμπιεστής, ο καυστήρας και ο στρόβιλος (τουρμπίνα) είναι ο πυρήνας του κινητήρα. Αυτά συνήθως συνδέονται αναπόσπαστα μεταξύ τους και λειτουργούν ως πλήρης κινητήρας σε έναν αποκαλούμενο ανοιχτό κύκλο κατά τον οποίο ο αέρας εισέρχεται από την ατμόσφαιρα και τα προϊόντα καύσης τελικά επιστρέφουν ξανά σε

αυτήν. Η θερμοδυναμική διαδικασία που χρησιμοποιείται στην τουρμπίνα αερίου είναι ο κύκλος *Brayton*. Ο αέρας και το καύσιμο είναι τα δύο κύρια συστατικά που απαιτούνται για τη λειτουργία ενός αεριοστροβίλου. Το καύσιμο είναι συνήθως φυσικό αέριο, αλλά χρησιμοποιούνται και άλλα υγρά καύσιμα. Πρώτα, ο αέρας εισέρχεται από το ένα άκρο του στροβίλου και περνά μέσα από ένα τμήμα συμπιεστή. Καθώς συμπιέζεται, η θερμοκρασία του και η πίεση αυξάνονται. Στη συνέχεια, το καύσιμο εγχύεται στην τουρμπίνα, αναμιγνύεται με τον πεπιεσμένο αέρα και αρχίζει να φλέγεται. Η αναλογία αέρα προς αέριο εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η ειδική θερμομαντική ικανότητα του αερίου, η υγρασία και η ποιότητα του αέρα. Το θερμό αέριο που παράγεται από το φλεγμένο μείγμα έρχεται σε επαφή με τα πτερύγια του στροβίλου, με αποτέλεσμα να περιστρέφεται σε πολύ υψηλές ταχύτητες, περίπου 3200 στροφές ανά λεπτό. Έτσι, η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική.

Στην συγκεκριμένη κατηγορία στροβίλων ελέγχονται:

- Περιβλήματα, ρότορες, πτερωτές τουρμπίνων, συμπιεστές, θάλαμοι καύσης, καυστήρες, εναλλάκτες θερμότητας, σωληνώσεις αερίου, σωληνώσεις πεπιεσμένου αέρα με τα εξαρτήματά τους.
- Άξονες και οι σύνδεσμοί τους.

Σχετικά με την ηλεκτρική πρόωση (*electric propulsion*) όταν η μηχανή προώθησης αποτελείται από ηλεκτρικό σύστημα, οι κινητήρες πρόωσης, οι γεννήτριες, τα καλώδια και όλα βοηθητικά ηλεκτρικά εργαλεία, διεγέρτες και εγκαταστάσεις εξαερισμού (συμπεριλαμβανομένων των ψυκτικών) που σχετίζονται με αυτά, πρέπει να εξετάζονται. Η λειτουργία προστατευτικών εργαλείων και συσκευών συναγερμού πρέπει επίσης να ελέγχονται (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021).

Πρωθητήρες

Οι πρωθητήρες (*thrusters*) είναι συσκευές ελιγμού σχεδιασμένες να παρέχουν πλευρική ώθηση ή ώθηση έως 360°. Χρησιμοποιούνται για να επιτρέπουν στα πλοία να είναι πιο ανεξάρτητα από ρυμουλκά και να τους προσφέρουν περισσότερη ευελιξία για ειδικές εργασίες. Υπάρχουν τρεις γενικοί τύποι πρωθητήρων:

1. Ο πλευρικός πρωθητήρας, ο οποίος αποτελείται από μια έλικα εγκατεστημένη σε μια σήραγγα.
2. Ο *jet thruster*, που αποτελείται από μια αντλία που κάνει αναρρόφηση νερού από την καρίνα και το εκτοξεύει και στις δύο πλευρές και

3. Ο *azimuthal thruster*, που μπορεί να περιστρέφεται κατά 360° προσφέροντας καλύτερη ευελιξία σε σχέση με μία σταθερή έλικα και ένα σύστημα πηδαλίου.

Όταν το πλοίο είναι εξοπλισμένο με προωθητήρες, η ειδική επιθεώρηση περιλαμβάνει επίσης (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021):

1. Εξέταση μηχανημάτων και ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, κατά περίπτωση.
2. Εξωτερική εξέταση του προωθητικού μέρους της εγκατάστασης που θα πραγματοποιηθεί κατά την έρευνα της διαδικασίας του δεξαμενισμού (*dry docking*). Κατά τη διάρκεια του εν λόγω ελέγχου, επιθεωρείται η στεγανότητα του θόλου της έλικας και πραγματοποιείται έλεγχος των πτερυγίων στις προπέλες. Γίνεται έλεγχος ανάλυσης λιπαντικού λαδιού για την ανίχνευση πιθανής φθοράς των εσωτερικών γραναζιών και ρουλεμάν ή παρουσίας νερού. Μπορεί επίσης να γίνει αποσυναρμολόγηση του συστήματος για την πραγματοποίηση εσωτερικού ελέγχου τμημάτων. Αυτό γίνεται στις περιπτώσεις που οι προηγούμενες μετρήσεις δεν είναι ικανοποιητικές.
3. Δοκιμή του συστήματος υπό συνθήκες λειτουργίας.

Όταν το πλοίο είναι εξοπλισμένο με συστήματα πρόωσης *azipod*, η ειδική επιθεώρηση περιλαμβάνει την εξέταση (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021):

1. Ηλεκτροκινητήρων και συναφούς εξοπλισμού
2. Συσκευών προσανατολισμού *Azipod* (γρανάζια και τροχούς, υδραυλικό και ηλεκτρικό σύστημα, διατάξεις στεγανοποίησης)
3. Συστήματος λίπανσης λαδιού ρουλεμάν άξονα
4. Συστήματος υδροσυλλεκτών μέσα στον προωθητήρα
5. Συστήματος εξαερισμού και ψύξης
6. Περιστρεφόμενου μετατροπέα
7. Συστήματος συναγερμού

Σχετικά με τους μειωτήρες με τροχούς, γρανάζια, άξονες, συνδέσμους, ρουλεμάν και οδόντες μετάδοσης, συμπεριλαμβανομένων ενσωματωμένων ρυθμίσεων συμπλέκτη, πρέπει αυτοί να ανοίγονται, όπως κρίνεται απαραίτητο από τον επιθεωρητή, για οπτική επιθεώρηση. Για περίπλοκα συστήματα μειωτήρων, τα γρανάζια και τα ρουλεμάν μπορούν να εξετάζονται χωρίς αποσυναρμολόγηση. Πρέπει επίσης να εξετάζονται το έδρανο του ελικοφόρου άξονα (*thrust bearing*), ο κύριος άξονας και τα έδρανά του.

Οι σωληνώσεις και τα εξαρτήματα αυτών πρέπει να ανοίγονται και να επιθεωρούνται οπτικά από τον επιθεωρητή όπως απαιτείται. Τα μέρη και τα εξαρτήματα τους πρέπει να υποβάλλονται σε δοκιμή πίεσης, ανάλογα με την περίπτωση, όταν θεωρείται απαραίτητο από τον επιθεωρητή.

Πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος δοκιμής σε πλήρη λειτουργία, συμπεριλαμβανομένης της δοκιμής συναγερμών και συσκευών ασφαλείας. Στοιχεία προς επιθεώρηση είναι (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021):

1. Αεροσυμπιεστές με τους ενδιάμεσους ψύκτες, τα φίλτρα ή το διαχωριστή λαδιού.
2. Εναλλάκτες θερμότητας, ανεμιστήρες εξαερισμού για λέβητες και εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για βασικές υπηρεσίες.
3. Αντλίες εμβόλων και φυγοκεντρικές αντλίες για θαλασσινό νερό, υδροσυλλέκτες και έρμα αλμυρού νερού.
4. Αντλίες μετάδοσης και φυγοκεντρικές αντλίες άλλες από αυτές που αναφέρονται παραπάνω.

Βαλβίδες, στρόφιγγες και το σύστημα αποστράγγισης του υδροσυλλέκτη πρέπει να ελέγχονται οπτικά μαζί με τις σωληνώσεις και συσκευές ασφαλείας που εξετάστηκαν και δοκιμάστηκαν υπό συνθήκες λειτουργίας. Το μαζούτ, το λιπαντικό, το υδραυλικό, το θερμικό λάδι, και συστήματα τροφοδοσίας και ψύξης νερού, θερμαντήρες και ψύκτες που χρησιμοποιούνται για βασικές υπηρεσίες, πρέπει να ελέγχονται όπως απαιτείται από τον επιθεωρητή.

Το σύστημα πεπιεσμένου αέρα μαζί με τις βαλβίδες του, τα εξαρτήματα και οι συσκευές ασφαλείας πρέπει να εξετάζονται, δείκτες πεπιεσμένου αέρα και άλλα δοχεία πίεσης για βασικές υπηρεσίες πρέπει να καθαρίζονται εσωτερικά και να εξετάζονται εσωτερικά και εξωτερικά. Τα εξαρτήματα και οι βαλβίδες πρέπει να ανοίγονται εσωτερικά, όταν κρίνεται απαραίτητο από τον επιθεωρητή, για οπτική επιθεώρηση και δοκιμή πίεσης, κατά περίπτωση. Όταν το πλοίο είναι ηλικίας μικρότερης της 5ετίας, η επιθεώρηση μπορεί να περιορίζεται σε έλεγχο της ικανοποιητικής γενικής κατάστασης των σωλήνων. Αναφορικά με τα παραπάνω, πρέπει να εξετάζονται εσωτερικά και εξωτερικά μήκη σωλήνων που συνδέονται με βίδες και φλάντζες, και να δοκιμάζονται σε συνθήκες λειτουργίας 1,1 φορές περισσότερο από το κανονικό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Μπουλόνια και συγκολλημένοι σύνδεσμοι μεταξύ σωλήνων πρέπει να υποβάλλονται σε δοκιμή ανίχνευσης ρωγμών (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021).

Όταν το πλοίο είναι εξοπλισμένο με ψυκτική εγκατάσταση, η ειδική επιθεώρηση περιλαμβάνει εξέταση και δοκιμή των τμημάτων της εγκατάστασης υπό πίεση. Για ψυκτικά μηχανήματα που χρησιμοποιούν αμμωνία σαν ψυκτικό μέσο διενεργούνται οι ακόλουθοι έλεγχοι (Bureau Veritas 2020, DNV 2012):

1. Εξέταση και δοκιμή πυροσβεστικού ψεκασμού νερού στο σύστημα.
2. Εξέταση βαλβίδων και αντλιών του συστήματος υδροσυλλεκτών.
3. Εξέταση και δοκιμή του ηλεκτρικού εξοπλισμού.
4. Δοκιμή του συστήματος ανίχνευσης αερίου.

Ηλεκτρικός εξοπλισμός και εγκαταστάσεις

Πρέπει να διενεργείται έλεγχος της αντίστασης στην μόνωση του ηλεκτρικού εξοπλισμού και στα καλώδια. Αν χρειαστεί, για τους σκοπούς αυτής της δοκιμής, μπορεί να διαχωριστεί ή να αποσυνδεθεί ο εξοπλισμός της εγκατάστασης που έχει υποστεί ζημιά. Κατά τον έλεγχο της μόνωσης, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες ελάχιστες τιμές:

- Για κύριους και βοηθητικούς πίνακες, στο κύκλωμα τροφοδοσίας, οι διακόπτες είναι ανοιχτοί, το κύκλωμα της μπάρας κλείνει, τα όργανα μέτρησης αποσυνδεδεμένα, η αντίσταση της μόνωσης που μετράται σε όλες τις μονωμένες ράβδους, πρέπει να μην είναι μικρότερη από 1 MOhm .
- Για γεννήτριες, ο εξοπλισμός και τα κυκλώματα που συνδέονται μεταξύ της γεννήτριας και του πρώτου διακόπτη κυκλώματος η αντίσταση της μόνωσης πρέπει να είναι 1000 φορές μεγαλύτερη της ονομαστικής τάσης, σε *Volt*.
- Η αντίσταση μόνωσης ολόκληρου του ηλεκτρικού συστήματος ελέγχεται με όλους τους διακόπτες και τις προστατευτικές συσκευές ασφαλείας κλειστές, εκτός από τις γεννήτριες. Ελέγχεται η σχέση της αντίστασης με το χρόνο. Εάν η αντίσταση μόνωσης μειωθεί ξαφνικά ή είναι ανεπαρκής, τα ελαττωματικά κυκλώματα πρέπει να ανιχνεύονται και να αποσυνδέονται. Σε γενικές γραμμές, η αντίσταση δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 100 KOhm .

Όλες οι γεννήτριες πρέπει να ελέγχονται, με τα καλύμματα ανοιχτά και να εξετάζονται υπό συνθήκες λειτουργίας. Κύριοι πίνακες και πίνακες έκτακτης ανάγκης, πίνακες τμημάτων και πίνακες διανομής πρέπει να καθαρίζονται και τα καλύμματα να ανοίγονται για εξέταση των εξαρτημάτων τους. Πρέπει να ελέγχονται οι προστατευτικές συσκευές και οι ασφάλειες υπερέντασης.

Οι διακόπτες κυκλώματος των γεννητριών πρέπει να δοκιμάζονται, στο μέτρο που αυτό είναι εφικτό για να διαπιστωθεί ότι οι προστατευτικές συσκευές, συμπεριλαμβανομένων των ρελέ ενεργοποίησης, εάν υπάρχουν, λειτουργούν κανονικά.

