

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
**«Αντιδιαβρωτική προστασία δεξαμενών έρματος
πλοίων»**

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2022

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΑΥΡΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΜΑ: Αντιδιαβρωτική προστασία δεξαμενών έρματος πλοίων.

**ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΘΕΟΦΑΝΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ
Α.Γ.Μ: 4512**

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας:

Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:

<i>A/A</i>	<i>Ονοματεπώνυμο</i>	<i>Ειδικότητα</i>	<i>Αξιολόγηση</i>	<i>Υπογραφή</i>
<i>1</i>				
<i>2</i>				
<i>3</i>				
<i>ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ</i>				

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ : ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΤΣΟΥΛΗΣ

Περιεχόμενα

Περίληψη (Abstract).....	3
Υπεύθυνη δήλωση	4
Εισαγωγή	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο ΟΙ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΕΡΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.....	6
1.1 Βασικές έννοιες και ορισμοί	6
1.2 Ο ρόλος των δεξαμενών έρματος	8
1.3 Υλικά κατασκευής δεξαμενών	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο Η ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΕΡΜΑΤΟΣ.....	14
2.1 Εισαγωγή	13
2.2 Το φαινόμενο της διάβρωσης	13
2.3 Είδη διάβρωσης	14
2.4 Το θαλασσινό νερό ως παράγοντας διάβρωσης.....	18
2.5 Η διάβρωση των δεξαμενών έρματος	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΕΡΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ...	22
3.1 Μέθοδοι προστασίας από τη διάβρωση.....	22
3.2 Η μέθοδος επίστρωσης	23
3.3 Η μέθοδος της καθοδικής προστασίας	26
3.4 Η μέθοδος της ελεγχόμενης ατμόσφαιρας	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ – ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ – ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ	30
4.1 Συντήρηση των δεξαμενών έρματος	30
4.2 Επιθεώρηση δεξαμενών έρματος.....	31
Συμπεράσματα	34
Βιβλιογραφία	35

Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να εξετάσει το πρόβλημα της διάβρωσης των δεξαμενών έρματος των πλοίων και τις μεθόδους προστασίας που χρησιμοποιούνται.

Οι δεξαμενές έρματος εκτίθενται σε συνεχές διαβρωτικό περιβάλλον λόγω της σύστασης του θαλασσινού νερού και η αντιδιαβρωτική προστασία τους , αποτελεί σημαντικό παράγοντα για καλή κατάσταση και λειτουργία τους.

Στην εργασία παρουσιάζονται οι συνηθέστερες μέθοδοι αντιδιαβρωτικής προστασίας των δεξαμενών έρματος και κανονισμοί που ισχύουν σχετικά με τη συντήρηση και επιθεώρησή τους.

Abstract

The purpose of this study is to examine the problem of ballast tanks' corrosion on ships and the protection methods used.

Ballast tanks are exposed to a continuous corrosive environment due to the composition of seawater and their corrosion protection is an important factor for their good condition and operation.

This study presents the most common methods of corrosion protection of ballast tanks and regulations applicable to their maintenance and their inspection

Υπεύθυνη δήλωση περί μη λογοκλοπής

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα εργασία με τίτλο «*Αντιδιαβρωτική προστασία δεξαμενών έρματος πλοίων*» δεν έχει επανυποβληθεί σε άλλο εκπαιδευτικό ίδρυμα, αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές που έχω χρησιμοποιήσει έχουν δηλωθεί κατάλληλα στις βιβλιογραφικές παραπομπές και αναφορές.

Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

N. Μηχανιώνα XX Χχχχχχχχ 2022

Με την επιφύλαξη κάθε νόμιμου δικαιώματός μου.

Ο ΔΗΛΩΝ,
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ

[υπογραφή φοιτητή]

Εισαγωγή

Η διάβρωση των μετάλλων αποτελεί μια σοβαρή τεχνική πρόκληση όχι μόνο για τη ναυτιλιακή βιομηχανία αλλά γενικότερα για τη ναυπηγική, καθώς στόχος κάθε κατασκευής είναι η αντοχή της στο χρόνο. Για τη ναυτιλιακή βιομηχανία το πρόβλημα της διάβρωσης στο θαλάσσιο περιβάλλον συνιστά πρόκληση διότι σχετίζεται τόσο με τη διάρκεια ζωής των μεταλλικών κατασκευών όσο με την αντοχή και τη λειτουργικότητα τους.

Ειδικά στην περίπτωση των πλοίων, λόγω του ιδιαίτερου ρόλου που διαδραματίζουν στις θαλάσσιες μεταφορές, το θέμα είναι πολύ σοβαρό καθώς επηρεάζει άμεσα την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας και του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό λαμβάνονται ειδικά μέτρα σχετικά με την πρόληψη και αντιμετώπιση των επιπτώσεων της διάβρωσης.

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να παρουσιάσει τα προβλήματα που δημιουργεί η διάβρωση στις δεξαμενές έρματος και τις μεθόδους αντιμετώπισης αυτών. Πιο συγκεκριμένα :

Στο 1^ο Κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται οι δεξαμενές έρματος των πλοίων, με έμφαση στη χρήση και στα υλικά κατασκευής τους.

Στο 2^ο Κεφάλαιο, μελετάται το πρόβλημα της διάβρωσης στη ναυτιλία και ειδικότερα στα πλοία, με αρχική αναφορά στα είδη διάβρωσης, τους παράγοντες που την επηρεάζουν, ενώ ακολούθως παρουσιάζεται η διαβρωτική δράση του θαλάσσιου περιβάλλοντος στις δεξαμενές έρματος του πλοίου.

Στο 3^ο Κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι μέθοδοι προστασίας των δεξαμενών έρματος από τη διάβρωση, εστιάζοντας στις μεθόδους επικάλυψης και καθοδικής προστασίας, με χρήση θυσιαζόμενων ανοδίων.

Στο 4^ο Κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στους κανονισμούς των Νηογνωμόνων σχετικά με τη συντήρηση και επιθεώρηση των δεξαμενών έρματος.

Η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα και την παράθεση των αναφορών που χρησιμοποιήθηκαν.

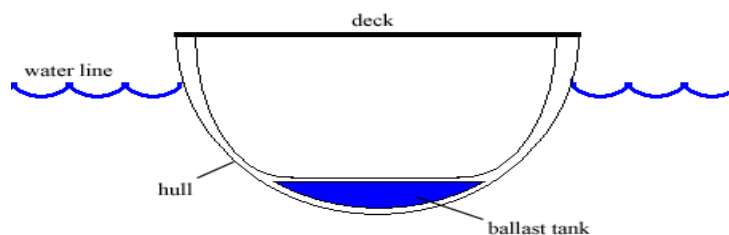
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Οι δεξαμενές έρματος των πλοίων

1.1 Βασικές έννοιες και ορισμοί

Οι δεξαμενές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον τομέα της ναυπηγικής και ιδιαίτερα της κατασκευής των πλοίων δεδομένου ότι αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία της μόνιμης κατασκευής τους. Αυτό αποτυπώνεται ξεκάθαρα σε κάθε επίσημο έγγραφο το οποίο αφορά είτε σε κανονισμούς είτε σε νόμους για θέματα σχετικά με τη ναυτιλία και τις θαλάσσιες μεταφορές. Σύμφωνα με τον κανονισμό 1 του 1^{ου} κεφαλαίου του Παραρτήματος 1 των κανονισμών για την αποφυγή ρύπανσης της θάλασσας από πετρελαιοειδή (Νόμος 1269/1982 – ΦΕΚ 89/Α) «... Δεξαμενή σημαίνει κλειστός χώρος που σχηματίζεται από τη μόνιμη κατασκευή πλοίου και είναι σχεδιασμένος για τη μεταφορά υγρού χύδην»¹. Μελετώντας κάποιος τον παραπάνω νόμο, εύκολα μπορεί να αντιληφθεί τη σημασία της προστασίας και της σωστής συντήρησή των δεξαμενών του πλοίου, για τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας και της αντοχή τους στο χρόνο. Σε αντίθετη περίπτωση, είναι ξεκάθαρο ότι υπάρχει σημαντικό, λειτουργικό, περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος .

Το έρμα (ballast), ως έννοια υπάρχει από την αρχαιότητα όταν τα πλοία χρησιμοποιούσαν σάκους με άμμο, πέτρες και άλλα υλικά (τα οποία φορτώνονταν ή εκφορτώνονταν με την ολοκλήρωση των εργασιών φόρτωσης ή εκφόρτωσης του φορτίου) προκειμένου το πλοίο να μην αντιμετωπίσει προβλήματα ευστάθειας και να διασφαλισθεί η αξιοπλοΐα του.



Εικόνα 1. Εγκάρσια τομή σκάφους με ενιαία δεξαμενή έρματος στο κάτω μέρος.

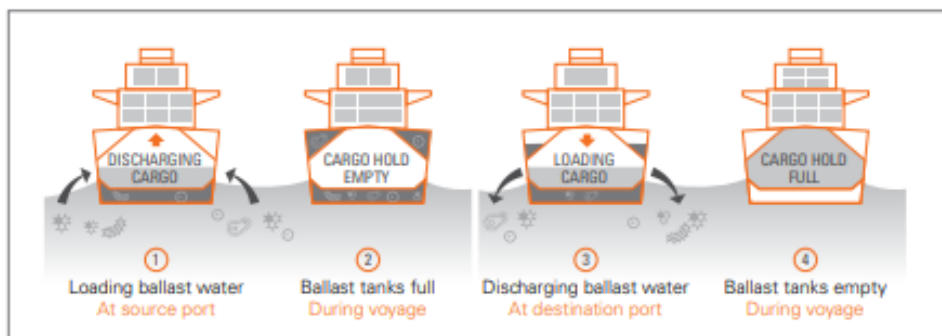
(Πηγή: www.wikipedia.org)

Κατά τον Matej (2015) ο όρος «έρμα» περιλαμβάνει το θαλασσινό νερό, μαζί με την αιωρούμενη ύλη η οποία βρίσκεται μέσα σε αυτό, με το οποίο συμπληρώνουμε ειδικές

¹ <https://www.e-nomothesia.gr/kat-periballon/prostasia-thalassiou-periballontos/nomos-1269-1982-phek-89a-21-7-1982.html>

δεξαμενές προκειμένου να επιτύχουμε την απαιτούμενη σταθερότητα κατά την πλεύση του πλοίου, ειδικά στην περίπτωση που ταξιδεύει άφορτο. Στις εικόνες 1 και 2 παρουσιάζεται η τυπική διάταξη των δεξαμενών έρματος και διαφαίνεται ο ρόλος που διαδραματίζουν σε κάθε τύπο εμπορικού πλοίου.