Πρέπει να εξετάζονται τα ηλεκτρικά καλώδια, ιδίως σε μέρη που είναι πιθανό να υπάρχει φθορά. Οι τερματικοί πίνακες βασικών υπηρεσιών/λειτουργιών πρέπει να υποβάλλονται επίσης σε δειγματοληπτικό έλεγχο.

Οι κινητήρες και οι εκκινήτες που αφορούν βασικές υπηρεσίες, μαζί με το σχετικό διακόπτη πρέπει να υποβάλλονται σε έλεγχο δοκιμής αν κριθεί απαραίτητο από τον επιθεωρητή υπό συνθήκες λειτουργίας. Οι ενδεικτικές λυχνίες πλοήγησης (φανοί), πρέπει να δοκιμάζονται υπό συνθήκες εργασίας και να επιβεβαιωθεί ότι λειτουργούν σωστά σε περίπτωση αστοχίας. Οι πηγές ηλεκτρικής ενέργειας έκτακτης ανάγκης, καθώς και οι αυτόματες ρυθμίσεις αυτών πρέπει να ελέγχονται. Όσον αφορά το φωτισμό σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης πρέπει να ελέγχονται τα παρακάτω:

- Φωτισμός έκτακτης ανάγκης.
- Μεταβατικός φωτισμός έκτακτης ανάγκης.
- Συμπληρωματικός φωτισμός έκτακτης ανάγκης.

Η ορατή κατάσταση του ηλεκτρικού εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων πρέπει επίσης να ελέγχονται όσον αφορά τις προφυλάξεις από ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα, πυρκαγιά και άλλους κινδύνους ηλεκτρικής προέλευσης (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021).

Πρέπει ακόμα να πραγματοποιείται εξέταση του ηλεκτρικού εξοπλισμού σε περιοχές που μπορεί να υπάρχει εύφλεκτο αέριο ή ατμός ή σκόνη για να διασφαλιστεί η ακεραιότητα του ηλεκτρικού εξοπλισμού και ότι δεν υπάρχει υπερβολική συσσώρευση σκόνης, που μπορεί να προκαλέσει βλάβη, πάνω ή μέσα σε κάποιο ηλεκτρικό μηχάνημα ή κονσόλα.

Τα καλώδια και η μόνωση τους πρέπει να εξετάζονται και να είναι σε ικανοποιητική κατάσταση. Συναγερμοί και κλειδαριές που χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να εξετάζονται για να διασφαλιστεί ότι λειτουργούν ικανοποιητικά.

Η εξέταση κατά την επιθεώρηση αφορά επίσης τα μηχανογραφημένα συστήματα μέσω του ελέγχου του λογισμικού όπως αναφέρεται ακολούθως:

- Έλεγχος της τροποποίησης του λογισμικού, ειδικότερα κατά την αναφορά ελέγχων ασφαλείας.

- Έλεγχος της αναθεώρησης του λογισμικού.
- Έλεγχος για ενημέρωση λογισμικού, σύμφωνα με τις τελευταίες σχετικές τροποποιήσεις του πλοίου.

Πυρασφάλεια, πυρανίχνευση και κατάσβεση πυρκαγιάς

Η ειδική επιθεώρηση στον συγκεκριμένο τομέα περιλαμβάνει τον έλεγχο στα ακόλουθα τμήματα (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, ABS 2021):

1. Ορατά μέρη αντικειμένων που αποτελούν μέρος ρυθμίσεων πυροπροστασίας σε χώρους διαμονής και σε χώρους μηχανημάτων όπως διαφράγματα, καταστρώματα, πόρτες, κλιμακοστάσια, ως προς την ακεραιότητά τους και την κατάσταση του μονωτικού υλικού.
2. Τη λειτουργία χειροκίνητων και αυτόματων πυροσβεστικών.
3. Τα τηλεχειριστήρια για τη διακοπή ανεμιστήρων, μηχανημάτων και διακοπή της παροχής καυσίμων σε μηχανοστάσια.
4. Τα τηλεχειριστήρια διακοπής των ανεμιστήρων σε χώρους ενδιαίτησης και μαγειρείων.
5. Τα συστήματα ανίχνευσης καπνού και φωτιάς.

Επιθεώρηση πυθμένα (*bottom survey*)

Η εξέταση του εξωτερικού πυθμένα του πλοίου πρέπει συνήθως να πραγματοποιείται σε δεξαμενή ή σε ολισθητήρα. Ο έλεγχος μπορεί να πραγματοποιηθεί επίσης ενώ το πλοίο βρίσκεται εντός της θάλασσας. Όταν ένα πλοίο βρίσκεται σε δεξαμενή, για να εξετασθεί ο πυθμένας τοποθετούνται στηρίγματα (*block*) συγκεκριμένου ύψους και θέσης, όπως αυτά που φαίνονται στην εικόνα 19, ώστε να εξετασθούν η γάστρα, ο πυθμένας, η πρύμνη, η πλώρη καθώς και η έλικα. Η επένδυση της γάστρας πρέπει να ελέγχεται για διάβρωση, φθορά ή για οποιαδήποτε άλλου είδους αστοχία (βλ. εικόνα 20).

Προσοχή πρέπει να δίνεται στη σύνδεση μεταξύ των υφάλων του πυθμένα και του παρατροπιδίου. Πρέπει να εξετάζονται θαλάσσιες εσοχές και οι σχάρες τους, θαλάσσιες συνδέσεις, βαλβίδες, στρόφιγγες και οι σύνδεσμοι. Βαλβίδες και στρόφιγγες δεν χρειάζεται να ανοιχθούν περισσότερες από μία φορά σε μια περίοδο εκτός εάν θεωρηθεί απαραίτητο από τον επιθεωρητή. Πρέπει να εξετάζονται τα ορατά μέρη των πλευρικών προωθητήρων. Άλλα συστήματα προωθητήρων που έχουν επίσης χαρακτηριστικά

ελιγμών (όπως προπέλες κατεύθυνσης, έλικες κατακόρυφου άξονα) πρέπει να εξετάζονται εξωτερικά με έμφαση στην κατάσταση του κιβωτίου ταχυτήτων, των πτερυγίων της έλικας και του κλειδώματος των μπουλονιών.



Εικόνα 19. Στηρίγματα πλοίου σε δεξαμενισμό (Nakahara 2010).



Εικόνα 20. Έλεγχος πυθμένα πάνω σε στηρίγματα κατά το δεξαμενισμό πλοίου (Mayor 2013b).

Σημαντική είναι επίσης η στεγανοποίηση του άξονα της έλικας και των πτερυγίων. Ορατά μέρη του πηδαλίου, οι σύνδεσμοι καθώς και το *stern frame* πρέπει να εξετάζονται. Εάν κριθεί απαραίτητο από τον επιθεωρητή, το πηδάλιο πρέπει να ανασηκώνεται και να αποσυναρμολογείται για να ελεγχθεί περαιτέρω. Οι αποστάσεις στα ρουλεμάν του πηδαλίου πρέπει να μετρώνται και να καταγράφονται.

Η ειδική επιθεώρηση του πυθμένα εντός του νερού μπορεί να διενεργηθεί εάν το πλοίο έχει λάβει την πρόσθετη σημείωση κλάσης (*in water survey*). Ο νηογνώμονας κατά περίπτωση μπορεί να δώσει άδεια για επιθεώρηση εντός νερού σε πλοία που δεν έχουν λάβει την εν λόγω άδεια κλάσης. Δεν υπάρχουν συστάσεις που απαιτούν εργασίες επισκευής όπως η επένδυση της γάστρας, του πηδαλίου, της έλικας ή του άξονα της έλικας να γίνονται υποχρεωτικά εντός του νερού. Είναι στην ευχέρεια της εταιρείας η επιλογή της διαδικασίας που θα χρησιμοποιηθεί.

Οι προτάσεις για επιθεώρηση εντός του νερού πρέπει να υποβάλλονται εκ των προτέρων από τον ιδιοκτήτη και να συμφωνηθούν με την εταιρεία που θα ελέγξει το πλοίο. Η έρευνα εντός του νερού πρέπει να πραγματοποιείται με το πλοίο προστατευμένο μέσα στο νερό χωρίς κυματισμούς. Η ορατότητα στο νερό και η καθαριότητα της γάστρας κάτω από την ίσαλο γραμμή πρέπει να είναι σε ικανοποιητικό βαθμό, έτσι ώστε να μπορεί ο επιθεωρητής να εξετάσει την κατάσταση της βαφής της γάστρας και των συγκολλήσεων. Ο εξοπλισμός, η διαδικασία παρακολούθησης και αναφοράς της επιθεώρησης του πυθμένα πρέπει να συζητηθούν με τα εμπλεκόμενα μέρη πριν την καθέλκυση του πλοίου στο νερό και να δοθεί ο κατάλληλος χρόνος στην εταιρεία για να ελέγξει εκ των προτέρων όλο τον εξοπλισμό. Η έρευνα εντός του νερού πρέπει να διεξάγεται υπό την επιτήρηση εγκεκριμένου ατόμου από εταιρεία επιθεώρησης.

Μετά την ολοκλήρωση της έρευνας, η εταιρεία καταδύσεων πρέπει να υποβάλει στον επιθεωρητή και στην εταιρεία του λεπτομερή έκθεση που να περιλαμβάνει βίντεο και υλικό στο οποίο έχουν γίνει καταγραφές από τον έλεγχο των κύριων τμημάτων που ελέγχθηκαν. Εάν η έρευνα μέσα στο νερό αποκαλύψει ζημιά ή φθορά που απαιτεί άμεση προσοχή, μπορεί να απαιτήσει ο επιθεωρητής το πλοίο να προσαράξει σε δεξαμενή (εκτός νερού) με σκοπό να γίνει λεπτομερής έλεγχος και να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες επισκευές (Bureau Veritas 2020, DNV 2012, Καρύδης 2002).

Επιθεώρηση του άξονα της έλικας

Η επιθεώρηση του άξονα της έλικας γίνεται κάθε 5 χρόνια. Υπάρχουν δύο τύποι επιθεωρήσεων του άξονα της έλικας, η πλήρης και η τροποποιημένη επιθεώρηση (Bureau Veritas 2020, DNV 2012).

Η πλήρης επιθεώρηση περιλαμβάνει τα παρακάτω :

1. Αφαίρεση της έλικας και της σφήνας.
2. Πλήρης αφαίρεση του άξονα της έλικας για να εξεταστούν τα έδρανα (βλ. εικόνα 21).
3. Εξέταση του κυλινδρικού τμήματος του άξονα με κατάλληλη μέθοδο ανίχνευσης ρωγμών.
4. Εξέταση ρουλεμάν άξονα, επενδύσεων και σπείρωματων.
5. Εξέταση της στεγανοποίησης και σφράγισης μεταξύ του ρουλεμάν και της φλάτζας.
6. Επιθεώρηση των διαμερισμάτων λίπανσης με την απαραίτητη αποσυναρμολόγηση.
7. Εξέταση των δακτυλίων σφράγισης και στεγανοποίησης των πτερυγίων (*O-rings*) (βλ. εικόνα 22).

Σχετικά με την τροποποιημένη επιθεώρηση, αυτή αποτελεί έναν εναλλακτικό τρόπο εξέτασης του άξονα της έλικας. Εξετάζονται δύο κατηγορίες ρουλεμάν του άξονα, τα υδραυλικά και τα λιπαντικά. Στα υδραυλικά ρουλεμάν ελέγχονται:

- Οι αποστάσεις του οπίσθιου εδράνου για την απαραίτητη απόσταση μεταξύ τους.
- Η κατάσταση του άξονα και ειδικότερα του ρουλεμάν και των συνδέσεων του.
- Η λειτουργία άντλησης και φιλτραρίσματος του νερού, σε περίπτωση αναγκαστικής λίπανσης του συστήματος.
- Αναλύσεις νερού και καταγραφή ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Σχετικά με τα λιπαντικά ρουλεμάν ελέγχονται:

- Οι άξονες να είναι εξοπλισμένοι με εγκεκριμένους τύπους λάστιχων στεγανοποίησης λαδιού.
- Ο άξονας και τα εξαρτήματα του να μην εκτίθενται σε περιβάλλον διάβρωσης.
- Οι αποστάσεις του οπίσθιου εδράνου είναι εντός αποδεκτών ορίων.
- Οι αναλύσεις λιπαντικών λαδιών και η κατανάλωση λαδιού να καταγράφονται την ίδια χρονική στιγμή και σε διάστημα που δεν υπερβαίνει τους 6 μήνες.

Η τροποποιημένη έρευνα διενεργείται 5 χρόνια μετά την τελευταία ολοκληρωμένη έρευνα, με περίοδο απόκλισης έξι μηνών.



Εικόνα 21. Αποσυναρμολόγηση του άξονα της έλικας
(πηγή: <https://mpss.gr/el/projects/controllable-pitch-propeller-o-rings-replacement/>).



Εικόνα 22. Αντικατάσταση των O-rings των πτερυγίων έλικας
(πηγή: <https://mpss.gr/el/projects/controllable-pitch-propeller-o-rings-replacement/>).