Στις μέρες μας, τα πλοία μεταφέρουν πλέον υγρό έρμα, γλυκό, θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό, το οποίο αποθηκεύεται σε ειδικού τύπου δεξαμενές που ονομάζονται δεξαμενές έρματος (ballast tanks), όμως ο σκοπός παραμένει ίδιος: η διασφάλιση της ευστάθειας και της αξιοπλοΐας του, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2 που ακολουθεί.



Εικόνα 2. Κύκλος φόρτωσης/εκφόρτωσης και ερματισμού/αφερματισμού εμπορικού πλοίου

(Πηγή: www.sgs.com)

Καθώς φορτία που μεταφέρονται μέσω των πλοίων διαφέρουν από λιμάνι σε λιμάνι, οι δεξαμενές έρματος χρησιμοποιούνται για να αντισταθμίσουν τη διατήρηση της σταθερότητας του σκάφους προκειμένου να μην εμφανισθούν προβλήματα εγκάρσιας και διαμήκους αστάθειας.



Εικόνα 3. Αφερματισμός πλοίου (Πηγή: www.shipsbusiness.com)

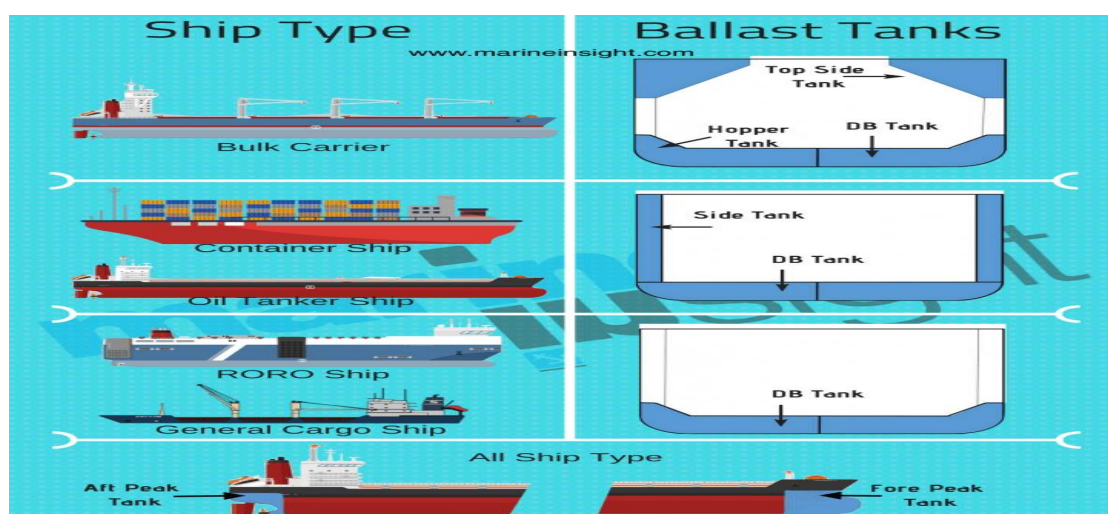
Το έρμα των πλοίων, ανάλογα με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες χρησιμοποιείται, διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες :

- I. Ελαφρύ έρμα: Είναι η κατάσταση κατά την οποία το πλοίο είναι πολύ φορτωμένο οπότε οι δεξαμενές έρματος διατηρούνται κενές.

- II. Βαρύ έρμα: Είναι η κατάσταση εν πλω κατά την οποία εάν το πλοίο δεν είναι πλήρως φορτωμένο, οι δεξαμενές έρματος του πλοίου γεμίζουν μέχρι τη χωρητικότητά του.
- III. Έρμα λιμένα: Επειδή αρκετά λιμάνια ανά τον κόσμο έχουν περιορισμό στη χρήση του νερού έρματος, παρέχονται ειδικές δεξαμενές για τη διόρθωση της περικοπής και της κλίσης του πλοίου κατά τη λειτουργία φόρτωσης ή εκφόρτωσης στα λιμάνια αυτά.

1.2 Ο ρόλος των δεξαμενών έρματος

Το έρμα, όπως προαναφέραμε, αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές οι οποίες υπάρχουν στο πλοίο. Στην εικόνα 4 παρουσιάζονται οι δεξαμενές έρματος, ανάλογα με τον τύπο των εμπορικών πλοίων.



Εικόνα 4. Δεξαμενές έρματος ανά τύπο εμπορικών πλοίων

(Πηγή: www.marineinsight.com)

Μια διάκριση των δεξαμενών έρματος μπορεί να προκύψει με κριτήριο τα σημεία του πλοίου στα οποία τοποθετούνται. Έτσι, έχουμε²:

- I. Διπύθμενα – Double bottom

Ο διπλός πυθμένας προστατεύει το πλοίο από την είσοδο νερού σε περίπτωση σύγκρουσης ή προσάραξης του και ουσιαστικά αποτελεί κενό χώρο στον οποίο αποθηκεύεται έρμα για τη σωστή ευστάθεια του πλοίου κατά την πλεύση. Διπύθμενα (double bottoms) χαρακτηρίζονται τα στεγανά διαμερίσματα στα οποία έχει καταναμεθθεί ο μεταξύ του εξωτερικού και εσωτερικού πυθμένα χώρος του πλοίου. Η δημιουργία των διπυθμένων επιτυγχάνεται με την διαίρεση του χώρου αυτών δια της κεντρικής και των πλευρικών «σταθμίδων» κατά τον διαμήκη άξονα του σκάφους και των υδατοστεγών εδρών των νομέων κατά τον εγκάρσιο

² <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/a-guide-to-ballast-tanks-on-ships>

άξονα. Σε ορισμένα πλοία, όπως τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και χύδην, ο χώρος του διπλού πυθμένα χωρίζεται εγκάρσια σε τρία τμήματα ώστε να δημιουργήσει ένα φράγμα στο οποίο τοποθετούνται οι σωληνώσεις και τα επιστόμια των δικτύων έρματος και καυσίμων.

II. Άνω πλευρικές δεξαμενές - Topside Tanks

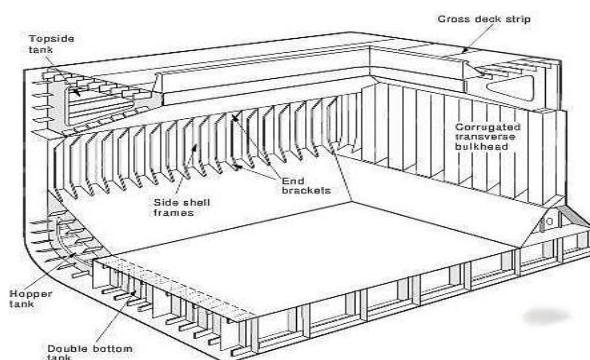
Είναι δεξαμενές που βρίσκονται στην επάνω γωνία του πλοίου, τις συναντάμε σε πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου και κατασκευάζονται με τη χρήση εγκάρσιων πλαισίων. Σκοπός τους είναι να μεταφέρουν νερό έρματος. Στο άνω μέρος τους αποτελούνται από έναν «εγκάρσιο δακτύλιο», κατασκευασμένο από πλαίσια στην εγκάρσια κατεύθυνση. Κάθε εγκάρσιος δακτύλιος αποτελείται από μια οροφή εγκάρσια του τμήματος του πλαισίου κάτω από το κατάστρωμα που υποστηρίζει την επένδυση του καταστρώματος, ένα πλευρικό εγκάρσιο τμήμα του πλαισίου που στηρίζει το πλευρικό περίβλημα και ένα κάτω εγκάρσιο τμήμα του πλαισίου που στηρίζει το κάτω μέρος της δεξαμενής στο επάνω μέρος.

III. Δεξαμενές χοάνης- Hopper Tanks

Κατασκευαστικά, είναι παρόμοιες με τις δεξαμενές έρματος στο επάνω μέρος, όμως αυτές βρίσκονται κάτω και δίπλα από τη βάση, αποτελώντας τη συνέχεια των διπύθμενων δεξαμεμών και λειτουργώντας ως πρόσθετος χώρος έρματος για το πλοίο.

IV. Δεξαμενές ζυγοστάθμισης – Peaks

Χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της διαγωγής του πλοίου και μένουν κενές ή γεμίζονται με θαλασσινό έρμα. Σε κάθε πλοίο υπάρχουν προραίες δεξαμενές ζυγοσταθμίσεως (Fore Peak) και πρυμναίες (After Peak), ενώ κατασκευάζονται στενές στο κάτω άκρο τους και καθώς ανεβαίνουμε προς τα πάνω, το πλάτος τους αυξάνεται σημαντικά. Όπως γίνεται αντιληπτό, το σχήμα τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το σχεδιασμό της πλώρης και της πρύμνης του σκάφους.



Εικόνα 5. Διαμόρφωση δεξαμενών τυπικού φορτηγού χύδην φορτίου
(Πηγή: www.bulkcarrierguide.com)

Τα πετρελαιοφόρα πλοία, με βάση τους κανονισμούς του παραρτήματος 1 της Δ.Σ Marpol, είναι υποχρεωμένα να χρησιμοποιούν :

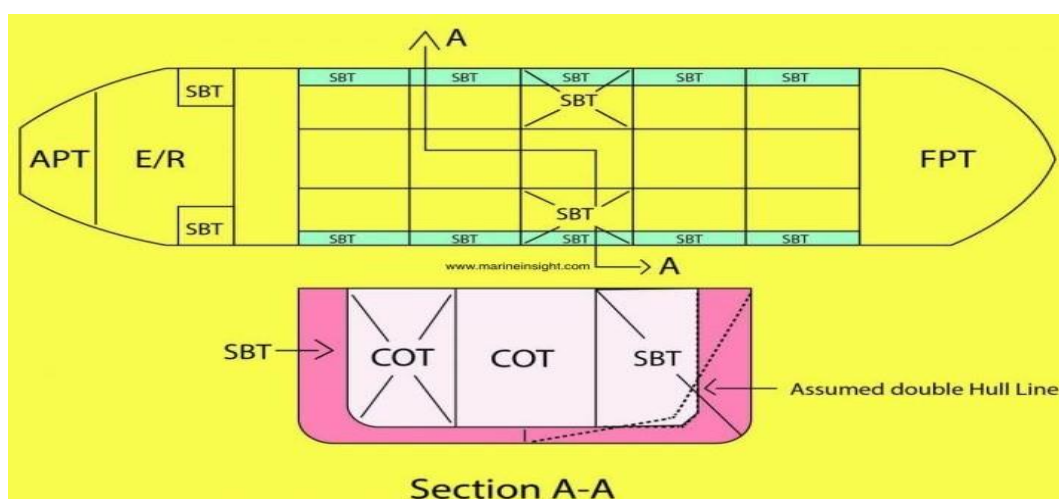
V. Δεξαμενές διαχωρισμένου έρματος - Segregated Ballast Tanks

Οι δεξαμενές διαχωρισμένου έρματος (SBT) κατασκευάζονται με μοναδικό σκοπό τη μεταφορά έρματος σε πετρελαιοφόρα πλοία και είναι εντελώς διαχωρισμένες από εκείνες του φορτίου, ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα ανάμειξης λαδιού και νερού, κάτι που συμβαίνει συνήθως όταν το θαλάσσιο έρμα μεταφέρεται μέσω των αμπαριών φορτίου.

VI. Δεξαμενές καθαρού έρματος – Clean Ballast Tanks

Όταν τα πετρελαιοφόρα πλοία ταξιδεύουν άφορτα, για να μην αντιμετωπίσουν προβλήματα σταθερότητας, ειδικά σε περίπτωση κακοκαιρίας, τα αμπάρια καθαρίζονται και γεμίζονται με καθαρό νερό έρματος.

Κατά την απόρριψη του νερού έρματος, χρησιμοποιείται ειδικό σύστημα παρακολούθησης της περιεκτικότητας λαδιού – πετρελαίου και μόνο αν αυτή είναι μικρότερη από 15 ppm (parts per million) το έρμα απορρίπτεται στη θάλασσα, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα μεταφέρεται στις δεξαμενές καταλοίπων.



Εικόνα 6. Διαμόρφωση δεξαμενών έρματος τυπικού δεξαμενοπλοίου

(Πηγή: www.marineinsight.com)

1.3 Υλικά κατασκευής δεξαμεμών

Στη ναυτιλιακή βιομηχανία και ιδιαίτερα στη ναυπηγική, το πιο ευρύτερα χρησιμοποιούμενο κράμα είναι ο χάλυβας, καθώς το χαμηλό κόστος και οι καλές μηχανικές ιδιότητές του υπερτερούν της ευαισθησίας του απέναντι στη διάβρωση (όταν εκτεθεί στο θαλάσσιο περιβάλλον), η οποία αντιμετωπίζεται με διάφορες μεθόδους.

Ο χάλυβας ή ατσάλι, είναι ένα κράμα σιδήρου (Fe) και άνθρακα (C) με περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 2 % wt. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του χάλυβα καθώς τον διαχωρίζει σε κοινό ναυπηγικό χάλυβα και σε χάλυβα υψηλής αντοχής.

Ο κοινός χάλυβας (*Mild Steel - MS*) είναι κράμα δίχως ιδιαίτερη επεξεργασία, οπότε δεν περιέχει αρκετά μέταλλα για να βελτιώσουν τις ιδιότητες του. Διακρίνεται σε υποευτηκτοειδή (περιεκτικότητα C < 0.80 % wt), ευτηκτοειδή (περιεκτικότητα C = 0.80 % wt) και υπereυτηκτοειδή (περιεκτικότητα 0.80 < C < 2.00 % wt.). Από υπereυτηκτοειδή χάλυβα κατασκευάζονται συνήθως η γάστρα και οι διάφορες δεξαμενές του πλοίου.

Στο εμπόριο συναντάμε τον κοινό χάλυβα στις ακόλουθες κατηγορίες, οι οποίες διαφοροποιούν την ποιότητα και το κόστος του (Καρύδης, 2002) :

- Κατηγορία A, για κατασκευή ελασμάτων με πάχος μέχρι 19 mm.
- Κατηγορία B, για κατασκευή ελασμάτων με πάχη άνω των 25 mm καθώς και εφαρμογή σε ειδικές χρήσεις, όπως τα ελάσματα στο κυρτό της γάστρας πάχους μέχρι 16 mm .
- Κατηγορία D, για κατασκευή ελασμάτων με πάχος μέχρι 35 mm και σε ειδικές χρήσεις μέχρι 22.5 mm.
- Κατηγορία CS & E, για κατασκευή ελασμάτων κάθε χρήσης πάχους μέχρι 51 mm.

Εκτός του κοινού χάλυβα, τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται στη ναυπηγική ο χάλυβας υψηλής αντοχής (*High Tensile strength Steel, HTS*) λόγω των βελτιωμένων ιδιοτήτων και του μικρότερου βάρους του για τα ίδια πάχη ελασμάτων.

Ο Καρύδης αναφέρει ως πλεονεκτήματα των χαλύβων υψηλής αντοχής ,έναντι των κοινών χαλύβων, τη σκληρότητα, την αντοχή , την παρόμοια αντοχή σε κόπωση και διάβρωση, την

ίδια ευκολία κατά τη συγκόλλησή τους (2002). Από χάλυβα υψηλής αντοχής κατασκευάζονται οι πρωραίες δεξαμενές των πλοίων, οι οποίες πρέπει να είναι ιδιαίτερα ενισχυμένες για να αντέχουν τις ισχυρές καταπονήσεις των κυμάτων , κατά την πλεύση του πλοίου.

Σύμφωνα με τον Καρύδη, οι χάλυβες υψηλής αντοχής διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες (2002) :

- Κατηγορία AH , ο οποίος χρησιμοποιείται για κάθε χρήση όταν το πάχος των ελασμάτων είναι μέχρι 19 mm, ενώ για ελάσματα μεταξύ 19 mm έως και 51 mm χρησιμοποιείται σε όλα τα κατασκευαστικά μέρη του σκάφους, εκτός από εκείνα που υπόκεινται σε ισχυρές καταπονήσεις, τον πυθμένα και το κύριο κατάστρωμα.
- Κατηγορία DH, ο οποίος χρησιμοποιείται για κάθε χρήση όταν το πάχος των ελασμάτων είναι μέχρι 51 mm και για ειδικές χρήσεις για ελάσματα με πάχος μέχρι 27.5 mm.
- Κατηγορία EH, ο οποίος χρησιμοποιείται για κάθε χρήση σε ελάσματα πάχους έως 51 mm.

Ο μικροκραματοποιημένος χάλυβας υψηλής αντοχής (*High Strength Low Alloy Steel - HSLAS*) αποτελεί μια νέα κατηγορία χάλυβα υψηλής αντοχής ο οποίος παρασκευάζεται με «καθαρές» μεθόδους και προσθήκη βελτιωτικών στοιχείων σε μικρές ποσότητες με συνέπεια να έχει αρκετά καλύτερη συγκολλησιμότητα, υψηλή αντοχή και δυσθραυστότητα (Βασιλόπουλος, 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η διάβρωση των δεξαμενών έρματος

2.1 Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή, δεδομένης της αλματώδους ανάπτυξης της τεχνολογίας και της ευρύτατης χρήσης μετάλλων και κραμάτων στις τεχνικές κατασκευές, το φαινόμενο της διάβρωσης αποτελεί ένα τεράστιο στοίχημα για την παγκόσμια βιομηχανία καθώς οι συνέπειές της είναι αρκετά σοβαρές τόσο για τις ίδιες τις κατασκευές όσο και για το περιβάλλον.

Ειδικότερα στη ναυτιλιακή βιομηχανία, η διάβρωση έχει βαρύνουσα σημασία καθώς σχετίζεται άμεσα με την αντοχή, τη διάρκεια ζωής και τη λειτουργικότητα των μεταλλικών κατασκευών, οι οποίες στην περίπτωση των πλοίων είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την ασφάλεια εργασίας, ναυσιπλοΐας και περιβάλλοντος.



Εικόνα 7. Διάβρωση χάλυβα (Πηγή: www.sgs.com)

2.2 Το φαινόμενο της διάβρωσης

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετοί ορισμοί για τη διάβρωση, ανάλογα το είδος της επιστήμης βάσει της οποίας εξετάζεται. Θα σταθούμε ιδιαίτερα σε δύο από αυτούς:

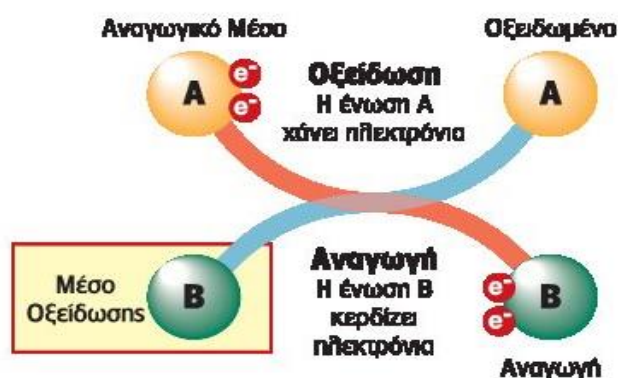
Κατά τους Jirapure & Borade (2014), η διάβρωση αποτελεί αυθόρμητη διεργασία, η οποία προκαλείται λόγω οξειδωσης ενός μετάλλου στα σημεία επαφής του με το περιβάλλον και

αυτό επιφέρει τη φθορά και τη μείωση της λειτουργικότητας του υλικού διότι υποβαθμίζονται οι μηχανικές του ιδιότητες.

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8044, η διάβρωση αποτελεί φυσικοχημική αλληλεπίδραση, ηλεκτροχημικής φύσεως, ανάμεσα σε κάποιο μεταλλικό υλικό και στο περιβάλλον, με συνέπεια την τροποποίηση – αλλοίωση των ιδιοτήτων του υλικού και την υποβάθμιση της λειτουργίας του μαζί και ολόκληρου του τεχνικού συστήματος του οποίου αποτελεί τμήμα.³

Συνδέοντας τους παραπάνω ορισμούς, μπορούμε να πούμε ότι για τη δημιουργία διάβρωσης ενός μετάλλου πρέπει να συνυπάρχουν τρεις παράμετροι:

- α) Μια περιοχή ανοδικής δράσης και μια περιοχή καθοδικής δράσης
- β) Μια αγώγιμη οδός, η οποία να συνδέει τις παραπάνω περιοχές
- γ) Ένα ηλεκτρολυτικό περιβάλλον, μεταξύ των περιοχών ανοδικής και καθοδικής δράσης.



Εικόνα 8. Απεικόνιση του μηχανισμού διάβρωσης

(Πηγή : www.thermoydravlikos.gr)

Στο σημείο αυτό θεωρούμε καλό να θυμίσουμε ότι τα μέταλλα, διαβρώνονται διότι , εκτός του χαλκού (Cu), του χρυσού (Au) και του αργύρου (Ag), τα υπόλοιπα μέταλλα (μαζί και κράματα όπως ο χάλυβας) στο φυσικό περιβάλλον είναι «ασταθή», δηλαδή έχουν την τάση να αντιδρούν με άλλα χημικά στοιχεία ώστε να σχηματίζουν νέες χημικές ενώσεις, πιο σταθερές.

³ ISO 8044, 'Corrosion of Metals and Alloys', 2020. [Online] Available on: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8044:ed-5:v1:en> [Accessed 1/12/2021]

2.3 Είδη διάβρωσης

Στη διεθνή βιβλιογραφία (Huang & Zhang 2014, Καρύδης 2002) η διάβρωση ταξινομείται σε κατηγορίες διάβρωσης, ανάλογα με το μηχανισμό δράσης, το περιβάλλον και την μορφολογία της.