4.6 Κατάλογος απαραίτητων πιστοποιητικών λειτουργίας πλοίου

Ο *IMO* και διάφορες άλλες επιτροπές, όπως αυτή της θαλάσσιας ασφάλειας και προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος (*SNAME*) έχουν θεσπίσει συγκεκριμένους κανόνες με σκοπό την διευκόλυνση των εταιρειών ως προς τη συμμόρφωση με τους κοινούς κανονισμούς.

Η συνθήκη *SOLAS* (1974), εφαρμόζεται από την 1/1/2002 και οι προσθήκες στην συνθήκη της *Maritime pollution for ships 73/78* οδήγησαν στη δημιουργία μίας νέας ανανεωμένης λίστας πιστοποιητικών που περιλαμβάνει τις νέες αλλαγές και ρυθμίσεις. Η λίστα αυτή περιλαμβάνει πιστοποιητικά και έγγραφα από τον ίδιο τον *IMO* και όχι από άλλους οργανισμούς.

Παρακάτω αναφέρονται τα απαραίτητα πιστοποιητικά, εγχειρίδια και βιβλία που πρέπει να φέρουν υποχρεωτικά όλα τα πλοία σε έντυπη και πρωτότυπη μορφή (*IMO 2017*).

1. Διεθνές πιστοποιητικό γραμμής φόρτωσης (*International Load Line Certificate*)
2. Διεθνές πιστοποιητικό εξαιρέσης από τις γραμμές φόρτωσης (*International Load Line Exemption Certificate*)
3. Διεθνές πιστοποιητικό χωρητικότητας (*International Tonnage Certificate*)
4. Διεθνές πιστοποιητικό πρόληψης της ρύπανσης από πετρέλαιο (*International Oil Pollution Prevention Certificate*)
5. Διεθνές πιστοποιητικό πρόληψης της ρύπανσης για τη μεταφορά επιβλαβών υγρών ουσιών (*International Pollution Prevention Certificate for the Carriage of Noxious Liquid Substances in Bulk*) (*NLS*)
6. Πιστοποιητικό κατασκευής ασφάλειας πλοίου (*Cargo Ship Safety Construction Certificate*)
7. Πιστοποιητικό ασφάλειας εξοπλισμού πλοίου (*Cargo Ship Safety Equipment Certificate*)
8. Πιστοποιητικό ασυρμάτου ασφάλειας πλοίου (*Cargo Ship Safety Radio Certificate*)
9. Πιστοποιητικό ασφάλειας πλοίου (*Cargo Ship Safety Certificate*)
10. Πιστοποιητικό καταλληλότητας για τη μεταφορά επικίνδυνων χημικών ουσιών χύδην (*International Certificate of Fitness for the Carriage of Dangerous Chemicals in Bulk*)

11. Πιστοποιητικό καταλληλότητας για τη μεταφορά υγροποιημένων αερίων χύδην (*International Certificate of Fitness for the Carriage of Liquefied Gases in Bulk*)
12. Πιστοποιητικό ασφάλειας επιβατηγού πλοίου (*Passenger Ship Safety Certificate*)
13. Τεχνικό αρχείο επιστρώματος (*Coating technical file*)
14. Διαδικασία ρυμούλκησης έκτακτης ανάγκης (*Emergency Towing Procedure*)
15. Κατασκευαστικά σχέδια (*Construction drawings*)
16. Αρχείο κατασκευών πλοίου (*Ship construction file*)
17. Έκθεση έρευνας θορύβου (*Noise survey report*)
18. Εγχειρίδιο ευστάθειας (*Intact stability booklet*)
19. Σχέδια ελέγχου ζημιών (*Damage control plans and booklets*)
20. Βιβλίο ελιγμών (*Manoeuvring booklet*)
21. Αξιολόγηση του εναλλακτικού σχεδιασμού και διατάξεων (*Evaluation of the alternative design and arrangements*)
22. Σχέδια διατήρησης διατάξεων (*Maintenance plans*)
23. Εκπαίδευση επί του σκάφους και ασκήσεων εκκένωσης χώρου (*Onboard training and drills record*)
24. Εγχειρίδιο εκπαίδευσης πυρασφάλειας (*Fire safety training manual*)
25. Σχέδιο ελέγχου πυρκαγιάς (*Fire control plan/booklet*)
26. Λειτουργικό φυλλάδιο πυρασφάλειας (*Fire safety operational booklet*)
27. Εγχειρίδιο λειτουργίας για εγκαταστάσεις ελικοπτέρων (*Operations manual for helicopter facility*)
28. Λίστα πληροφοριών και οδηγίες έκτακτης ανάγκης (*List and emergency instructions- information*)
29. Ειδικά σχέδια και διαδικασίες για την ανάκτηση ατόμων από το νερό (*Ship-specific plans and procedures for recovery of persons from the water*)
30. Εγχειρίδιο εκπαίδευσης (*Training manual*)
31. Πιστοποιητικό ελάχιστης ασφαλούς σύνδεσης (*Minimum safe manning document*)
32. Σύστημα καταγραφής δεδομένων ταξιδιού - πιστοποιητικό συμμόρφωσης (*Voyage data recorder system – certificate of compliance*)

33. Έκθεση δοκιμής AIS (*AIS test report*)
34. Ναυτικοί χάρτες και δημοσιεύσεις (*Nautical charts and nautical publications*)
35. Έκθεση δοκιμής LRIT (*Long-Range Identification and Tracking*) (*LRIT conformance test report*)
36. Αρχεία ναυτικών δραστηριοτήτων (*Records of navigational activities*)
37. Εγχειρίδιο ασφάλισης φορτίου (*Cargo securing manual*)
38. Φύλλα δεδομένων ασφάλειας υλικού (*Material Safety Data Sheets*)
39. Πιστοποιητικό διαχείρισης ασφάλειας (*Safety Management Certificate*)
40. Έγγραφο συμμόρφωσης (*Document of compliance*)
41. Εγχειρίδιο σύνοψης στοιχείων του πλοίου (*Continuous Synopsis Record*)
42. Σχέδιο ασφάλειας πλοίου και σχετικά αρχεία (*Ship security plan and associated records*)
43. Διεθνές πιστοποιητικό ασφάλειας πλοίου (*International Ship Security Certificate*)
44. Βιβλίο πετρελαίου (*Oil record book*)
45. Σχέδιο έκτακτης ανάγκης για τη ρύπανση από πετρέλαιο (*Shipboard oil pollution emergency plan*)
46. Διεθνές πιστοποιητικό πρόληψης της ρύπανσης από λύματα (*International Sewage Pollution Prevention Certificate*)
47. Έγγραφο έγκρισης για το ρυθμό απόρριψης λυμάτων (*Document of approval for the rate of sewage discharge*)
48. Σχέδιο διαχείρισης απορριμμάτων (*Garbage management plan*)
49. Διεθνές πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης (*International Energy Efficiency Certificate*)
50. Αλλαγή καυσίμου (*Record of fuel changeover*)
51. Σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής απόδοσης πλοίου (*Ship Energy Efficiency Management Plan*)
52. Πιστοποιητικά για πλοιάρχους, αξιωματικούς και βαθμοφόρους (*Certificates for masters, officers or ratings*)
53. Διεθνές πιστοποιητικό συστήματος αντιρρυπαντικών (*International anti-fouling system certificate*)

54. Διεθνές πιστοποιητικό διαχείρισης έρματος (*International ballast water management certificate*)
55. Σχέδιο διαχείρισης έρματος (*Ballast water management plan*)
56. Βιβλίο αρχείου έρματος (*Ballast water record book*)
57. Πιστοποιητικό ασφάλισης ή άλλης οικονομικής εγγύησης ως προς την ευθύνη για την απομάκρυνση ναυαγίων (*Certificate of insurance or other financial security in respect of liability for the removal of wrecks*)
58. Σχέδιο έρευνας και διάσωσης (*Search and rescue plan*)
59. Πιστοποιητικό ασφάλειας ειδικής κατηγορίας επιβατηγών πλοίων (*Special trade passenger ship safety certificate*)
60. Πιστοποιητικό ασφάλισης ή άλλης χρηματοοικονομικής εξασφάλισης σε σχέση με την ευθύνη για θάνατο και σωματική βλάβη επιβατών (*Certificate of insurance or other financial security in respect of liability for the death of and personal injury to passengers*)
61. Πληροφορίες φορτίου (*Cargo Information*)
62. Αρχείο αναφορών ελέγχων (*Enhanced survey report file*)
63. Καταγραφή του συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου απόρριψης πετρελαίου για το τελευταίο ταξίδι υπό έρμα (*Record of oil discharge monitoring and control system for the last ballast voyage*)
64. Εγχειρίδιο διαχείρισης αποκλειστικών δεξαμενών έρματος (*Certificate Clean Ballast Tank Operation Manual*)
65. Εγχειρίδιο εξοπλισμού έκπλυσης δεξαμενών με αργό πετρέλαιο (*Crude Oil Washing Operation and Equipment Manual*)
66. Μελέτη αξιολόγησης κατάστασης, Δήλωση συμμόρφωσης και Τελική αναφορά και αρχείο αναθεωρήσεων (*Condition assessment scheme (CAS) Statement of compliance, CAS Final report and review record*)
67. Βιβλίο αρχείου φορτίου (*Cargo record book*)
68. Εγχειρίδιο διαδικασιών και διευθετήσεων (*Procedures and arrangements manual*)
69. Εγχειρίδιο παρακολούθησης και ελέγχου εκφόρτωσης πετρελαίου (*Oil discharge monitoring and control operational manual*)

70. Έγγραφο συμμόρφωσης με τις ειδικές απαιτήσεις για πλοία που μεταφέρουν επικίνδυνα εμπορεύματα (*Document of compliance with the special requirements for ships carrying dangerous goods*)
71. Σχέδιο έκτακτης ανάγκης για αντιμετώπιση ρύπανσης από επικίνδυνες ουσίες (*Shipboard Marine Pollution Emergency Plan for Noxious liquid*)

4.7 Ελληνική Νομοθεσία για τις επιθεωρήσεις των πλοίων

Πέρα από τους κανονισμούς του εκάστοτε νηογνώμονα, κάθε κράτος θεσπίζει επιπρόσθετα τις δικές του νομοθεσίες αναφορικά με τη λειτουργία των πλοίων και την αξιοπλοΐα τους. Παρακάτω, αναφέρονται ενδεικτικά ορισμένα στοιχεία από την ελληνική νομοθεσία¹ που σχετίζονται με θέματα διάβρωσης της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου και τις επιθεωρήσεις.

Σχετικά με την πρόληψη της διάβρωσης των δεξαμενών έρματος σε πλοία που μεταφέρουν επικίνδυνα υλικά και καύσιμα καθώς και σε πλοία ξηρού φορτίου χύδην τα οποία έχουν κατασκευαστεί την 1η Ιουλίου του 1988 και μετά, οι πλοιοκτήτριες εταιρείες πρέπει να συμμορφώνονται με τον ισχύοντα κανονισμό 3-2. Για την καθυστερημένη εμφάνιση της διάβρωσης εσωτερικά των δεξαμενών έρματος πρέπει αυτές να καλύπτονται με επιστρώσεις οι οποίες συνήθως είναι ανοιχτού χρώματος. Η κατάλληλη επιλογή της προστατευτικής επίστρωσης, η εφαρμογή και η συντήρηση της θα πρέπει να εγκρίνεται από αρμόδιους φορείς και οργανισμούς (βλ. ΦΕΚ 4382/Β` 2.10.2018. Κύρωση τροποποίησης της Διεθνούς Σύμβασης «Περί ασφαλείας της ανθρώπινης ζωής εν θαλάσση, 1974» (*SOLAS*), όπως αυτή υιοθετήθηκε την 20 Μαΐου 2005 με την απόφαση *MSC. 194(80)/20.05.2005* της Επιτροπής Ναυτικής Ασφάλειας (*MSC*) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (*IMO*))¹.

Επίσης, υπάρχουν συγκεκριμένες υπουργικές αποφάσεις οι οποίες σχετίζονται με την αντιδιαβρωτική προστασία των δεξαμενών φορτίου πετρελαίου και δεξαμενόπλοιων αργού πετρελαίου. Οι αποφάσεις αυτές δεν αφορούν άλλες κατηγορίες πλοίων, όπως πλοία συνδυασμένων μεταφορών ή πλοία μεταφοράς άλλων εύφλεκτων υλικών. Εξαιρέση αποτελούν τα πλοία μεταφοράς χημικών προϊόντων που έχουν πιστοποιηθεί για τη μεταφορά πετρελαίου. Οι δεξαμενές αργού πετρελαίου πρέπει να προστατεύονται χρησιμοποιώντας για την κατασκευή τους υλικά υψηλής αντοχής στη διάβρωση και άλλα μέσα αντιδιαβρωτικής προστασίας, ώστε να διατηρείται η ακεραιότητα των δεξαμενών αυτών για 25 χρόνια, όπως ορίζει η Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας.