A. Με βάση το μηχανισμό δράσης της, η διάβρωση διακρίνεται σε :

I. Χημική διάβρωση

Είναι η προσβολή της μεταλλικής επιφάνειας όταν έρθει σε άμεση επαφή με συστατικά του περιβάλλοντος της, οπότε δημιουργείται χημική ένωση και προκύπτουν χημικές αντιδράσεις (οξειδωσης και αναγωγής), οι οποίες την καταστρέφουν.



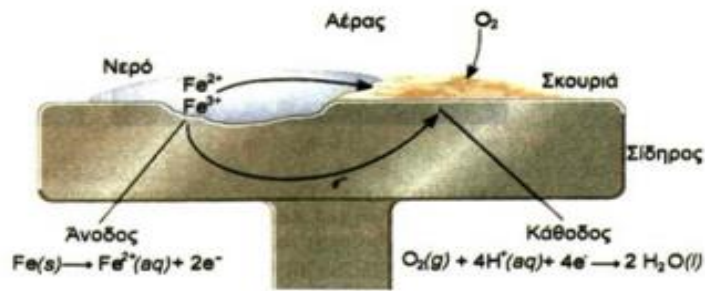
Εικόνα 9. Χημική διάβρωση άγκυρας πλοίου (Πηγή : www.proca.gr)

II. Ηλεκτροχημική ή γαλβανική διάβρωση

Είναι ο συνηθέστερος τύπος διάβρωσης στις ναυπηγικές κατασκευές και προκαλείται λόγω της οργανωμένης μεταφοράς ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα) από το ένα τμήμα του μετάλλου στο άλλο.

Για να συμβεί αυτού του τύπου η διάβρωση αρκεί δύο διαφορετικά μέταλλα να βρίσκονται μέσα σε ένα περιβάλλον ηλεκτρολύτη και να συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο μέσο το οποίο να επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος.

Το μέταλλο με το μικρότερο δυναμικό δρα ως άνοδος και σ' αυτό προκαλείται διάβρωση, ενώ το μέταλλο με το μεγαλύτερο δυναμικό δρα ως κάθοδος και προστατεύεται από τη διάβρωση.



Εικόνα 10. Ο μηχανισμός διάβρωσης του σιδήρου - Fe

(Πηγή: www.ebooks.edu.gr)

B. Λαμβάνοντας ως κριτήριο το περιβάλλον εντός του οποίου δημιουργείται, η διάβρωση διακρίνεται σε :

I. Ξηρή διάβρωση

Δημιουργείται σε συνθήκες κατά τις οποίες δεν υπάρχει υγρασία, δηλ. η ατμόσφαιρα είναι ξηρή. Για το λόγο αυτό έχει αργή εξέλιξη.

II. Γρήγη διάβρωση

Σε αντίθεση με την ξηρή, δημιουργείται σε συνθήκες κατά τις οποίες υπάρχει υγρή ατμόσφαιρα (υδατικό περιβάλλον), οπότε εξελίσσεται γρηγορότερα. Η υγρασία του αέρα και οι βροχοπτώσεις επιταχύνουν την διάβρωση. Ειδικά η πρώτη, συχνά συμπυκνώνεται στις εκτεθειμένες μεταλλικές επιφάνειες σχηματίζοντας ένα λεπτό φιλμ προκαλώντας διάβρωση με το πέρασμα του χρόνου.

III. Αέρια διάβρωση

Δημιουργείται σε ατμοσφαιρικό περιβάλλον, καθώς το μέταλλο ή το κράμα έρχονται σε επαφή με τα συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα, κυρίως το οξυγόνο και την υγρασία της ατμόσφαιρας, ενώ την ενισχύουν ρύποι όπως SOx, NOx και προσμίξεις όπως τα σταγονίδια θαλασσινού νερού.

Γ. Με βάση τη μορφή της διάβρωσης, οι σπουδαιότερες μορφές της είναι :

I. Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση (General corrosion)

Αποτελεί το απλούστερο είδος διάβρωσης και προκαλείται από χημική δράση η οποία προχωρά στη μεταλλική επιφάνεια και σχηματίζει ομοιόμορφο στρώμα διάβρωσης ή διαλύει σχεδόν ομοιόμορφα την εκτεθειμένη επιφάνεια. Ο χάλυβας, όταν βυθιστεί στο νερό της

θάλασσας μπορεί να διαβρωθεί ομοιόμορφα αλλά, κάτω από ορισμένες περιστάσεις, είναι πιθανό να υποστεί ανομοιόμορφη διάβρωση.

II. Διάβρωση βελονισμών (Pitting corrosion)

Αποτελεί ένα από τα χειρότερα είδη διάβρωσης λόγω των καταστροφικών αποτελεσμάτων που επιφέρει στα υλικά (διάτρηση) και του δύσκολου εντοπισμού των βελονισμών καθώς οι οπές είναι μικρές και συχνά καλύπτονται από σκουριά. Προσβάλλει συχνότερα τον ανοξειδωτο χάλυβα, σπανιότερα τον κοινό χάλυβα και δημιουργείται συνήθως από θειούχα ιόντα που υπάρχουν στα φορτία και στο σύστημα αδρανούς αερίου (Inert Gas System) των δεξαμενοπλοίων (Anish, 2020). Αυτά, λόγω της φύσης τους προκαλούν αντιδράσεις μεταφοράς ηλεκτρονίων μέσα στην ίδια τη σκουριά, η οποία με τη σειρά της εμπλέκεται σε επαναλαμβανόμενες χημικές αντιδράσεις δημιουργώντας διάβρωση βελονισμών στο εσωτερικό των δεξαμενών μεταφοράς φορτίου. (Anish, 2020, Seal, 2017)

III. Σπηλαιώδης διάβρωση (Cavitation corrosion)

Εμφανίζεται σε ροές υψηλών ταχυτήτων και δυναμικές συνθήκες ρευστού και συνοδεύεται από σχηματισμό φυσαλίδων σε περιοχές χαμηλής πίεσης οι οποίες σπάνε απότομα, δημιουργώντας υψηλές πιέσεις σε αυτή την περιοχή. Το σπάσιμο της φυσαλίδας προκαλεί υψηλές τοπικές τάσεις και αν συνεχίσει να επαναλαμβάνεται δημιουργούνται στο χώρο εσοχές ή ρωγμές ή κρατήρες, οπότε η μεταλλική επιφάνεια αποκτά μια σπογγώδη μορφή. Αυτό το είδος διάβρωσης συναντάται ιδιαίτερα σε έλικες πλοίων και πτερωτές φυγοκεντρικών αντλιών.

IV. Βακτηριακή διάβρωση (Bacterial corrosion)

Προκαλείται από μικροοργανισμούς του περιβάλλοντος οι οποίοι έρχονται σε επαφή με την εκτεθειμένη μεταλλική επιφάνεια. Θερμοκρασίες μεταξύ 20°C και 40°C, χώροι με στάσιμα νερά (λόγω έλλειψης οξυγόνου) και παρουσία θειούχων ενώσεων στο θαλασσινό νερό, είναι οι βασικοί παράγοντες που ευνοούν την δημιουργία μικροοργανισμών, άρα τη βακτηριακή διάβρωση. Στα πλοία συναντάμε βακτηριακή διάβρωση συνήθως στις δεξαμενές πετρελαίου, στις δεξαμενές έρματος και στις σωληνώσεις τους. Ειδικά για τις δεξαμενές έρματος, βασικός παράγοντας δημιουργίας της είναι η λάσπη που συγκρατείται στο νερό έρματος.

Από τις παραπάνω κατηγορίες, ιδιαίτερη σημασία για το πλοίο έχει η ηλεκτροχημική διάβρωση, διότι οι μεταλλικές επιφάνειές του είτε βρίσκονται εντός ηλεκτρολυτικού

περιβάλλοντος του θαλασσινού νερού, είτε έρχονται σε επαφή μαζί του, είτε γίνονται αποδέκτες της υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα λόγω συμπύκνωσης των υδρατμών του.

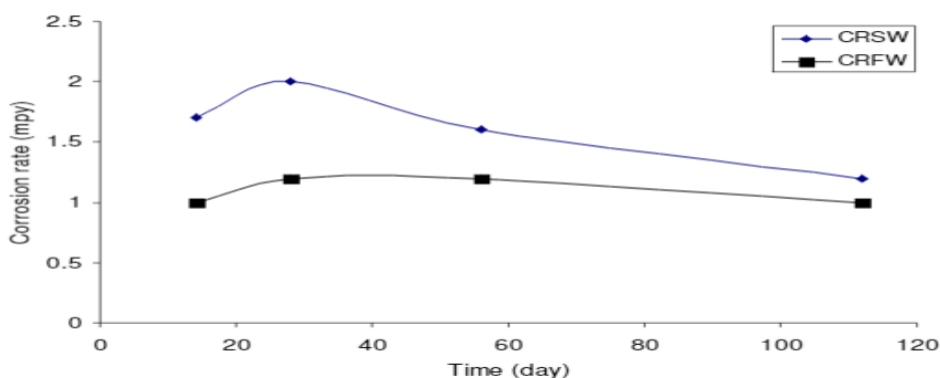


Εικόνα 11. Διάβρωση άγκυρας και γάστρας πλοίου

(Πηγή: Chongging New Maritime Import & Export Co, 2020)

2.4 Το θαλασσινό νερό ως παράγοντας διάβρωσης

Το θαλασσινό νερό (sea water) είναι ισχυρότερο διαβρωτικό μέσο από το γλυκό νερό (fresh water) κυρίως λόγω της αλατότητάς του, δηλαδή της περιεκτικότητάς του σε άλατα (NaCl). Όσο αυξάνεται η αλατότητα (συνήθως είναι μεγαλύτερη στις παράκτιες περιοχές σε σχέση με την ανοιχτή θάλασσα) τόσο περισσότερα ιόντα Na^+ και Cl^- υπάρχουν στο διάλυμα, οπότε αυξάνεται η αγωγιμότητά του. Μάλιστα, ο ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα φτάνει το μέγιστο κοντά στη συνηθισμένη περιεκτικότητα ιόντων του θαλάσσιου νερού (Amadi, 2011, Obanijesu, 2009).



Εικόνα 12. Ρυθμός διάβρωσης χαλύβδινου δοκιμίου σε γλυκό νερό (μαύρη γραμμή) & σε θαλασσινό νερό (μπλε γραμμή)

(Πηγή: Amadi et al., 2011)

Η συγκέντρωση O_2 και το pH (Jirapure et al 2014, Amadi et al.,2011, Lee, et al., 2007) είναι δύο ακόμη ιδιότητες που ενισχύουν τη διαβρωτική ικανότητα του θαλασσινού νερού.

Η συνεχής επαφή του σκάφους με το θαλασσινό νερό το καθιστά ιδιαίτερα επιρρεπές στη θαλάσσια διάβρωση διότι το θαλασσινό νερό, λόγω της φύσης του, είναι ιδιαίτερος δραστικό από χημική άποψη: είναι ηλεκτρολυτικό διάλυμα με περιεκτικότητα 3 % w/v σε αλάτι (χλωριούχο νάτριο, NaCl) , εμφανίζει καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH μεταξύ 7.6 και 8.2 ενώ περιέχει 8 mg/L οξυγόνο , στους 20°C.⁴ Με απλά λόγια, το θαλασσινό νερό είναι ηλεκτρολυτικό διάλυμα και τα άλατα που περιέχονται διαλυμένα σε αυτό σχηματίζουν ηλεκτροχημικές αντιδράσεις σε διαφορετικές μεταλλικές επιφάνειες οι οποίες βυθίζονται σε αυτό. Παράλληλα, έχει αυξημένη περιεκτικότητα σε οξυγόνο, η οποία επίσης βοηθά στη διάβρωση, ενώ η παρουσία έμβιων οργανισμών που περιέχονται στο θαλασσινό νερό και εισχωρούν στις δεξαμενές μέσω της διαδικασίας του ερματισμού , ενισχύουν τη διαβρωτική του δράση (Καρύδης, 2002).

2.5 Η διάβρωση των δεξαμενών έρματος

Με βάση ερευνητικά στοιχεία του έγκριτου Νηογνώμονα Lloyd's Register, κάθε χρόνο μεταφέρονται παγκοσμίως , μέσω των εμπορικών πλοίων, 3-5 δισ. τόνοι θαλασσινού νερού υπό μορφή έρματος (2015). Από αυτό το στοιχείο, εύκολα αντιλαμβανόμαστε την κρισιμότητα του φαινομένου της διάβρωσης των δεξαμενών έρματος του πλοίου.

Εκτός των βασικών παραγόντων σχηματισμού διάβρωσης , οι οποίοι αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2.4, οι Huang & Zhang (2018) παραθέτουν τρεις επιπρόσθετους παράγοντες οι οποίοι ενισχύουν το ρόλο του θαλάσσιου περιβάλλοντος ως ισχυρά διαβρωτικό: τη συνδυασμένη δράση θαλασσινού νερού και θαλάσσιας ατμόσφαιρας ειδικότερα κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων , λόγω ιόντων Cl^- , την παρουσία έμβιων οργανισμών (φυτών, ζώων και μικροοργανισμών) στο θαλασσινό νερό και την καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα του θαλασσινού νερού η οποία προκαλεί γαλβανική διάβρωση σε ανόμοια μέταλλα που βρίσκονται βυθισμένα σ' αυτό. Ειδικά οι δύο τελευταίοι, σχετίζονται άμεσα με τη διάβρωση στις δεξαμενές έρματος.

Καθώς ο ρυθμός διάβρωσης επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, είναι φυσικό οι περιοχές του πλοίου που βρίσκονται δίπλα στο μηχανοστάσιο ή σε θερμαινόμενες δεξαμενές φορτίου, να έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες διάβρωσης. Στα δεξαμενόπλοια διπλού πυθμένα με

⁴ ISO 8044; 'Corrosion of Metals and Alloys', 2020. [Online] Available on: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8044:ed-5:v1:en> [Accessed 02/12/2021]

πλήρως διαχωρισμένες δεξαμενές έρματος, όταν οι δεξαμενές φορτίου είναι πλήρως φορτωμένες, οι κενές δεξαμενές έρματος λειτουργούν θερμομονωτικά διατηρώντας τη θερμότητα στο φορτίο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με τα δεξαμενόπλοια μονής γάστρας. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του θερμού εσωτερικού των δεξαμενών φορτίου και του ψυχρού εξωτερικού περιβάλλοντος δημιουργεί συνθήκες διάβρωσης του χάλυβα στις δεξαμενές έρματος (Obanijesu, 2009). Επίσης, σε περίπτωση που η δεξαμενή έρματος γεμίσει με θαλασσινό νερό και έπειτα δεν πλυθεί, μπορεί να προκληθεί διάβρωση βελονισμών στις οριζόντιες και στις κατακόρυφες επιφάνειες της από τα στάσιμα νερά, ενώ η καθίζηση καταλοίπων στον πυθμένα τους διευκολύνει την ανάπτυξη μικροβιακής διάβρωσης, καθώς το νερό είναι στάσιμο και αφοξυγονομένο (Anish, 2020).



Εικόνα 13. Μικροβιακή διάβρωση σε δεξαμενή έρματος

(Πηγή: Τσακαλάκης Ν., Μικροβιολογική διάβρωση, ΕΜΠ 2005)

Οι δεξαμενές έρματος δεν διαβρώνονται ομοιόμορφα. Κάθε περιοχή της έχει διαφορετική συμπεριφορά απέναντι στη διάβρωση ανάλογα με τα φορτία που την επηρεάζουν. Οι διαφορές φαίνονται ιδιαίτερα στις κενές δεξαμενές έρματος.

Τα ανώτερα τμήματα συνήθως διαβρώνονται, ενώ τα κατώτερα τμήματα σχηματίζουν φυσαλίδες (bubbles).

Οι επιφάνειες των ανώτερων περιοχών τμήμα (upper areas and under deck) επειδή επηρεάζονται συνεχώς από τις καιρικές συνθήκες, άρα έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές και κραδασμούς, τείνουν να εξασθενήσουν γρηγορότερα από τα υπόλοιπα τμήματα.

Οι επιφάνειες του μεσαίου τμήματος (mid-section at the boottop region) διαβρώνονται με πιο αργό ρυθμό από τα πάνω ή τα κάτω τμήματα της δεξαμενής.

Στις κατώτερες περιοχές των δεξαμενών έρματος (double bottom and lower wings), ειδικά στα διπύθμενα, σχηματίζονται φυσαλίδες διότι εκεί επικρατούν πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες λόγω της ψύξης της θάλασσας.

Εάν σε αυτή την εξαιρετικά καθοδική περιοχή βρεθεί μια ανοδική πηγή όπως ένας διαβρωτικός σωλήνας έρματος, μπορεί να εμφανισθούν φυσαλίδες ειδικά στα σημεία που η επίστρωση είναι σχετικά νέα⁵.



Εικόνα 14. Διάβρωση πυθμένα δεξαμενής έρματος (Πηγή: Obanijesu, 2009)

Εκτός από τις δεξαμενές έρματος και οι σωλήνες του δικτύου έρματος μπορεί να υπόκεινται σε διάβρωση και μάλιστα ταχύτερα από την υπόλοιπη κατασκευή, λόγω της γεωμετρίας τους και της τοποθέτησής τους μακριά από την υπόλοιπη προστατευτική δομή. Γενικότερα, λόγω πολύπλοκης κατασκευής του δικτύου έρματος των πλοίων, οι απροστάτευτες επιφάνειες με δύσκολη πρόσβαση, ανεπαρκή αποστράγγιση και παρόμοια χαρακτηριστικά είναι επικίνδυνες να διαβρωθούν (IACS, 2015). Επίσης, στα δεξαμενόπλοια, το όξινο νερό που περιέχει θειικά συστατικά του πετρελαίου μπορεί να κατακαθίσει στον πυθμένα των δεξαμενών έρματος, διαβρώνοντας τις επιφάνειες (ABS, 2017).

Με βάση τα παραπάνω, κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή του πλοίου θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις λειτουργίες ερματισμού και να εξασφαλίζεται η πρόσβαση σε όλους τους χώρους, ώστε κατά την επιθεώρηση και τη συντήρηση της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου να είναι δυνατή η εκτίμηση της κατάστασης της και η εφαρμογή επαρκούς συστήματος προστασίας έναντι της διάβρωσης (Καρύδης, 2002).

⁵Corrosion Protection Systems for Ballast Tanks and Void Spaces. Available on: <https://web.archive.org/web/20070206023011/http://amteccorrosion.co.uk/papers/cpsforbtanks.html> [Accessed 12/12/2021]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Προστασία δεξαμενών έρματος από τη διάβρωση

3.1 Μέθοδοι προστασίας από τη διάβρωση

Κατά τη διάρκεια του ερματισμού, οι δεξαμενές έρματος του πλοίου γεμίζουν με θαλασσινό νερό, το οποίο είναι εξαιρετικά διαβρωτικό. Όμως και μετά τον αφερματισμό όταν αδειάσουν οι δεξαμενές, η υγρή ατμόσφαιρα που υπάρχει συνιστά παράγοντα διάβρωσης για τις επιφάνειες τους. Τα σημεία και η έκταση της διάβρωσης στο εσωτερικό της επιφάνειας των δεξαμενών έρματος πρέπει να εντοπίζονται έγκαιρα και σε περίπτωση κατά την οποία τα απόβλητα διάβρωσης υπερβαίνουν το 75% του επιτρεπόμενου περιθωρίου, πρέπει να πραγματοποιηθεί άμεσα επισκευή τους (DNV, 2015).

Γενικά, η κατηγοριοποίηση των μεθόδων προστασίας από τη διάβρωση περιλαμβάνει τέσσερις (4) βασικές κατηγορίες και σύμφωνα με τους Darchivio et al., ως κριτήρια επιλογής της κατάλληλης μεθόδου λαμβάνονται το σχήμα, η φύση και η θέση της περιοχής την οποία θέλουμε να προστατεύσουμε (2009). Οι κατηγορίες περιλαμβάνουν:

- Κατασκευαστικό σχεδιασμό, ώστε να αποφεύγονται συνθήκες που ευνοούν τη διάβρωση.
- Επεμβατικές μεθόδους στο διαβρωτικό περιβάλλον ώστε να επιβραδυνθεί η διάβρωση.
- Επεμβατικές μεθόδους στο δυναμικό του συστήματος ώστε το δυναμικό του μετάλλου βρίσκεται είτε στην περιοχή μη προσβολής (καθοδική προστασία) είτε στην περιοχή παθητικοποίησης (ανοδική προστασία).
- Επεμβατικές μεθόδους στην επιφάνεια του υλικού με εφαρμογή επιστρωμάτων ή επιφανειακών κατεργασιών.

Η μέθοδος της εποξειδικής επίστρωσης αποτελεί την κύρια μέθοδο αντιμετώπισης της διάβρωσης σε δεξαμενές έρματος, Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλες μέθοδοι όπως εκείνη των θυσιαζόμενων ανόδων, ενώ τα τελευταία χρόνια υπάρχει ενδιαφέρον για τη χρήση ατμοσφαιρών αδρανούς αερίου.