¹ <https://www.gov.gr/upourgeia/proedria-tes-kuberneses/ethniko-tupographeio/phulla-ephemeridas-tes-kuberneses-phek>

Κατά τη ναυπήγηση του πλοίου πρέπει επίσης να ακολουθούνται τα πρότυπα των προστατευτικών επικαλύψεων, όπως ορίζονται από τους αρμόδιους φορείς και οργανισμούς. Η αρμόδια αρχή έχει τη δυνατότητα να επιτρέψει σε ένα πλοίο την εφαρμογή πρωτοποριακών μεθόδων στο σύστημα επικάλυψης, εφόσον ελεγχθεί και αξιολογηθεί κατάλληλα χορηγώντας του ειδικό πιστοποιητικό. Τέλος ο οργανισμός μπορεί να απαλλάξει από τους περιορισμούς των επικαλύψεων ένα πλοίο το οποίο προορίζεται για μεταφορά φορτίων που δεν προκαλούν διάβρωση (βλ. ΦΕΚ 4654/Β/18-10-2018. Κύρωση τροποποίησης της Διεθνούς Σύμβασης «Περί ασφαλείας της ανθρώπινης ζωής εν θαλάσση, 1974» (SOLAS), όπως αυτή υιοθετήθηκε την 21 Μαΐου 2010 με την απόφαση MSC.291(87)/21.05.2010 της Επιτροπής Ναυτικής Ασφάλειας (MSC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO)).

Τέλος, έχει εκδοθεί σχετικό προεδρικό διάταγμα αναφορικά με την ετήσια επιθεώρηση και τη δυνατότητα διεξαγωγής της υποθαλάσσια. Επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία και επιβατηγά τα οποία διαθέτουν Πιστοποιητικό Ασφαλείας Επιβατηγού Πλοίου (ΠΑΕΠ), έχουν τη δυνατότητα διεξαγωγής υποθαλάσσιας επιθεώρησης με τη βοήθεια καταδυτικού συνεργείου. Ο υποθαλάσσιος έλεγχος της γάστρας αντί της επιθεώρησης στην ξηρά απαιτεί ορισμένες προϋποθέσεις, οι οποίες συνοπτικά περιγράφονται ακολούθως:

Ο πλοίαρχος βεβαιώνει ότι το πλοίο δεν έχει υποστεί ζημιά από σύγκρουση ή προσάραξη από την προηγούμενη επιθεώρηση της γάστρας. Η πλοιοκτήτρια εταιρεία με την σειρά της υποβάλλει αίτημα σε εξουσιοδοτημένο οργανισμό δύο βδομάδες πριν την επιθεώρηση προκειμένου αυτός να ελέγξει τις μεθόδους καθοδικής προστασίας του πλοίου (ICCP, SACP), τις επισημάνσεις από τον προηγούμενο έλεγχο καθώς και την κατάσταση του υφαλοχρώματος της γάστρας. Η εταιρεία στην οποία ανήκει το πλοίο μαζί με το προσωπικό του συνεργείου καθορίζουν τα μέρη που πρόκειται να επιθεωρηθούν και την περιοχή κάτω από την ίσαλο γραμμή. Ο έλεγχος κάτω από το νερό πραγματοποιείται σε προσυμφωνημένη περιοχή, με συγκεκριμένες καιρικές, κυματικές συνθήκες και ρεύματα. Η διαύγεια του νερού πρέπει να είναι επαρκής έτσι ώστε τα αποτελέσματα για την κατάσταση των τμημάτων του πλοίου που επιθεωρούνται να είναι σαφή. Το συνεργείο που διεξάγει την επιθεώρηση θα πρέπει να διαθέτει κατάλληλο πιστοποιητικό, που εξασφαλίζει ότι η διαδικασία που ακολουθείται, ο εξοπλισμός και το προσωπικό έχουν εκπαιδευτεί σύμφωνα με τα πρότυπα αναγνωρισμένου οργανισμού. Η επιθεώρηση καθ' όλη τη διάρκειά της παρακολουθείται από επιθεωρητή του αναγνωρισμένου οργανισμού με τη βοήθεια κάμερας κλειστού κυκλώματος που παρέχει δυνατότητα λήψης στιγμιότυπων.

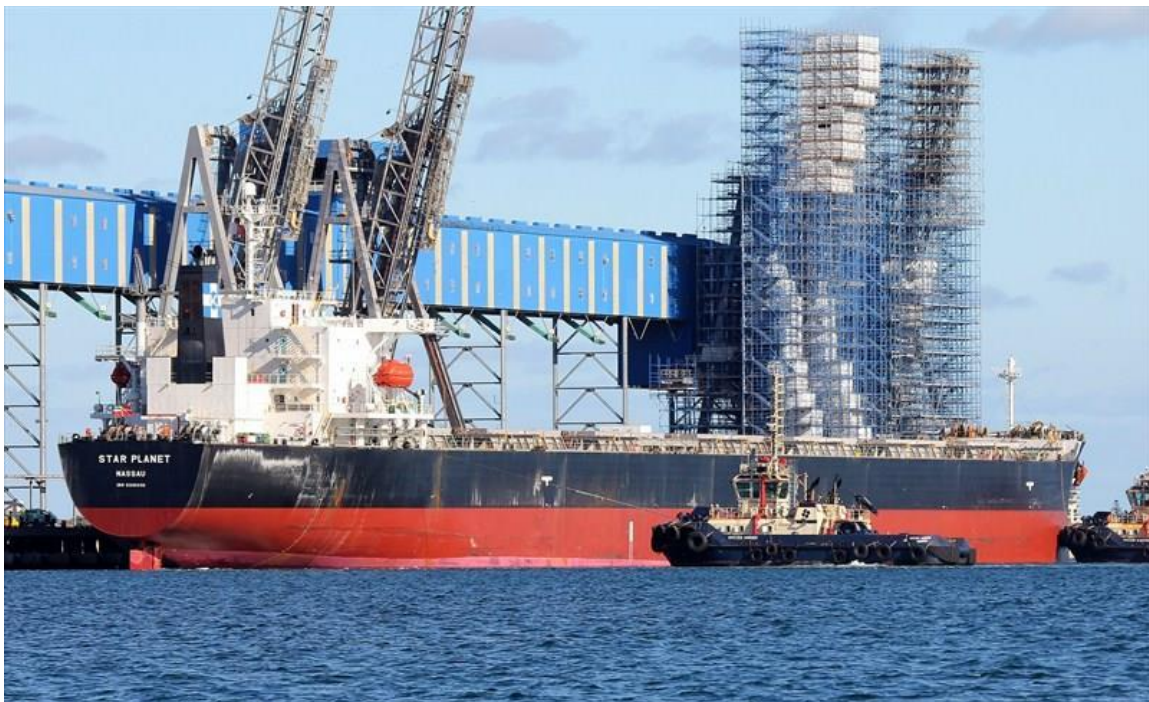
Για να γίνουν δεκτά τα αποτελέσματα από υποθαλάσσιο έλεγχο της γάστρας, θα πρέπει να τηρούνται ορισμένες διαδικασίες. Τα αντιδιαβρωτικά επιστρώματα και τα χρώματα που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να είναι υψηλής αντοχής. Τα έδρανα χοάνης του ελικοφόρου άξονα θα πρέπει να λιπαίνονται με λιπαντικό υγρό και η διάταξη μεταξύ εδράνου χοάνης να είναι στεγανοποιημένη. Μετρήσεις φθοράς των αξονικών συστημάτων και των εδράνων θα πρέπει να λαμβάνονται από τον επιθεωρητή. Πρέπει επίσης να γίνεται αντικατάσταση των μέσων στεγανοποίησης μεταξύ των πτερυγίων της έλικας και της προωστήριας εγκατάστασης. Σχετικά με τα πηδάλια ο έλεγχος πραγματοποιείται στα σημεία επαφής. Για την καθοδική προστασία του πλοίου γίνεται αντικατάσταση των ανοδίων, όποτε απαιτείται ώστε να εξασφαλίζεται η εύρυθμη λειτουργία του. Παχυμετρήσεις των ελασμάτων της γάστρας πραγματοποιούνται όταν υπάρχει φθορά στα ελάσματα.

Τέλος, ο έλεγχος και η αντικατάσταση των εδράνων πρέπει να πραγματοποιούνται σύμφωνα με τις υποδείξεις του κατασκευαστή. Αν κατά τη διάρκεια του υποθαλάσσιου ελέγχου εντοπιστεί φθορά στην μεταλλική κατασκευή, στο μηχανισμό πρόωσης του πλοίου ή στο σύστημα του πηδαλίου, απαιτείται η ανέλκυση του στη ξηρά με σκοπό να επιθεωρηθεί λεπτομερώς από τον αρμόδιο επιθεωρητή (βλ. ΦΕΚ 191/Α/14-10-2021. Τροποποίηση του π.δ.104/2016 «Πρόσθετες διαδικασίες ελέγχου, όροι και προϋποθέσεις για τη δυνατότητα δρομολόγησης επιβατηγών (Ε/Γ), επιβατηγών - οχηματαγωγών (Ε/Γ-Ο/Γ), επιβατηγών - ταχυπλόων (Ε/Γ-ΤΑΧ), επιβατηγών - οχηματαγωγών ταχυπλόων).

5. ΑΝΤΙΔΡΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ *BULK CARRIER* (ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ)

5.1 Στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου

Στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσης διπλωματικής εργασίας, γίνεται μελέτη των εργασιών δεξαμενισμού ενός πλοίου τύπου *Double Skin Bulkcarrier* κατά τη διάρκεια της δεύτερης ειδικής επιθεώρησης (*Special Survey*), όσο αφορά την αντιδιαβρωτική προστασία της γάστρας. Το πλοίο ανήκει στην ναυτιλιακή εταιρεία *Chartworld Shipping Corporation* και έχει λάβει κλάση νηογνώμονα από τον ABS. Παρατίθεται φωτογραφικό υλικό των εργασιών επιθεώρησης και επισκευής που έγιναν στη γάστρα του πλοίου, γίνεται επεξήγηση των φθορών και τέλος παρατίθεται οικονομική μελέτη προκειμένου να προσδιοριστεί το κόστος αυτών των εργασιών. Το υπό μελέτη πλοίο φαίνεται στην εικόνα 23.



Εικόνα 23. Το υπό μελέτη πλοίο τύπου Bulk Carrier (πηγή: https://www.marinetraffic.com/el/ais/details/ships/shipid:372051/mmsi:311000099/im0:9316036/vessel:STAR_PLANET).

Τα χαρακτηριστικά του προς μελέτη πλοίου δίνονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου που μελετήθηκε.

Double skin Bulk Carrier – STAR PLANET	
NAME	STAR PLANET
VESSEL TYPE-GENERIC	CARGO
VESSEL TYPE-DETAILED	BULK CARRIER
YEAR OF BUILT	2005
L.O.A (m)	225
BREADTH (m)	32.2
GROSS TONNAGE (tn)	40042
SUMMER DWT (tn)	76812

5.2 Εργασίες δεξαμενισμού για την αντιδιαβρωτική προστασία και κοστολόγιο σε ένα πλοίο τύπου *Bulk Carrier*.

Στην εικόνα 24 φαίνεται το πλοίο κατά το δεξαμενισμό του, όπου έγιναν οι επιθεωρήσεις και οι εργασίες συντήρησης και οι επισκευές σύμφωνα με τους κανονισμούς του ABS.

● Καθαρισμός της γάστρας με νερό υψηλής πίεσης (*Fresh water high pressure-FWHP*)

Με την πάροδο των χρόνων πλήθος ζωντανών οργανισμών προσκολλώνται και αναπτύσσονται στη βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου προκαλώντας το φαινόμενο της βιοσυσσώρευσης (*biofouling*) και δυσχεραίνουν τόσο την πλευστότητα του πλοίου, όσο και τη λειτουργικότητα της αντιδιαβρωτικής προστασίας. Χαρακτηριστικές φωτογραφίες της βιορύπανσης του πυθμένα του υπό μελέτη πλοίου δίνονται στην εικόνα 25. Για το λόγο αυτό έγινε απομάκρυνση της βιοσυσσώρευσης στην οποία περιλαμβάνονται φύκια, μύδια και άλλοι οργανισμοί, από την επιφάνεια της γάστρας, χρησιμοποιώντας γλυκό νερό υψηλής πίεσης. Δεν επιλέχθηκε θαλασσινό νερό, που θα ήταν άμεσα διαθέσιμο και φθηνότερο, επειδή το αλάτι που περιέχεται σε αυτό δημιουργεί δυσμενείς συνθήκες πρόσφυσης στην επιφάνεια, με αποτέλεσμα οι προστατευτικές επιστρώσεις που θα ακολουθήσουν να έχουν μειωμένη διάρκεια ζωής.



Εικόνα 24. Το πλοίο κατά τον δεξαμενισμό του. Φαίνονται οι φθορές από τη διάβρωση της γάστρας (πηγή: Chartworld Shipping Corp. 2020).



Εικόνα 25. Βιορύπανση στη γάστρα του πλοίου (πηγή: Chartworld Shipping Corp. 2020).

- **Καθαρισμός της γάστρας με αμμοβολή (*Hull grit blasting*)**

Η γάστρα χρειάζεται ιδιαίτερη φροντίδα καθώς βρίσκεται σε συνεχή επαφή με το θαλασσινό νερό, τον αέρα και την επίδραση θαλάσσιων οργανισμών. Η αντικατάσταση της προστατευτικής επίστρωσης της επιφάνειας της γάστρας είναι απαραίτητη επειδή αυξάνει τον χρόνο ζωής του.

Η αφαίρεση του αντιρρυπαντικού στρώματος είναι ένα χρονοβόρο και δύσκολο μέρος των εργασιών συντήρησης. Πριν την χρήση της αμμοβολής οι περιοχές με έντονη διάβρωση καθαρίζονται τοπικά με καλέμι (*hand scrapping*), προκειμένου να αφαιρεθούν τα μεγαλύτερα κομμάτια σκουριάς. Τέτοια σημεία με έντονη διάβρωση πάνω στη γάστρα του πλοίου φαίνονται στην εικόνα 26.