3.2 Η μέθοδος της επίστρωσης

Η επίστρωση της χαλύβδινης επιφάνειας των δεξαμενών έρματος αποτελεί το πιο κοινό σύστημα προστασίας που χρησιμοποιείται στα πλοία. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι προστατεύει ολόκληρη την δεξαμενή έρματος.

Από άποψη σύστασης η επίστρωση είναι ένα σύνθετο, ομογενές, οργανικό μείγμα το οποίο εμφανίζει πολλές μηχανικές, φυσικές, χημικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Η προστασία βασίζεται στη δημιουργία λεπτού στρώματος το οποίο διαχωρίζει τη μεταλλική χαλύβδινη επιφάνεια της δεξαμενής από το περιβάλλον. Πρακτικά, δημιουργείται στην επιφάνεια του μετάλλου μια συνεκτική μεμβράνη εξαιρετικά λεπτού πάχους, της τάξης των 300 μικρών (300 microns), η οποία έχει ισχυρή πρόσφυση και συμβάλει στην απρόσκοπτη λειτουργία της δεξαμενής για μεγάλο χρονικό διάστημα, καθώς παρέχει αντιδιαβρωτική προστασία τουλάχιστον για 15 έτη, εφόσον το υλικό της επίστρωσης που έχει επιλεγεί είναι ποιοτικό (DNV,2015). Λόγω της φύσης των δεξαμενών έρματος ως υλικά επίστρωσης χρησιμοποιούνται συνήθως ενισχυμένες στρώσεις εποξειδικών πολυμερών. Πριν από την εφαρμογή υπολογίζεται πάντα το απαιτούμενο πάχος επίστρωσης, ενώ κατά τις επιθεωρήσεις των δεξαμενών θεωρείται ότι η χαλύβδινη επιφάνεια έχει υποστεί διάβρωση, όταν εμφανίζεται σε αυτήν διάβρωση άνω του 3%.

Σύμφωνα με τις οδηγίες της Διεθνούς Ένωση Νηογνωμόνων (International Association of Classification Societies - IACS), από άποψη τεχνικής εφαρμογής, πρώτα καθαρίζεται η επιφάνεια της δεξαμενής, στη συνέχεια εφαρμόζεται το αρχικό στρώμα της επίστρωσης (primer) αστάρι και ακολουθούν μια ενδιάμεση στρώση (undercoat) και μια τελική στρώση (finishing). Πιο αναλυτικά (IACS, 2015):

- Η αρχική στρώση - αστάρι αποτελεί την υποδομή της επίστρωσης και ως εργασία είναι πολύ σημαντική καθώς διασφαλίζεται η σωστή πρόσφυση της επίστρωσης. Για το λόγο αυτό πρέπει να εφαρμόζεται σε επιφάνεια πολύ καλά καθαρισμένη.
- Η ενδιάμεση στρώση συνδέει το αστάρι και την τελική στρώση και μέσω αυτής μπορεί να αυξάνεται το πάχος της επίστρωσης σε επιθυμητά επίπεδα. Η στρώση αυτή

περιορίζει τη διαπερατότητα του οξυγόνου και της υγρασίας, καθορίζοντας με αυτό τον τρόπο τη διάρκεια ζωής της επίστρωσης.

- Η τελική στρώση είναι εκείνη που έρχεται σε άμεση επαφή με το θαλασσινό νερό και πρέπει να έχει καλές μηχανικές ιδιότητες ώστε να αντέχει στη διάβρωση και στη ρύπανση. Συνήθως εφαρμόζονται περισσότερες από μία στρώσεις, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η αντιδιαβρωτική προστασία των δεξαμενών έρματος

Η σημασία της σωστής χρήσης και εφαρμογής των επιστρώσεων στις δεξαμενές έρματος, καταδεικνύεται μέσω των παρακάτω εικόνων (IACS, 2015).

Στην *εικόνα 15* παρουσιάζεται η κατάσταση δεξαμενής έρματος πλοίου μετά από 13 έτη λειτουργίας. Είναι προφανής η άσχημη κατάσταση της δεξαμενής καθώς εμφανίζει έντονες διαβρώσεις στο εσωτερικό της και αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε κακή ποιότητα του υλικού επίστρωσης είτε σε λανθασμένη εφαρμογή της αντιδιαβρωτικής επίστρωσης.



Εικόνα15. Κακή κατάσταση δεξαμενής έρματος, μετά από 13 έτη λειτουργίας

(Πηγή: IACS, 2015)

Αντίθετα, στην *εικόνα 16*, η κατάσταση δεξαμενής έρματος πλοίου, μετά από 13 έτη λειτουργίας, είναι πολύ καλή είτε λόγω επιλογής ποιοτικού υλικού επίστρωσης είτε σωστής εφαρμογής της αντιδιαβρωτικής επίστρωσης.

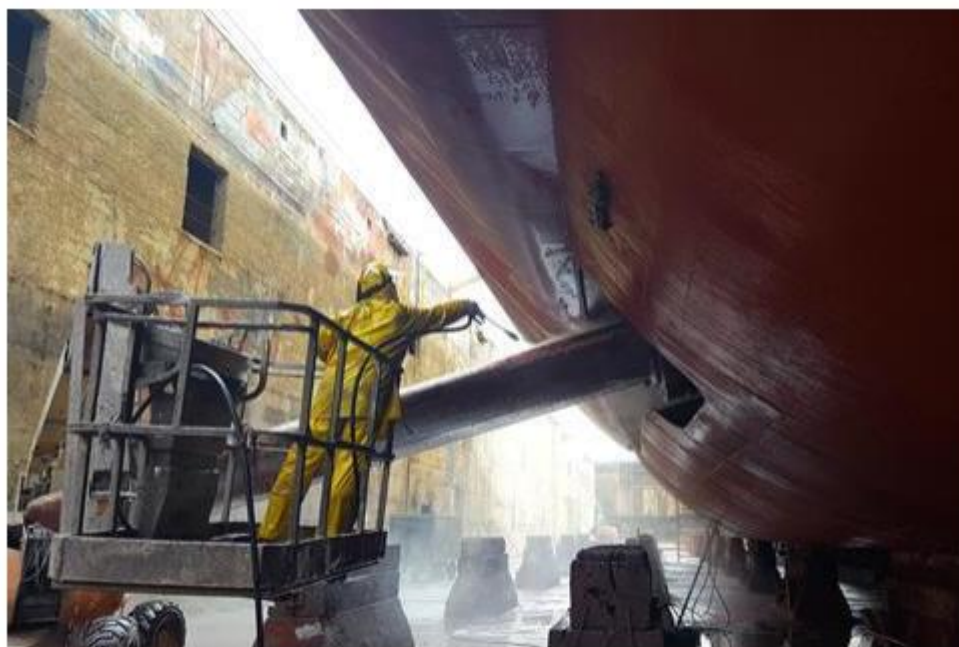


Εικόνα16. Καλή κατάσταση δεξαμενής έρματος, μετά από 13 έτη λειτουργίας

(Πηγή: IACS, 2015)

Ο πιο κοινός τύπος επίστρωσης που χρησιμοποιείται στις δεξαμενές έρματος είναι η επίστρωση βαρέως τύπου δύο συστατικών οι οποίες εφαρμόζονται χωρίς την προσθήκη διαλύτη (solvent-free) και περιέχουν ενώσεις με χαμηλό μοριακό βάρος ώστε η βαφή να έχει κατάλληλο ιξώδες για να μπορεί να ψεκαστεί. Η εφαρμογή των επιστρώσεων γίνεται με ψεκασμό ή με χρήση ρολού (για μεγάλες επιφάνειες) ή με χρήση πινέλου διαφόρων τύπων (για μικρές επιφάνειες), ενώ δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο πάχος της μεμβράνης (ABS, 2017).

Οι Νηογνώμονες, μέσω απαιτήσεων και συστάσεων, προτείνουν μέτρα για την αντιμετώπιση του φαινομένου της διάβρωσης στις δεξαμενές έρματος. Ορισμένα από αυτά σχετίζονται με τις μεθόδους προστασίας, έχοντας ως στόχο τον περιορισμό τη διάβρωσης. Για παράδειγμα, σε όλες τις νέες δεξαμενές έρματος εφαρμόζεται πλέον σκληρότερη επίστρωση για μεγαλύτερη αντοχή , ενώ συνιστούν ανοιχτόχρωμες επιστρώσεις, προκειμένου να εντοπίζονται ευκολότερα τυχόν διαβρώσεις και φθορές στις επιφάνειες των δεξαμενών⁶.

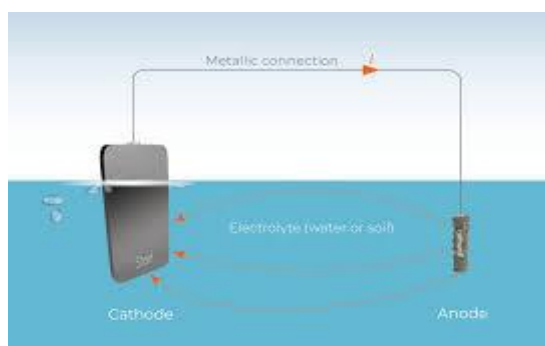


⁶ Corrosion Protection Systems for Ballast Tanks and Void Spaces. Available on: <https://web.archive.org/web/20070206023011/http://amteccorrosion.co.uk/papers/cpsforbtanks.html> [Accessed 12/12/2021]

Εικόνα 17. Επίστρωση με προστατευτικό χρώμα κατά τη διάρκεια δεξαμενισμού
(Πηγή: Zainzinger, 2019)

3.3 Η μέθοδος της καθοδικής προστασίας

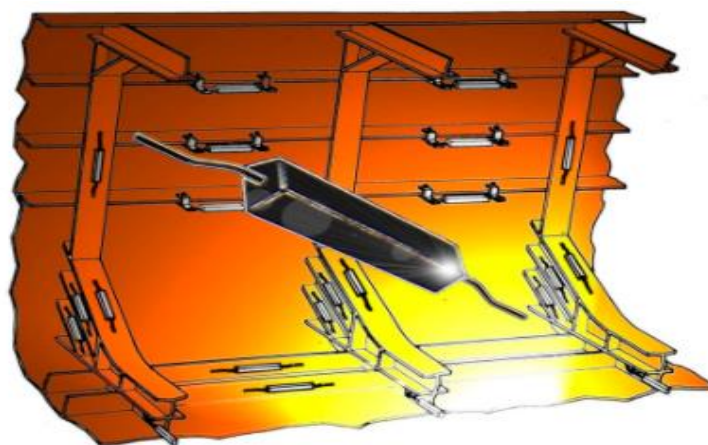
Όταν δύο ηλεκτρόδια τοποθετημένα σε διάλυμα ηλεκτρολύτη έρθουν σε επαφή (μέσω των εκτός υγρού άκρων τους) με μεταλλικό αγωγό, το μέταλλο που δρα ως άνοδος (anode) υπόκειται σε διάβρωση ενώ εκείνο που δρα ως κάθοδος (cathode) δεν θα επηρεαστεί. Αντιστρέφοντας το ρεύμα, η διάβρωση της ανόδου μπορεί να αποφευχθεί διαβιβάζοντας ρεύμα κατάλληλης πολικότητας και τιμής ώστε να μειωθεί το ηλεκτρικό δυναμικό του μετάλλου που θέλουμε να προστατευτεί, λειτουργώντας ως κάθοδος.