Εικόνα 26. Έντονη τοπική διάβρωση στην εξωτερική επιφάνεια της γάστρας, που αφαιρέθηκε με καλέμι κατά τη διάρκεια εργασιών συντήρησης του πλοίου (πηγή: Chartworld Shipping Corp. 2020).

Στην συνέχεια, έγινε καθαρισμός της επιφάνειας της γάστρας με αμμοβολή. Κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας, μέσω ενός ακροφυσίου εκτινάσσονται ψήγματα άμμου τα οποία προσκρούουν με μεγάλη ταχύτητα πάνω στην επιφάνεια της γάστρας. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με χρήση πεπιεσμένου αέρα ή με κάποιο υγρό (συνήθως νερό) ή με τη χρήση ατμού κατάλληλης πίεσης.

Τα τμήματα που δεν έχουν υποστεί σημαντική διάβρωση καθαρίζονται εε βαθμό έντασης Sa1 (ABS 2017, DNVGL 2017). Σ' αυτή την κατηγορία γίνεται επιφανειακός καθαρισμός με αφαίρεση των προστατευτικών επικαλύψεων, όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 29.



Εικόνα 29. Τμήμα της γάστρας του πλοίου μετά τον καθαρισμό βαθμού Sa1 με αμμοβολή (πηγή: Chartworld Shipping Corp. 2020).

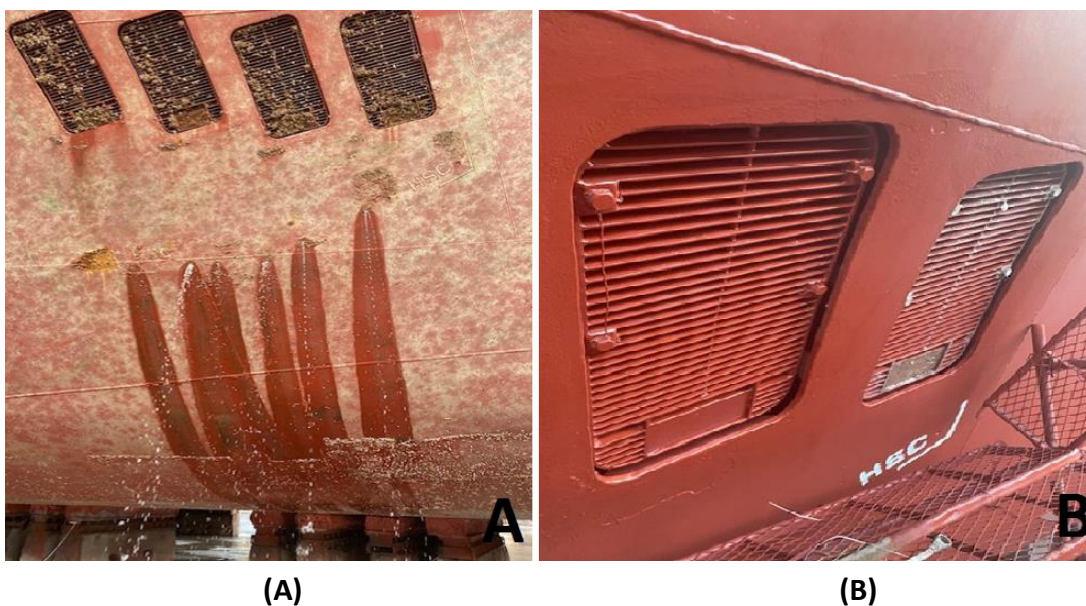
Τα τμήματα με εντονότερη διάβρωση που έχουν φθαρεί σημαντικά, καθαρίστηκαν τοπικά με αμμοβολή βαθμού Sa2 (ABS 2017, DNVGL 2017). Σ' αυτή την κατηγορία όλα τα σωματίδια σκουριάς και προστατευτικών επικαλύψεων αφαιρούνται σε βάθος. Παράλληλα, λόγω της υψηλής πίεσης υπάρχει και μερική αφαίρεση μετάλλου. Στο στάδιο βαθμού καθαρισμού Sa2, το χρώμα της επιφάνειας πρέπει να είναι γκριζωπό, να έχει αποκαλυφθεί δηλαδή πλήρως το μέταλλο, όπως φαίνεται στην εικόνα 30.



Εικόνα 30. Μέρος της γάστρας του πλοίου έπειτα από καθαρισμό βαθμού Sa2 με αμμοβολή (πηγή: Chartworld Shipping Corp. 2020).

● **Καθαρισμός θυρίδων αναρρόφησης (*sea chests*)**

Σε αυτό το στάδιο, οι θυρίδες αναρρόφησης καθαρίστηκαν και στη συνέχεια επιθεωρήθηκαν, εκτελώντας παχυμετρήσεις προκειμένου να εντοπιστούν τυχόν βλάβες και φθορές. Στη συνέχεια βάφτηκαν εκ νέου και επανατοποθετήθηκαν στην αρχική τους θέση όπως φαίνεται στην εικόνα 31.



Εικόνα 31. Οι θυρίδες αναρρόφησης νερού πριν τις εργασίες συντήρησης (A) και μετά τις εργασίες συντήρησης (B) (πηγή: Chartworld Shipping Corp. 2020).

●Επαναβαφή της γάστρας του πλοίου

Α' Στάδιο Εργασιών.

Σε πρώτη φάση τα σημεία στα οποία είχε εντοπιστεί έντονη διάβρωση, βάφτηκαν τοπικά με εποξικό χρώμα (*primer*), σε συνθήκες θερμοκρασίας 23°C και υγρασίας 62% περίπου, προκειμένου να αποφευχθούν εντονότερες βλάβες στο μέλλον. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε δύο φορές. Την πρώτη χρησιμοποιήθηκε βαφή υψηλής ρευστότητας (πάχους 150 μm ως *DFT*) και τη δεύτερη χρησιμοποιήθηκε βαφή μικρότερης ρευστότητας (πάχους 100 μm ως *DFT*). Οι εργασίες αυτές παρουσιάζονται στην εικόνα 32. Στοιχεία που αφορούν τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται στους πίνακες 4 έως 17.

Β' Στάδιο Εργασιών.

Στην συνέχεια, μετά το απαιτούμενο χρονικό διάστημα (12 ώρες), για το στέγνωμα και την πρόσφυση του *primer*, βάφτηκε και η υπόλοιπη γάστρα του πλοίου όπως φαίνεται στην εικόνα 33.

Γ' Στάδιο Εργασιών.

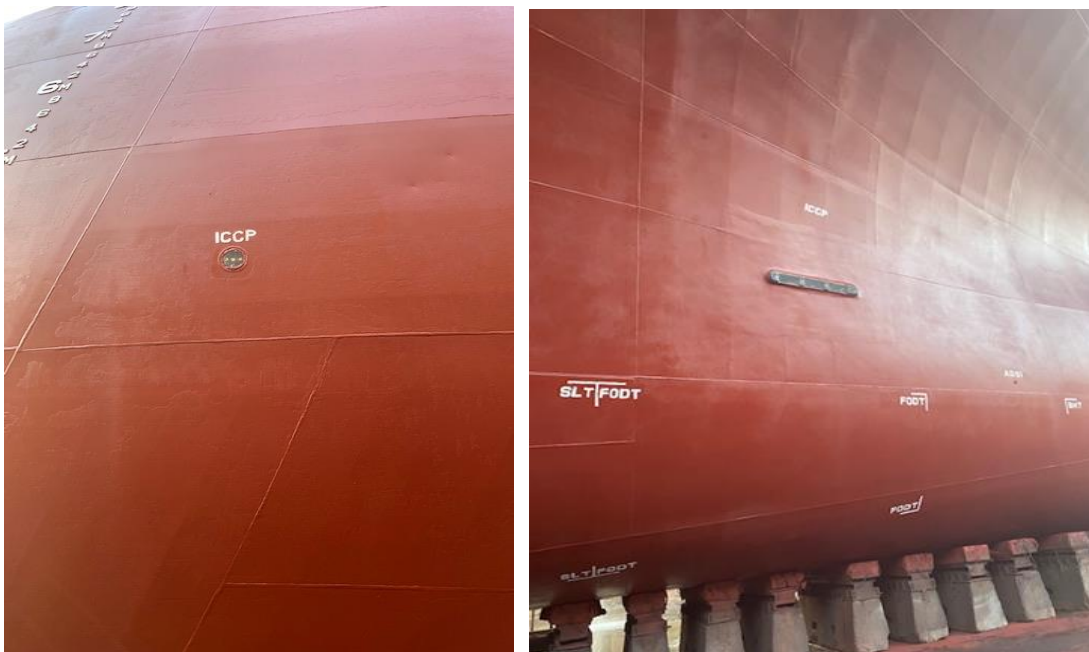
Στο τέλος, βάφτηκαν εκ νέου τα διακριτικά του πλοίου όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 34 (όνομα, αριθμός *IMO*, σημαία, γραμμές φόρτωσης κλπ.).



Εικόνα 32. Τοπική βαφή στα σημεία με εντονότερη διάβρωση (πηγή: Chartworld Shipping Corp. 2020).



Εικόνα 33. Το πλοίο βαμμένο στην τελική του μορφή (πηγή: Chartworld Shipping Corp., 2020).

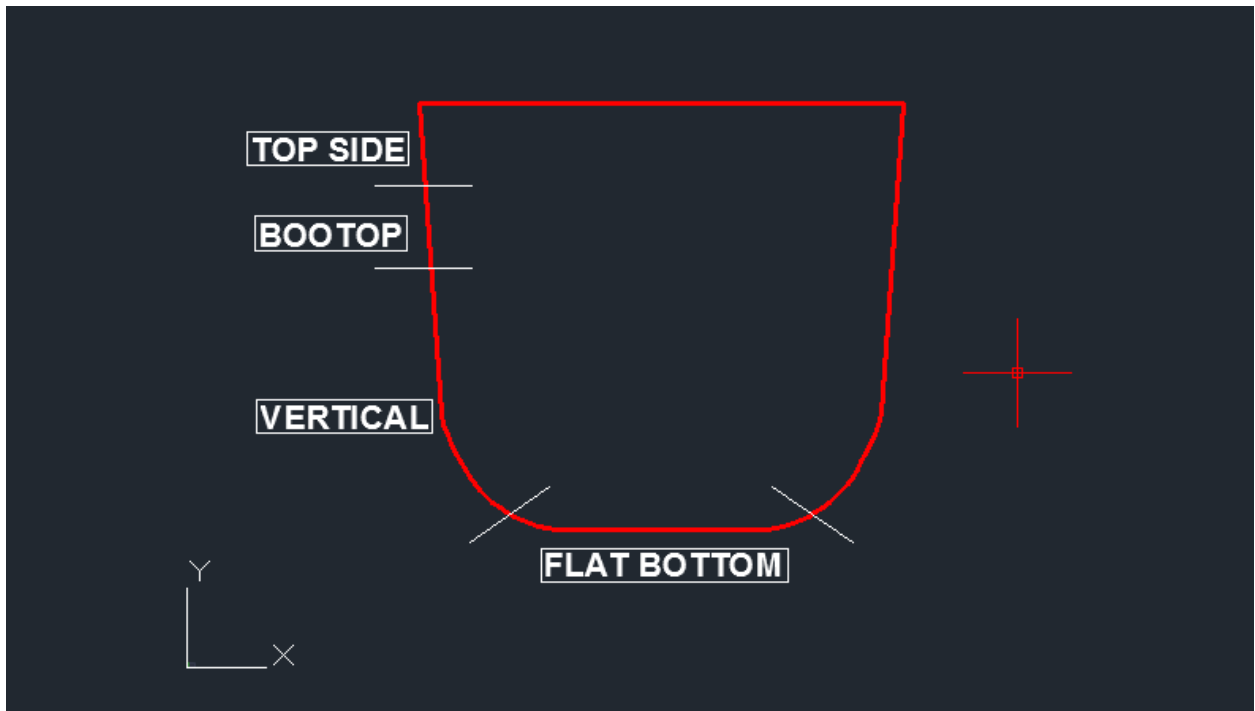


Εικόνα 34. Επαναβαφή των διαφόρων διακριτικών στη γάστρα του πλοίου (πηγή: Chartworld Shipping Corp. 2020).

5.3 Υπολογισμός του κόστους εργασιών καθαρισμού, αμμοβολής και βαφής του πλοίου

Για τις παραπάνω εργασίες, έγιναν οι απαραίτητοι υπολογισμοί κόστους. Για την πραγματοποίησή τους, στα πλαίσια της μελέτης μίας περίπτωσης, παραχωρήθηκε από την εταιρία *Chartworld Shipping Corporation*, αναλυτικός τιμοκατάλογος εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στο ναυπηγείο *Guangzhou Wenchong Dockyard Co. LTD*.

Προς διευκόλυνση των υπολογισμών αυτών, η γάστρα του πλοίου χωρίστηκε σε τμήματα των *TOP SIDE*, *BOOTOP*, *VERTICAL SIDES* και *FLAT BOTTOM* και για την αρτιότερη απεικόνισή τους έγινε σχεδιασμός της τομής αυτής, όπως φαίνεται στο σχήμα 17.



Σχήμα 17. Σχεδιαστική απεικόνιση της εγκάρσιας τομής του πλοίου που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

5.3.1 Υπολογισμός του κόστους εργασιών καθαρισμού και αμμοβολής

Η πρώτη εργασία που έγινε στη γάστρα του πλοίου ήταν καθαρισμός με γλυκό νερό υψηλής πίεσης. Το κόστος για αυτή την εργασία ανέρχεται σε **0.2 \$/m²** (Chartworld Shipping Corp. 2020).

Τα σημεία της γάστρας που είχαν υποστεί σε μεγαλύτερο βαθμό διάβρωση καθαρίστηκαν αρχικά με αμμοβολή βαθμού Sa2. Το κόστος για αυτή την εργασία είναι **5 \$/m²** (Chartworld Shipping Corp. 2020).

Στη συνέχεια όλο το υπόλοιπο πλοίο συμπεριλαμβανομένων και των παραπάνω σημείων, καθαρίστηκε με αμμοβολή βαθμού Sa1. Το κόστος για αυτή την εργασία είναι **5 \$/m²** (Chartworld Shipping Corp. 2020).

Στον Πίνακα 4 δίνεται το υπολογισθέν κόστος των παραπάνω εργασιών για τα διαφορετικά τμήματα του πλοίου.

Πίνακας 4. Κόστος καθαρισμού (υδροβολή, αμμοβολή) κάθε περιοχής ανά εργασία.

Description	Area (m ²)	LP fresh water washing (\$/m ²)	Hull grit blasting Sa1 (\$/m ²)	Hull grit blasting Sa2 (\$/m ²)
Flat Bottom	4215	0,2	5	5
Vertical Sides	3256	0,2	5	5
Boottop	3486	0,2	5	5
Topsides	3200	0,2	5	5
Totals:		2831,4	70785,0	70785,0

5.3.2 Υπολογισμός κόστους των εργασιών βαφής του πλοίου στο ναυπηγείο

Ανάλογα με τις φθορές που υπάρχουν στα ελάσματα του πλοίου, κάθε σημείο εξετάζεται ξεχωριστά και βάφεται τοπικά (*touch up*), αν έχει έντονες φθορές με συγκεκριμένο τύπο βαφής, ή ολόκληρο (*full coated*) αν είναι σε καλή κατάσταση. Το κόστος των εργασιών που απαιτήθηκαν δίνεται στους πίνακες 5 έως 8, για κάθε τμήμα του πλοίου ξεχωριστά.

Πίνακας 5. Κόστος εργασιών βαφής *Flat Bottom*.

Area (m ²)	Price t/u (\$/m ²)	Price f/c (\$/m ²)	Sub. Totals (\$/m ²)
1686	0,35	-	590,1
4215	-	0,30	1264,5
Total:			1854,6

Πίνακας 6. Κόστος εργασιών βαφής *Vertical Sides*.

Area (m ²)	Price t/u (\$/m ²)	Price f/c (\$/m ²)	Sub.Totals (\$/m ²)
3.256	0,35	-	1139,6
3.256	-	0,30	976,8
Total:			2116,4

Πίνακας 7. Κόστος εργασιών βαφής *Boottop*.

Area (m ²)	Price t/u (\$/m ²)	Price f/c (\$/m ²)	Sub.Totals (\$/m ²)
3486	0,35	-	1220,1
3486	-	0,30	1045,8
Total:			2265,9

Πίνακας 8. Κόστος εργασιών βαφής *Topsides*.

Area (m ²)	Price t/u (\$/m ²)	Price f/c (\$/m ²)	Sub.Totals (\$/m ²)
2.560 t/u	0,35	-	896
3.200 f/c	-	0,30	960
Total:			1856,0

5.3.3 Υπολογισμός των ποσότητας χρώματος για τη βαφή της γάστρας του πλοίου.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκαν οι Πίνακες 9 έως 12, στους οποίους παρέχονται στοιχεία για τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα, σε αυτούς περιλαμβάνονται:

1. Η ονομασία του προϊόντος βαφής.
2. Το χρώμα.
3. Ο κωδικός του προϊόντος βαφής.
4. Ο τύπος εφαρμογής του προϊόντος (τοπική βαφή - *touch up* και ολική βαφή - *full coated*): ανάλογα με τις φθορές που υπάρχουν στα ελάσματα του πλοίου, κάθε σημείο εξετάζεται ξεχωριστά και βάφεται τοπικά (*touch up*) αν έχει έντονες φθορές, ή ολόκληρο (*full coated*) αν είναι σε καλή κατάσταση.
5. Η περιοχή εφαρμογής ποσοστιαία: δηλαδή η έκταση της περιοχής που βάφεται σε σχέση με τη συνολική περιοχή εργασιών στο πλοίο.
6. Η επιφάνεια της περιοχής που βάφεται.
7. Το πάχος της επίστρωσης *DFT* (δηλαδή το πάχος ξηρού φιλμ που δημιουργείται αφού στεγνώσει το χρώμα).
8. Το πάχος της υγρής επίστρωσης *WFT* (δηλαδή το πάχος υγρού φιλμ που δημιουργείται πριν στεγνώσει το χρώμα).
9. Ο όγκος του χρώματος όταν στεγνώσει.
10. Το ποσοστό της βαφής που χάνεται κατά την εφαρμογή. Κατά τη διαδικασία της βαφής με σπρέι, ένα ποσοστό του χρώματος χάνεται, είτε λόγω των καιρικών

συνθηκών (αέρας, υγρασία κλπ.), είτε λόγω των απωλειών στα δοχεία ανάμιξης και μεταφοράς, καθώς και του ανθρώπινου παράγοντα που έχει να κάνει με τον χειρισμό του πιστολιού βαφής. Αυτό προσδιορίζεται εμπειρικά και εφαρμόζεται το ίδιο ποσοστό κάθε φορά.

11. Η ποσότητα του χρώματος ανά μονάδα επιφάνειας.
12. Ο τύπος της βαφής.
13. Ο αριθμός δοχείων χρώματος χωρητικότητας 20 λίτρων που απαιτείται.

Πίνακας 9. Τεχνικά δεδομένα επιστρώσεων για τη βαφή του *Flat Bottom* (4215 m² est.).

Product	Color	EU Data sheet no.	Coat	Area (%)	Area (m ²)	DFT (μm)	WFT (μm)	Vol. Sol. (%)	Loss Factor (%)	Pract. Spread (m ² /L)	Thinner Type	Quantity
UMEGUARD SX HS	RED-BROWN CS-511	440 EE9511	t/u	20	843	150	195	77	30	3,59	EPOXY THINNER A	12x20 L
BANNOH 1500 RZ	PLUM	268 EE0622	t/u	20	843	100	156	64	30	4,48	EPOXY THINNER A	10x20 L
SEA GRANDPRIX 770 HS	BROWN	685 RR2935	f/c	100	4215	80	119	67	30	5,86	CR/ACRI THINNER A	36x20 L
Dry to launch: 12 hours												

Πίνακας 10. Τεχνικά δεδομένα επιστρώσεων για τη βαφή των *Vertical Sides* (3256 m² est.).

Product	Color	EU Data sheet no.	Coat	Area (%)	Area (m ²)	DFT (μm)	WFT (μm)	Vol. Sol. (%)	Loss Factor (%)	Pract. Spread (m ² /L)	Thinner Type	Quantity
UMEGUARD SX HS	RED-BROWN CS-511	440 EE9511	t/u	50	1628	150	195	77	30	3,59	EPOXY THINNER A	23x20 L
BANNOH 1500 RZ	PLUM	268 EE0622	t/u	50	1628	100	156	64	30	4,48	EPOXY THINNER A	19x20 L
SEA GRANDPRIX 770 HS	BROWN	639 RR2935	f/c	100	3256	130	200	65	30	3,50	CR/ACRI THINNER A	47x20 L
Dry to launch: 12 hours												

Πίνακας 11. Τεχνικά δεδομένα επιστρώσεων για τη βαφή του *Boottop* (3486 m² est.).

Product	Color	EU Data sheet no.	Coat	Area (%)	Area (m ²)	DFT (μm)	WFT (μm)	Vol. Sol. (%)	Loss Factor (%)	Pract. Spread (m ² /L)	Thinner Type	Quantity
UMEGUARD SX HS	RED-BROWN CS-511	440 EE9511	t/u	50	1743	125	162	77	30	4,31	EPOXY THINNER A	21x20 L
BANNOH 1500 RZ	PLUM	440 EE9614	t/u	50	1743	125	162	77	30	4,31	EPOXY THINNER A	21x20 L
SEA GRANDPRIX 770 HS	BROWN	532 VR9511	f/c	100	3486	60	150	40	50	3,33	CR/ACRI THINNER A	53x20 L
Dry to launch: 12 hours												

Πίνακας 12. Τεχνικά δεδομένα επιστρώσεων για τη βαφή του *Topside* (3200 m² est.).

Product	Color	EU Data sheet no.	Coat	Area (%)	Area (m ²)	DFT (μm)	WFT (μm)	Vol. Sol. (%)	Loss Factor (%)	Pract. Spread (m ² /L)	Thinner Type	Quantity
UMEGUARD SX HS	RED-BROWN CS-511	440 EE9511	t/u	40	1280	125	162	77	30	4,31	EPOXY THINNER A	15x20 L
BANNOH 1500 RZ	PLUM	440 EE9614	t/u	40	1280	125	162	77	30	4,31	EPOXY THINNER A	15x20 L
SEA GRANDPRIX 770 HS	BROWN	532 VR0013	f/c	100	3200	60	50	40	50	3,33	CR/ACRI THINNER A	48x20 L
Dry to launch: 12 hours												

5.3.4 Υπολογισμός κόστους βαφής

Για κάθε τμήμα του πλοίου ξεχωριστά υπολογίστηκε το κόστος βαφής. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται στους πίνακες 13 έως 16. Σ' αυτά περιλαμβάνονται:

1. Η ονομασία του προϊόντος.
2. Το χρώμα της βαφής.
3. Η περιοχή βαφής. Δίνεται το εμβαδόν της περιοχής του πλοίου που βάφτηκε με το χρώμα της αντίστοιχης σειράς.
4. Ο τύπος εφαρμογής του προϊόντος (τοπική βαφή - *touch up* και ολική βαφή - *full coated*): ανάλογα με τις φθορές που υπάρχουν στα ελάσματα του πλοίου, κάθε σημείο εξετάζεται ξεχωριστά και βάφεται τοπικά (*touch up*) αν έχει έντονες φθορές, ή ολόκληρο (*full coated*) αν είναι σε καλή κατάσταση.
5. Το εμβαδόν της περιοχής που βάφεται.
6. Η θεωρητική κάλυψη επιφάνειας σε τετραγωνικά μέτρα ανά λίτρο. Η εταιρεία που παράγει και προμηθεύει τα χρώματα, έχει προσδιορίσει πειραματικά την κάλυψη της επιφάνειας ανά λίτρο. Αυτή η ποσότητα είναι θεωρητική, καθώς στην πράξη το ποσοστό κάλυψης είναι συχνά μικρότερο από αυτό που προσδιορίζει η εταιρεία.
7. Το ποσοστό απώλειας της βαφής. Κατά τη διαδικασία της βαφής με σπρέι, ένα ποσοστό του υγρού χρώματος χάνεται, είτε λόγω των καιρικών συνθηκών (αέρας,

υγρασία κλπ.), είτε λόγω του ανθρώπινου παράγοντα που έχει να κάνει με τον χειρισμό του πιστολιού βαφής. Αυτό προσδιορίζεται εμπειρικά και εφαρμόζεται το ίδιο ποσοστό κάθε φορά.

8. Η πρακτική κάλυψη επιφάνειας σε τετραγωνικά μέτρα ανά λίτρο. Γίνεται ο υπολογισμός της πραγματικής επιφάνειας που βάφεται.
9. Τα λίτρα βαφής που χρειάζονται.
10. Η τιμή της βαφής ανά λίτρο.
11. Το συνολικό κόστος πριν την έκπτωση. Κατά τη συμφωνία μεταξύ της πλοιοκτήτριας εταιρείας και του ναυπηγείου γίνονται αναδιαμορφώσεις στις τιμές του καταλόγου ανάλογα με το χρονικό διάστημα των εργασιών και τις διαπραγματεύσεις που γίνονται.
12. Το ποσοστό της έκπτωσης που έγινε από το ναυπηγείο.
13. Το ποσό της έκπτωσης που παρέχει η εταιρία που αναλαμβάνει τη βαφή.
14. Η τελική τιμή μετά την έκπτωση.

Πίνακας 13. Κόστος βαφής *Flat Bottom* (4215 m² est.).

Product	Color	EU Data sheet no.	C o a t	Area (m ²)	Theor. Spread (m ² /L)	Loss Fact. (%)	Pract. Spread (m ² /L)	Prac. Est. qty. (L)	Price per L (\$)	Gross total (\$)	- %	Discount (\$)	Total (\$)
UMEGU ARD SX HS	RED-BROWN CS-511	440 EE9511	t / u	843	5,13	30	3,59	235	11,8	2773,0	50	1386,5	1386,5
BANNOH 1500 RZ	PLUM	268 EE0622	t / u	843	6,40	30	4,48	189	12,4	2343,6	50	1171,8	1171,8
SEA GRANDPRIX 770 HS	BROWN	685 RR2935	f / c	4215	8,38	30	5,86	719	32,3	23223,7	50	11611,8	11611,8
Section totals:								1143		28340,3		14170,2	14170,2

Πίνακας 14. Κόστος βαφής *Vertical Sides* (3256 m² est.)