Εικόνα17. Η μέθοδος καθοδικής προστασίας (Πηγή: www.cathwell.com)

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους: μέσω γαλβανικής καθοδικής προστασίας και μέσω καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα. Εδώ θα ασχοληθούμε μόνο με τη γαλβανική καθοδική προστασία, λόγω της ιδιαίτερης φύσης των δεξαμενών έρματος.

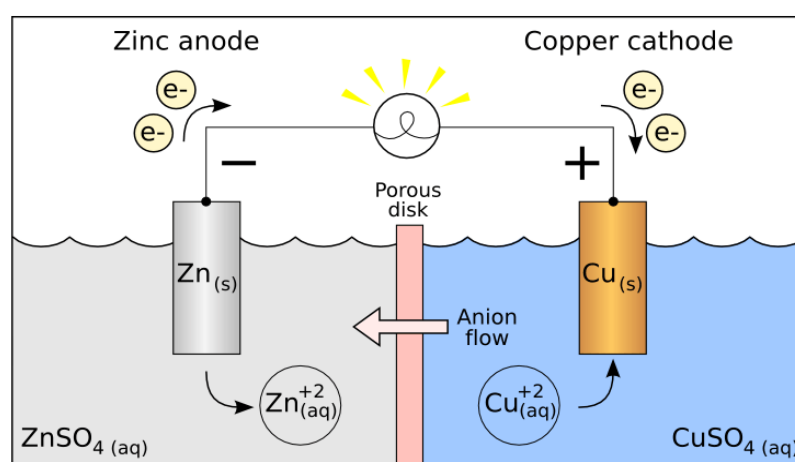
Στη **μέθοδο της γαλβανικής καθοδικής προστασίας ή μέθοδο θυσιαζόμενης ανόδου**, τοποθετείται δραστικό μέταλλο δηλ. μέταλλο με χαμηλό δυναμικό κοντά στο μέταλλο που θέλουμε να προστατεύσουμε.



Εικόνα 18. Καθοδική προστασία σε δεξαμενές έρματος πλοίου

(Πηγή: www.pdf.nauticexpo.com)

Οι θυσιαζόμενες άνοδοι λειτουργούν με την ηλεκτρόλυση, σύμφωνα με την οποία, εάν μια άνοδος και μια μεταλλική λωρίδα βυθιστούν σε ένα ηλεκτρολυτικό διάλυμα, το ηλεκτρόνιο ανόδου θα διαλυθεί και θα αποτεθεί πάνω από τη μεταλλική λωρίδα και θα την κάνει κάθοδο.



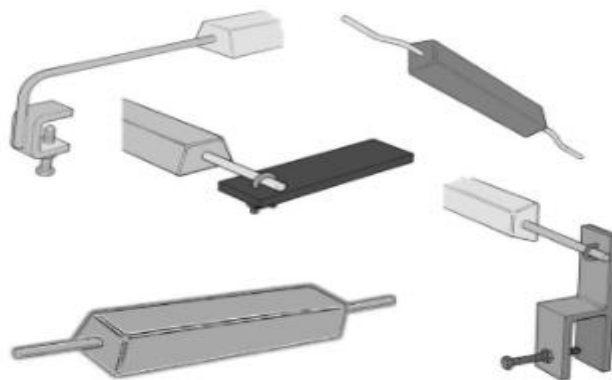
Εικόνα 19. Αρχή λειτουργίας καθοδικής προστασίας

(Πηγή: www.marineisight.com)

Στην εικόνα 19 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας της μεθόδου . Στην περίπτωση των δεξαμενών έρματος, το θαλασσινό νερό λειτουργεί ως ηλεκτρολύτης και μεταφέρει τα ηλεκτρόνια από την άνοδο διαβρώνοντάς την πάνω από τη χαλύβδινη μεταλλική επιφάνεια της δεξαμενής, οπότε δημιουργείται ένα προστατευτικό στρώμα. Επειδή η άνοδος θα διαβρωθεί πρώτα θυσιάζοντας τον εαυτό της για την μεταλλική επιφάνεια, ονομάζεται θυσιαζόμενη άνοδος. Η μέθοδος αυτή είναι η πλέον δημοφιλής μέθοδο πρόσθετης προστασίας για τις δεξαμενές έρματος του πλοίου.

Οι άνοδοι ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το σχήμα, το μέγεθος, το υλικό κατασκευής και τη μέθοδο τοποθέτησής τους. Στη ναυτιλιακή βιομηχανία, όπως προαναφέραμε, προτιμώνται κυρίως οι άνοδοι ψευδάργυρου και αλουμινίου (IACS, 2015).

Σύμφωνα με τους Νηογνώμονες (ABS, 20217, IACS, 2015) το σχήμα της ανόδου μπορεί να αποφασιστεί βάσει του σχήματος του εξοπλισμού ή του τμήματος που πρέπει να προστατευτεί, βάσει του διαθέσιμου χώρου και της προσβασιμότητας. Η άνοδος μπορεί να στερεωθεί ή να τοποθετηθεί στην υπό προστασία μεταλλική επιφάνεια είτε με κοχλίες είτε συγκολλητή είτε με τη βοήθεια βραχιόνων. Μεταξύ των τριών μεθόδων, η συγκόλληση είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος διότι μπορεί να διατηρήσει τη μέγιστη ηλεκτρική συνέχεια και να παραμείνει σε στενή επαφή με την προστατευόμενη επιφάνεια, ενώ οι άλλες δύο χρησιμοποιούνται όταν τα σημεία δεν είναι προσβάσιμα με συγκόλληση και εμφανίζουν το πλεονέκτημα της εύκολης εξάρμοσης και αντικατάστασης (IACS, 2015).



Εικόνα 20. Τρόποι σύνδεσης ανόδων

(Πηγή: www.pdf.nauticexpo.com)

Για καθοδική προστασία σε θαλασσινό νερό, όπως αυτή που θέλουμε στις δεξαμενές έρματος, χρησιμοποιούνται άνοδοι ψευδαργύρου (Zn) ή αλουμινίου (Al) και κράματά τους, ενώ για καθοδική προστασία σε γλυκό νερό χρησιμοποιούνται άνοδοι μαγνησίου (Mg).

Οι Νηογνώμονες δεν θέτουν περιορισμούς στη χρήση ψευδαργύρου, σε αντίθεση με τη χρήση Αλουμινίου και Μαγνησίου. Ειδικότερα, οι άνοδοι μαγνησίου δεν χρησιμοποιούνται στις δεξαμενές έρματος επειδή εμφανίζουν την τάση να παράγουν υδρογόνο το οποίο καταστρέφει κάποιους τύπους επικαλύψεων (Καρύδης, 2002).

Η ελάχιστη διάρκεια ζωής θυσιαζόμενων ανόδων είναι 4 έτη, τοποθετούνται σε οποιοδήποτε στάδιο της διάρκειας ζωής της δεξαμενής έρματος, ενώ ο αριθμός και η θέση

τους εξαρτώνται από την πληρότητα των δεξαμενών, ενώ πρέπει να τοποθετούνται σε σημεία με εύκολη πρόσβαση για την επιθεώρηση, τον καθαρισμό ή την αντικατάσταση τους (IACS, 2015). Η σύνδεση των ανόδων πρέπει να γίνεται με συγκόλληση, ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση πρέπει να διασφαλίζεται η άριστη ηλεκτρική επαφή τους με τη τον πυθμένα και τα τοιχώματα της δεξαμενής έρματος (ABS, 2017).

Υπάρχουν διάφορες μορφές ανόδων που μπορούν να τοποθετηθούν στο εσωτερικό μιας δεξαμενής. Ο σημαντικότερος παράγοντας επιλογής του τύπου των ανόδων, είναι το μέγεθος της δεξαμενής που θα τοποθετηθούν και η μορφολογία της. Για παράδειγμα, στις δεξαμενές έρματος χρησιμοποιούνται μακριές και επίπεδες, προκειμένου να τις προστατεύουν στην περίπτωση που σχηματίζονται λιμνάζοντα νερά.

Οι άνοδοι πρέπει να αλλάζουν μόνο αφού έχουν αποσυντεθεί πλήρως, ενώ σε περίπτωση που έχουν αλλοιωθεί εντελώς πρέπει να τοποθετηθούν άνοδοι μεγαλύτερου μεγέθους (IACS, 2015), διότι πλήρης αλλοίωση σημαίνει ότι το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν κακής ποιότητας.

3.4 Η μέθοδος της ελεγχόμενης ατμόσφαιρας (Controlled Atmosphere)

Αυτό το σύστημα είναι γνωστό ως απογύμνωση οξυγόνου (oxygen stripping) διότι μειώνει και διατηρεί την περιεκτικότητα σε οξυγόνο της δεξαμενής έρματος κάτω από 4%, μέσω εισαγωγής αδρανούς αερίου (Inert Gas) προκειμένου να ελαττωθεί ο ρυθμός διάβρωσης των μεταλλικών επιφανειών της. Μάλιστα επιτυγχάνει μείωση της διάβρωσης έως και 84%.⁷

Εφαρμόζεται σε δεξαμενόπλοια, όμως απαιτεί χρήση διπλού scrubber στο IG και καλή συντήρηση του δικτύου IG προκειμένου να αποφεύγεται η είσοδος θείου (S) από το σύστημα αδρανούς στη δεξαμενή έρματος διότι τότε η διάβρωση επιταχύνεται.