Product	Color	EU Data sheet no.	Coat	Area (m ²)	Theor. Spread (m ² /L)	Loss Factor (%)	Pract. Spread (m ² /L)	Pract. Est. qty. (L)	Price per L (\$)	Gross total (L)	- %	Discount (\$)	Total (\$)
UMEG UARD SX HS	RED-BROWN CS-511	440 EE9511	t/u	1628	5,13	30	3.59	454	11,8	5357,2	50	2678,6	2678,6
BANNO H 1500 RZ	PLUM	268 EE0622	t/u	1628	6,40	30	4.48	364	12,4	4513,6	50	2256,8	2256,8
SEA GRAND PRIX 770 HS	BROWN	685 RR2935	f/c	3256	5,00	30	3.50	931	64,3	59863,3	50	2931,6	29931,7
Section totals:								1749		69734,1		34867,0	34867,0

Πίνακας 15. Κόστος βαφής *Boottop* (3486 m² est.)

Product	Color	EU Data sheet no.	Coat	Area (m ²)	Theor. Spread (m ² /L)	Loss Factor (%)	Pract. Spread (m ² /L)	Pract. Est. qty. (L)	Price per L (\$)	Gross total (\$)	- %	Discount (\$)	Total (\$)
UMEG UARD SX HS	RED-BROWN CS-511	440 EE9511	t/u	1743	6.16	30	4.31	405	11.8	4779,0	50	2389,5	2389,5
UMEG UARD SX HS	GREY CS-614	440 EE9614	t/u	1743	6.16	30	4.31	405	11.8	4779,0	50	2389,5	2389,5
ACRI 700 FINISH	RED-BROWN CS-511	532 VR9511	f/c	3486	6.67	50	3.33	1046	9.9	10407,7	50	5203,8	5203,8
Section totals:								1856		19965,7		9982,8	9982,8

Πίνακας 16: Κόστος βαφής *Topsides* (3200 m² est.).

Product	Color	EU Data sheet no.	Coat	Area (m ²)	Theor. Spread (m ² /L)	Loss Factor (%)	Pract. Spread (m ² /L)	Pract. Est. qty. (L)	Price per L (\$)	Gross total (\$)	- %	Discount (\$)	Total (\$)
UMEGUARD SX HS	RED-BROWN CS-511	440 EE9511	t/u	1280	6.16	30	4.31	297	11,8	3504,6	50	1752,3	1752,3
UMEGUARD SX HS	GREY CS-614	440 EE9614	t/u	1280	6.16	30	4.31	297	11,8	3504,6	50	1752,3	1752,3
ACRI 700 FINISH	BLACK CS-650	532 VR0013	f/c	3200	6.67	50	3.33	960	9,9	9552,0	50	4776,0	4776,0
Section totals:								1856		16561,2		8280,6	8280,6

Στην συνέχεια, κατασκευάστηκε ο πίνακας 17, στον οποίο παρουσιάζονται τα διαλυτικά που χρειάστηκαν μαζί με τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν. Αυτά, κατόπιν συνεννόησης με το ναυπηγείο και την πλοιοκτήτρια εταιρεία δεν χρεώθηκαν στο συνολικό κόστος εργασιών. Συνεπώς, αυτά δεν θα συμπεριληφθούν στον τελικό προϋπολογισμό.

Πίνακας 17. Στοιχεία για τα διαλυτικά (*Thinners*) που χρησιμοποιήθηκαν στις εργασίες.

Product	EU Data sheet no.	Quantity (L)	Price per L (\$)	Gross total (\$)	Discount (%)	Discount (\$)	Total (\$)
EPOXY THINNER A	901 TE0061	280	3,95	1106,0	100	1106,0	0,0
CR/ACRI THINNER A	908 TR0061	380	3,85	163,0	100	146,0	0,0
SILICON THINNER A	948 TS0061	20	3,95	79,0	100	79,0	0,0
Totals:		680		2648,0		2648,0	0,0

Τέλος, για τον υπολογισμό του κόστους βαφής κατασκευάστηκε ο συγκεντρωτικός πίνακας 18, στον οποίο φαίνονται:

1. Η περιοχή βαφής, δηλαδή η περιοχή του πλοίου που γίνεται η κάθε εργασία.
2. Η συνολική επιφάνεια που βάφεται, σε m².
3. Τα λίτρα χρώματος που χρησιμοποιήθηκαν.
4. Το κόστος της βαφής.
5. Η έκπτωση που έγινε από το ναυπηγείο.
6. Το ποσό της έκπτωσης και η τελική τιμή μετά την έκπτωση.

Πίνακας 18. Τα κόστη των χρωμάτων.

Description	Area (m ²)	Quantity (L)	Gross total (\$)	Discount (%)	Discount (\$)	Net total (\$)
Flat bottom	4215	1143	28340,3	50	14170,2	14170,2
Vertical sides	3256	1749	69734,1	50	34867,1	3,867,1
Boottop	3486	1856	19965,7	50	9982,8	9982,8
Topsides	3200	1554	16561,2	50	8280,6	8280,6
Thinners		680	2648,0	100	2648,0	0,0
Total:	14227	7055	142895,0		69948,6	67300,6

5.3.5 Υπολογισμός τελικού κόστους εργασιών

Στο τελικό στάδιο της παρούσης εργασία, κατασκευάστηκε ο συγκεντρωτικός πίνακας 19 στον οποίο παρουσιάζονται τα συνολικά τελικά κόστη.

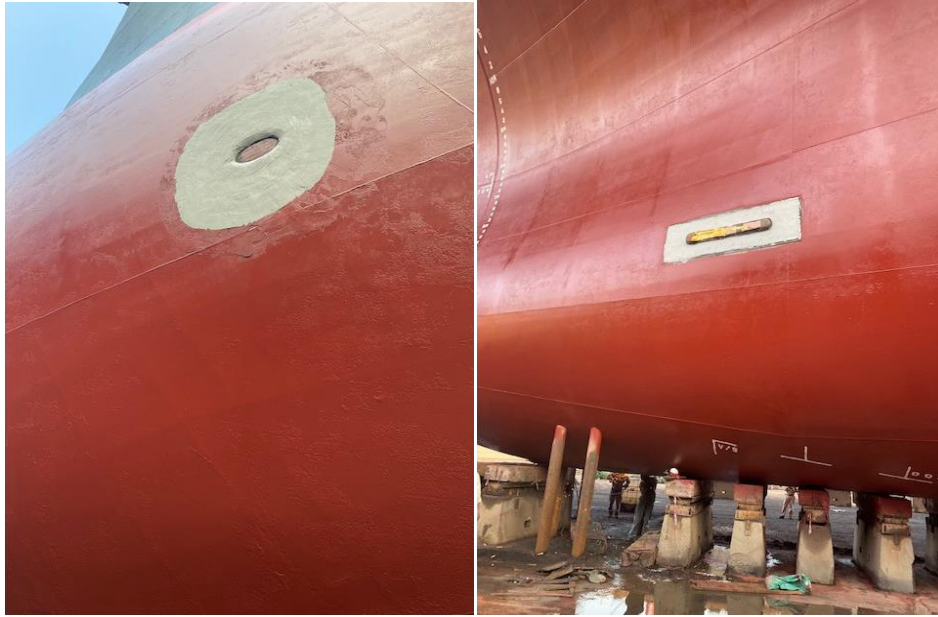
Πίνακας 19. Συνολικό κόστος των εργασιών.

	LP Fresh water (\$)	Hull Grit blasting (\$)	Shipyard works (\$)	Hull Paints (\$)
Cost	2831,4	141543,0	9974,6	67300,6
Total:	221.649,6 \$			

Συνεπώς, το συνολικό κόστος για τις εργασίες καθαρισμού της γάστρας με φρέσκο νερό, αμμοβολή βαθμού Sa1.0 και Sa2.0, τα εργατικά του ναυπηγείου καθώς και των χρωμάτων ανέρχεται σε **221.649,6 \$**.

5.4 Σύστημα καθοδικής προστασίας ICCP

Στο συγκεκριμένο πλοίο, για την προστασία της γάστρας από τη διάβρωση χρησιμοποιείται η μέθοδος του εξωτερικά επιβαλλόμενου ρεύματος προστασίας από μονάδα τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος. Στη μέθοδο αυτή το ρεύμα παρέχεται από έναν ανορθωτή ή μία πηγή συνεχούς ρεύματος. Ένα σύστημα *ICCP* αποτελείται από την πηγή τροφοδοσίας, την άνοδο, τα ηλεκτρόδια αναφοράς, το ηλεκτρολυτικό περιβάλλον και τη δομή που πρόκειται να προστατευτεί. Στην εικόνα 35 φαίνεται η αντικατάσταση των αισθητήρων (*ICCP sensors*), που έγινε κατά τη διάρκεια του δεξαμενισμού. Το *ICCP* ελέγχεται με μετρήσεις της έντασης του ρεύματος καθοδικής προστασίας που αφορούν πόσα *Amber* παράγει το σύστημα και αν χρειάζεται να αντικατασταθούν τα ηλεκτρόδια αναφοράς και τα ηλεκτρόδια που αποτελούν την άνοδο του συστήματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, κρίθηκε αναγκαίο ότι έπρεπε να πραγματοποιηθεί η αντικατάστασή τους.



Εικόνα 35. Η αντικατάσταση των ανόδων του συστήματος ICCP στην πλώρη και την πρύμνη του πλοίου (πηγή: Chartworld Shipping Corp. 2020).

5.5 Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση εφαρμογής αντιδιαβρωτικής προστασίας στη γάστρα ενός συγκεκριμένου πλοίου, επιλέχθηκε ένα πλοίο τύπου *Bulk Carrier*, προκειμένου να γίνει μία μελέτη των εργασιών συντήρησης που έγιναν στο πλοίο, κατά τη διάρκεια της δεύτερης ειδικής επιθεώρησης (*Special Survey*). Οι εργασίες αυτές πραγματοποιήθηκαν στο ναυπηγείο *Guangzhou Wenchong Dockyard Co. LTD*, σε συνθήκες θερμοκρασίας 23°C και υγρασίας 62%. Οι εργασίες ήταν σχετικές με την αντιδιαβρωτική προστασία του πλοίου και συγκεκριμένα αναλύθηκαν η διαδικασία του καθαρισμού του κύτους του πλοίου με φρέσκο νερό, στην συνέχεια οι εργασίες καθαρισμού της γάστρας από τη διάβρωση με αμμοβολή και η βαφή της γάστρας.

Αρχικά, με τη χρήση γλυκού νερού υψηλής πίεσης έγινε απομάκρυνση της βιορύπανσης από την επιφάνεια της γάστρας. Στη συνέχεια, έγινε αφαίρεση του παλιού αντιρρυπαντικού στρώματος. Οι περιοχές με εντονότερη διάβρωση καθαρίστηκαν τοπικά με καλέμι και έπειτα πραγματοποιήθηκε καθαρισμός της επιφάνειας της γάστρας με αμμοβολή. Οι περιοχές με ήπια διάβρωση καθαρίστηκαν σε βαθμό έντασης Sa1, ενώ οι περιοχές με εντονότερη διάβρωση τοπικά σε βαθμό έντασης Sa2. Παράλληλα με τις εργασίες που έγιναν στη γάστρα, καθαρίστηκαν οι θυρίδες αναρρόφησης και αφού επιθεωρήθηκαν, βάρθηκαν εκ νέου και επανατοποθετήθηκαν στην αρχική τους θέση. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε η επαναβαφή της γάστρας και ξαναβάφτηκαν τα διακριτικά

του πλοίου. Σε πρώτη φάση, βάφτηκαν τοπικά τα σημεία με εντονότερη διάβρωση με εποξειδική βαφή δύο φορές με χρώμα διαφορετικής σύστασης. Μετά την πάροδο χρονικού διαστήματος 12 ωρών βάφτηκε και η υπόλοιπη γάστρα του πλοίου.

Σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των επιστρώσεων της βαφής και κατ' επέκταση τη διάβρωση της γάστρας είναι η θερμοκρασία και η υγρασία. Όταν η βαφή γίνεται σε ζεστό περιβάλλον άνω των 30°C, σχηματίζονται πορώδη στρώματα βαφής με τραχιά επιφάνεια και ανομοιογενές πάχος. Αντιθέτως, υπερβολικά χαμηλές θερμοκρασίες καθιστούν το επικαλυπτικό υλικό ιδιαίτερα πυκνό, με αποτέλεσμα η επίστρωση να είναι υπερβολικά δύσκολη ή αδύνατη. Για να βελτιωθεί η παραπάνω διαδικασία επίστρωσης αρκεί να προστεθεί διαλυτικό, χωρίς ωστόσο η ποσότητα του να υπερβεί το 5% γιατί αλλοιώνονται σημαντικά οι ιδιότητες των επιστρωμάτων. Η βαφή δεν πρέπει να πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες μικρότερες του 1°C γιατί είναι πιθανή η παρουσία πάγου στους πόρους της επιφάνειας της γάστρας του πλοίου, που προκαλεί ελαττωμένη προστασία έναντι της διάβρωσης. Οι εργασίες στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασίας 23 °C που είναι αποδεκτή.

Όταν η ατμοσφαιρική υγρασία είναι υψηλή, υπάρχει κίνδυνος συμπύκνωσης και εγκλωβισμού υδρατμών στην επιφάνεια που πρόκειται να βαφτεί. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη πρόσφυση της επίστρωσης στη χαλύβδινη επιφάνεια της γάστρας, τη γρηγορότερη διάβρωση του χάλυβα, την αλλοίωση των ιδιοτήτων του επικαλυπτικού και τελικά την καταστροφή της επίστρωσης. Η υγρασία εκφράζεται σε ποσοστό επί τις εκατό και κυμαίνεται από 50% έως 90%. Στην περίπτωση που εξετάστηκε η υγρασία ήταν 62% κατά τη διάρκεια της βαφής του πλοίου, τιμή φυσιολογική και αποδεκτή. Επειδή ο καιρός είναι ευμετάβλητος πρέπει να επιλέγονται κατάλληλες καιρικές συνθήκες και περίοδοι για την εφαρμογή της βαφής. Σαν γενικός κανόνας ισχύει ότι η βαφή δεν πρέπει να εφαρμόζεται σε ανοιχτό περιβάλλον με βροχή, χιόνι, ομίχλη, πάγο ή να εφαρμόζεται όταν η σχετική υγρασία είναι μεγαλύτερη από 85%.

Οι τελικές επιστρώσεις βαφής που χρησιμοποιούνται, βοηθούν στην αποφυγή απόθεσης ανεπιθύμητων οργανισμών στη γάστρα του πλοίου. Οι οργανισμοί αυτοί μπορεί να είναι ζωικής ή φυτικής προέλευσης που προσκολλώνται στα ύφαλα του πλοίου και δημιουργούν προβλήματα στην πρόωση. Συγκεκριμένα, για τα ύφαλα του πλοίου υπάρχουν ειδικές βαφές (υφαλοχρώματα) οι οποίες περιέχουν ουσίες που αποτρέπουν την απόθεση ανεπιθύμητων οργανισμών στην επιφάνεια της γάστρας του πλοίου. Έτσι παραμένει λεία για καθορισμένο χρονικό διάστημα ή μέχρι την επόμενη επιθεώρηση.

Στο τελικό στάδιο της μελέτης, έγινε ένας αρχικός υπολογισμός (εκτίμηση) του κόστους των απαιτούμενων εργασιών για την ανανέωση της αντιδιαβρωτικής προστασίας της γάστρας του πλοίου. Αρχικά έγινε υπολογισμός του κόστους για τον

καθαρισμό με γλυκό νερό υψηλής πίεσης, του κόστους καθαρισμού με αμμοβολή, του κόστους εργασιών βαφής στο ναυπηγείο, της ποσότητας χρώματος που απαιτείται και των διαλυτικών που χρειάζονται για τις εργασίες εφαρμογής των επιστρώσεων (βαφή). Τα αποτελέσματα συνοψίζονται σε κατάλληλους πίνακες στους οποίους δίνεται το κόστος βαφής ξεχωριστά για κάθε τμήμα του πλοίου και το συνολικό κόστος των εργασιών ανανέωσης της βαφής του πλοίου.

5.6 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν οι μέθοδοι αντιδιαβρωτικής προστασίας της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου μέσω της εφαρμογής προστατευτικών χρωμάτων και κατάλληλου συστήματος καθοδικής προστασίας. Παράλληλα, έγινε εκτενής περιγραφή των τύπων επιθεωρήσεων που πραγματοποιούνται από τους Νηογνώμονες με σκοπό την εξασφάλιση της καταλληλότητας του πλοίου ώστε να πραγματοποιεί ασφαλείς πλόες.

Πραγματοποιήθηκε μία μελέτη περίπτωσης, που αφορά ένα πλοίο τύπου *Bulk Carrier*, αναφορικά με τον καθαρισμό της γάστρας από τα υπολείμματα της διάβρωσης και στην συνέχεια την επαναβαφή της. Στην συνέχεια, βάσει αυτών των εργασιών έγινε μία οικονομοτεχνική μελέτη, προκειμένου να υπολογιστεί ένα ενδεικτικό εκτιμώμενο κόστος των εργασιών ανανέωσης της αντιδιαβρωτικής προστασίας της γάστρας του πλοίου.

Μέσα από τα προβλήματα που δημιουργεί η διάβρωση προκύπτουν συνεχώς νέα ζητήματα που επηρεάζουν τόσο τη λειτουργία του πλοίου όσο και την ασφάλεια πλεύσης. Για τον λόγο αυτό, είναι σημαντική η έρευνα σχετικά με θέματα διάβρωσης των μεταλλικών κατασκευών και τα μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον περιορισμό της. Λόγω της συνεχούς εξέλιξης και της ανάπτυξης νέων σύγχρονων υλικών και τεχνολογιών αντιδιαβρωτικής προστασίας, είναι ιδιαίτερη σημασίας η μελέτη, η ανάπτυξη και η εφαρμογή αυτών των υλικών και τεχνολογιών, καθώς αναμένεται να έχουν σημαντικά μελλοντικά οφέλη στη συντήρηση και καλή λειτουργία των ναυπηγικών και θαλάσσιων κατασκευών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Άδεια χρήσης δεδομένων από την Chartworld Shipping Corp., για τις ανάγκες της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

License was kindly provided by Chartworld Shipping Corporation:



Προς Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Για την ολοκλήρωση την διπλωματικής εργασίας του φοιτητή Δημήτρη Παπαδάκη με τίτλο: «Αντιδιαβρωτική προστασία του πλοίου, συντήρηση και επισκευές», δόθηκαν σε αυτόν δεδομένα και πληροφορίες σχετικά με τον κόστος βαφής του πλοίου και πιο συγκεκριμένα για το κεφάλαιο 4 του πειραματικού μέρους.

Τα δεδομένα αυτά αποτελούν πνευματική ιδιοκτησία της εταιρείας *Chartworld Shipping Corporation* και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τους λόγους συγγραφής και παρουσίασης της παραπάνω διπλωματικής εργασίας, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς της σχολής.

Περαιτέρω χρήση των δεδομένων θα πρέπει να γίνει με γραπτή άδεια της εταιρείας *Chartworld Shipping Corporation*.



Βιβλιογραφία

ABS (2017) “The application and inspection of marine coating systems”.

ABS (2021) “Survey after construction”, Part 7.

Alandia, (2020). “Safe mooring- Anchoring”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://alandia.com/article/safe-mooring-anchoring/>

Alatas Singapore Pte Ltd.; (2020). “TTS HUA HAI hatch covers repairs”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://www.alatas.com/news-merchant-shipping-tts-hua-hai-hatch-cover-repairs/>

Argemon Shipping Survey Inspection Services Co. Ltd, (2020). “P&I SURVEYS IN INSURANCE COVERAGE”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://www.argemon.com.tr/en/services/p-i-surveys-in-insurance-coverage>

Ashworth V.; (2010) “Principles of Cathodic Protection”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

http://www.elsevierdirect.com/brochures/shreir/PDF/Principles_of_Cathodic_Protection.pdf

Bohnes H. and Richter B.; (1997) Cathodic Protection of Ships. In W. von Baeckmann, W. Schwenk, and W. Prinz, (Eds). “Handbook of Cathodic Corrosion Protection”, 3rd Ed., Huston, TX, Gulf Professional Publishing.

British Standard (1991) “Cathodic protection, Part 1: Code of practice for land and marine applications – (formerly CP 1021)”, BS 7361-1.

Burden T.; (2019) “Epoxy Barrier Coats”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://www.westmarine.com/WestAdvisor/Epoxy-Barrier-Coats>

Bureau Veritas (2020) “Rules for the Classification of Steel Ships. Part A- Classification and Surveys”.

Bushman J.B.; (2013) "Corrosion and cathodic protection theory".

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://www.idc->

[online.com/technical_references/pdfs/electronic_engineering/corrosion_theory.pdf](https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/electronic_engineering/corrosion_theory.pdf)

Chartworld Shipping Corporation (2021) Έγγραφα και φωτογραφικό υλικό που παραχωρήθηκαν από την εταιρία, στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσης εργασίας.

DNV (2012) "Survey Requirements", Part 7 Chapter 1.

DNVGL (2017) "Corrosion protection of ship", Class Guideline, DNVGL-CG-0288

Francis P.E.; (2020) "Cathodic Protection".

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

http://www.npl.co.uk/upload/pdf/cathodic_protection_in_practise.pdf

French Standard (2012) "Cathodic protection of ships hulls", NF EN 16222, (English version).

Glister P.; (2017) "Why is Tank Lining Important?".

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://www.linkedin.com/pulse/why-tank-lining-important-paul-glister/>

Gruszka P., Rokicka-Praxmayer J., Cupak J., Wolska M.; (2013) "Unintended biological cargo of ships entering the River Odra estuary: Assemblages of organisms in ballast tanks".

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

https://www.researchgate.net/publication/256505052_Unintended_biological_cargo_of_ships_entering_the_River_Odra_estuary_Assemblages_of_organisms_in_ballast_tanks

IMO (2017) "List of certificates and documents required to be carried on board ships".

Jirapure S.C., Borade A.B.; (2014) "International journal of engineering sciences & research technology". ISSN:2277-9655.

Jotun (2001) "Training Course Handouts. Jotun Marine Coatings".

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://www.jotun.com/gr/en/b2b/Why-Jotun/paint-schools.aspx>

Makhlouf A.S.H.; (2015) “Intelligent Stannate-Based Coatings of Self-Healing Functionality for Magnesium Alloys”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/general-corrosion>

MarineTraffic (2021). “Star Planet, Bulk Carrier, IMO:9316036”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

https://www.marinetraffic.com/el/ais/details/ships/shipid:372051/mmsi:311000099/imo:9316036/vessel:STAR_PLANET

Mayor H.G.; (2013a). “Surveyor Guide Notes for Hatch Covers of Dry Cargo Ships Survey”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://marinesurveypractice.blogspot.com/2013/01/what-to-look-for-in-hatch-covers-of-dry.html>

Mayor H.G.; (2013b). “Surveyor Guide Notes for Outside Inspection of the Ship's Bottom”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://marinesurveypractice.blogspot.com/2013/01/outside-inspection-of-ships-bottom.html>

Nakahara L.; (2010) “USS Chosin enters dry dock at PHNSY”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://www.dvidshub.net/image/394942/uss-chosin-enters-dry-dock-phnsy>

Nalco Water Company, (2018). “Nalco Water Handbook, Fourth Edition”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781259860973/toc-chapter/chapter16/section/section19>

Obanijesu E.; (2009) “Modeling the H₂S Contribution to Internal Corrosion Rate of Natural Gas Pipeline”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

https://www.researchgate.net/publication/233071709_Modeling_the_H2S_Contribution_to_Internal_Corrosion_Rate_of_Natural_Gas_Pipeline

Pedefferri P., Lazzari L., Pedefferri M.; (2018) “Corrosion science and engineering”, Springer, Italy.

PES Solutions (2014) “PES-201: Boat Propeller Cavitation and Repair”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<http://blog.pes-solutions.com/boat-propeller-cavitation-and-repair-pes-201/>

Prawoto Y., Ibrahim K.M., Nik W.S.; (2009) “Effect of pH and chloride concentration on the corrosion of duplex stainless steel”.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

https://www.researchgate.net/publication/238739911_Effect_of_ph_and_chloride_concentration_on_the_corrosion_of_duplex_stainless_steel

Rogers H.; (2018) “The LNG Shipping Forecast: costs rebounding, outlook uncertain”, The Oxford Institute for Energy Studies.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

<https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2018/02/The-LNG-Shipping-Forecast-costs-rebounding-outlook-uncertain-Insight-27.pdf>

Schmid F.J.; (1999) “Operations and maintenance of cathodic protection systems”, U.S. Army Corps of Engineers Installation Support Division.

Ανακτήθηκε το Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

https://www.wbdg.org/FFC/ARMYCOE/PWTB/pwtb_420_49_29.pdf

Taylan M.; (2009) “Corrosion and Corrosion in Marine Environment”. Istanbul Technical University, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, GEM 418E Lecture Notes, Istanbul.

Tezdogan T., and Demirel Y.K. (2014) “An overview of marine corrosion protection with a focus on cathodic protection and coatings”, *Brodogradnja/Shipbuilding*, **65**(2), 49-59.

Ukpaka C.P.; (2011) “Modeling the rate of biocorrosion and the effects of redox reactions of metals in water environment”, *J.Eng.Tech.Res.* 3(13), 371-380.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

https://www.researchgate.net/publication/272909878_Modeling_the_rate_of_biocorrosion_and_the_effects_of_redox-reactions_of_metals_in_water_environment

USDOD (2003) "Operation and maintenance: Cathodic protection systems",
UFC 3-570-06.

Ανακτήθηκε τον Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

https://maritime.org/doc/pdf/ufc_3_570_06.pdf

Xiang Y., Wang Z., Xu M., Li Z.; (2013) "A mechanistic model for pipeline steel corrosion in supercritical CO₂ - SO₂ - O₂ - H₂O environments".

Ανακτήθηκε το Ιούλιο του 2021 από το διαδικτυακό ιστότοπο:

https://www.researchgate.net/publication/262161294_A_mechanistic_model_for_pipeline_steel_corrosion_in_supercritical_CO_2_SO_2_O_2_H_2_O_environments

Καρύδης Π.; (2002) "Επιθεώρηση, συντήρηση και επισκευή της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου". Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.

Υφαντής Δ.; (2003). "Υλικά: Διάβρωση και Προστασία", Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.