Το σύστημα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό τόσο με εκείνο της προστατευτικής επίστρωσης όσο και με εκείνο των θυσιαζόμενων ανόδων επιμηκύνοντας τη διάρκεια ζωής τους και πλεονεκτήματα του συστήματος αποτελούν η μείωση του κόστους συντήρησης της

⁷Corrosion Protection Systems for Ballast Tanks and Void Spaces. Available on: <https://web.archive.org/web/20070206023011/http://amteccorrosion.co.uk/papers/cpsforbtanks.html> [Accessed 15/12/2021]

επίστρωσης των δεξαμενών έρματος, η αύξηση της διάρκειας ζωής των θυσιαζόμενων ανοδίων και γενικότερα η παράταση ζωής των δεξαμενών έρματος.⁸

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Κανονισμοί, συντήρηση, επιθεωρήσεις

4.1 Συντήρηση των δεξαμενών έρματος

Η συντήρηση έχει μεγάλη σημασία για τις δεξαμενές έρματος καθώς έχει στόχο την επιμήκυνση του χρόνου ζωής της. Κατά συνέπεια, απαιτείται σωστός προγραμματισμός και πιστή εφαρμογή ενός πλάνου συντήρησης προκειμένου το προστατευτικό επίστρωμα να αντέξει μέχρι 25 χρόνια, σε αντίθεση με ένα μη συντηρούμενο σωστά, το οποίο έχει διάρκεια ζωής από 5 έως 10 έτη⁹. Πρακτικά αυτό έχει μεγάλη σημασία για την εταιρεία καθώς κοντά στην τρίτη ειδική επιθεώρηση, όταν το πλοίο θα είναι ήδη 15 ετών, ως μοναδική επιλογή θα υπάρχει η αντικατάσταση των μεταλλικών επιφανειών που έχουν υποστεί φθορά, εργασία ιδιαίτερα χρονοβόρα και κοστοβόρα.

Δεδομένου ότι ο τρόπος και ο ρυθμός διάβρωσης μιας δεξαμενής είναι διαφορετικός για κάθε κατασκευαστικό στοιχείο της (ανάλογα με τη θέση και λειτουργία του) η λειτουργία της σε συνθήκες κλειστού περιβάλλοντος επηρεάζουν τόσο την αντοχή όσο και τη συμπεριφορά της στη διάβρωση. Οι δεξαμενές υπόκεινται σε διάβρωση από την ατμόσφαιρα καθώς και από το θαλασσινό ή γλυκό νερό ή άλλο φορτίο που περιέχεται στο εσωτερικό τους. Για το λόγο αυτό, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization -

⁸ A Guide To Ballast Tanks On Ships. Available on: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/a-guide-to-ballast-tanks-on-ships> [Accessed 15/12/2021]

⁹ Καρύδης Π., «Επιθεώρηση, Συντήρηση & Επισκευή της Μεταλλικής Κατασκευής του Πλοίου», 2 η εκδ., Αθήνα, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2002.

ΠΜΟ) καθορίζει ειδικά πρότυπα αντιδιαβρωτικής προστασίας μέσω διαδικασιών συντήρησης και επισκευών σε τακτά χρονικά διαστήματα (Huang & Zhang, 2018).

Ο IACS στις οδηγίες αναφορικά με τη συντήρηση και την επισκευή των δεξαμενών έρματος (2015) περιλαμβάνει αρχικά την αφαίρεση λάσπης, αφού πρώτα πολτοποιηθεί και ακολούθως των ιζημάτων. Τα άλατα αφαιρούνται με απόξεση. Ακολουθεί μηχανική αφαίρεση της επιφανειακής σκουριάς και ομαλοποιούνται όλα τα τραχιά άκρα του υπάρχοντος επιστρώματος. Στη συνέχεια αφαιρούνται τυχόν υπολείμματα και ακολουθεί πλύσιμο της δεξαμενής με γλυκό νερό. Μετά το πλύσιμο, αν πρόκειται να γίνουν εργασίες αποκατάστασης, απαιτείται ξήρανση και προετοιμασία της επιφάνειας ώστε να εφαρμοστούν προστατευτικές άνοδοι και η νέα επίστρωση. Επίσης, πριν από την εφαρμογή της επίστρωσης πρέπει να ελεγχθούν προσεκτικά όλα τα σημεία προκειμένου να εκτιμηθούν οι επιφάνειες που πρέπει να επικαλυφθούν. Κατά την επικάλυψη, αναμιγνύονται μόνο οι απαιτούμενες ποσότητες επίστρωσης που αναλογούν σε ένα μόνο πέρασμα. Διπλό πέρασμα γίνεται στις περιοχές με σκουριά, τις συγκολλήσεις και στις αιχμηρές άκρες. Τέλος, στις μεγάλες επιφάνειες η εφαρμογή της επίστρωσης γίνεται με ψεκασμό.

Αρχικά, στις δεξαμενές πρέπει να ερευνηθούν τυχόν ρωγμές ή κάμψη σε λυγισμό, ενώ οι ενισχυτικές διατάξεις ελέγχονται για τυχόν ρωγμές και καμπτική καταπόνηση, ώστε να επισκευασθούν με την πρώτη ευκαιρία. Η επίστρωση των δεξαμενών πρέπει επιθεωρηθεί ώστε να ελεγχθεί πιθανή ορατή αστοχία της, ή σκουριά της επιφάνειας της δεξαμενής ειδικά στις γραμμές συγκόλλησης και στις άκρες τους.

Στην περίπτωση συντήρησης εν πλω, η προετοιμασία χαλύβδινης επιφάνειας γίνεται με απόξεση ή θραύση προσκολλημένων, στην επιφάνεια, ξένων σωμάτων, με ξύστρες ή απομάκρυνση με σφυρί, καλέμι και ακολούθως συρματοβουρτσα. Με τον τρόπο αυτό αφαιρείται η επιφανειακή σκουριά όμως δεν συνίσταται για σκουριά μεγάλης έκτασης (Eaton, 2017).

4.2 Επιθεώρηση των δεξαμενών έρματος

Οι δεξαμενές έρματος υπόκεινται σε ενδιάμεση επιθεώρηση, η οποία πραγματοποιείται σε αντικατάσταση της δεύτερης ή της τρίτης ετήσιας επιθεώρησης και περιλαμβάνει διαφορετικούς ελέγχους, ανάλογα με την ηλικία του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα (ABS, 2019):

- Σε πλοία ηλικίας άνω των πέντε και μέχρι δέκα ετών απαιτείται μια εσωτερική γενική επιθεώρηση ορισμένων δεξαμενών έρματος. Εάν κατά την επιθεώρηση δεν υπάρχουν ορατά σφάλματα, δεν απαιτείται επιπλέον έλεγχος. Όμως, αν διαπιστωθεί καταστροφή της επίστρωσης ή και εκτεταμένη διάβρωση απαιτείται παχυμέτρηση.

- Σε πλοία ηλικίας άνω των δέκα ετών απαιτείται εσωτερικός έλεγχος των δεξαμενών θαλάσσιου έρματος και σε περίπτωση που η κατάσταση της μεταλλικής κατασκευής ή του συστήματος προστασίας της από τη διάβρωση δεν είναι ικανοποιητική, απαιτείται παχυμέτρηση και παραπέρα εσωτερικός έλεγχος.

Σε περίπτωση που κάποια δεξαμενή καυσίμων χρειαστεί για λόγους ευστάθειας να πληρωθεί με θαλασσινό νερό τότε οι νηογνώμονες έχουν ορίσει τρόπους καθοδικής προστασίας που φαίνονται παρακάτω (IACS, 2015):

Επιφάνειες	Δεξαμενές έρματος
Άνω περιοχή δεξαμενής (1.5 m κάτω από το κατάστρωμα)	Προστατευτικό επίστρωμα.
Μεσαία περιοχή	Προστατευτικό επίστρωμα ή επίστρωμα στις οριζόντιες επιφάνειες και σύστημα ανόδων.
Κάτω άκρα ύψους 1 m	Προστατευτικό επίστρωμα και σύστημα ανόδων.

Εικόνα 21. Καθοδική προστασία δεξαμενών έρματος (Πηγή: IACS, 2015)

Προκειμένου οι άνοδοι να παρέχουν καθοδική προστασία για διάστημα 4 ετών πρέπει να έχουν συγκεκριμένο βάρος το οποίο υπολογίζεται ανάλογα με το εμβαδόν επιφανείας που πρέπει να καλυφθεί και προσαυξάνεται κατά 20% προκειμένου να παραμένει η άνοδος σε καλή κατάσταση και μετά το πέρας των 4 ετών.

Στις πάνω περιοχές των δεξαμενών, μέχρι και 1.5m κάτω από το κατάστρωμα χρησιμοποιείται προστατευτική επίστρωση, καθώς και οριζόντιες επιφάνειες, προκειμένου να μη συσσωρεύεται μείγμα νερού και πετρελαίου που προκαλεί έντονη διάβρωση.

Στις κάτω περιοχές χρησιμοποιείται συνδυασμός προστατευτικής επίστρωσης και καθοδικής προστασίας διότι η καθοδική προστασία δεν μπορεί να λειτουργήσει στο βέλτιστο παρουσία μειγμάτων νερού και πετρελαίου που λιμνάζουν σε συγκεκριμένα σημεία.

Αν βρεθεί σκουριά σε ποσοστό μέχρι και 1% της επικαλυμμένης περιοχής, πρέπει να αρχίσει νωρίτερα η επίστρωση συντήρησης. Η επίστρωση συντήρησης (maintenance coating) μπορεί να πραγματοποιηθεί με το ίδιο σύστημα επίστρωσης που χρησιμοποιήθηκε αρχικά και γίνεται είτε κατά τη διάρκεια δεξαμενισμού (dry – dock repair) ή εν πλω (repair at sea) για τις δεξαμενές έρματος.

Σύμφωνα με τον IMO (DNV, 2015), για τις εργασίες συντήρησης και επισκευής, σε κάθε πλοίο διατηρείται τεχνικός φάκελος επίστρωσης (CTF), όπως ορίζουν οι κανονισμοί επιθεώρησης λιμένα (Port State Control – PSC). Μάλιστα, όπως ορίζει το πρότυπο επιθεωρήσεων λιμένα σχετικά με τα συστήματα διαχείρισης έρματος των πλοίων (IMO WBT) οι εργασίες συντήρησης ή επισκευής που σχετίζεται με την επίστρωση σε δεξαμενές έρματος πρέπει να καταγράφονται στο CTF.

Η λάσπη και το παγωμένο νερό στο κατώτατο σημείο των δεξαμενών πρέπει να αφαιρούνται σε προγραμματισμένη και συνεχή βάση, προκειμένου να αποφευχθεί η διάβρωση, η βακτηριακή ανάπτυξη και η ανάπτυξη βακτηριακής διάβρωσης, ενώ το αλάτι θα πρέπει να αφαιρείται όσο το δυνατόν περισσότερο πλένοντας τις δεξαμενές έρματος με γλυκό νερό. Η περιεκτικότητα σε αλάτι σε επιφάνειες που πρόκειται να επικαλυφθούν θα πρέπει να είναι τουλάχιστον κάτω των 80 mg / m². Μία αναγνωρισμένη μέθοδος δοκιμής για αλάτι είναι το πρότυπο ISO 8502- 9 (Eaton, 2017).

Σε επίπεδο ασφαλείας, θα πρέπει να τηρούνται αυστηρά όλες οι διαδικασίες ασφαλείας τόσο κατά την είσοδο στις δεξαμενές έρματος όσο και κατά τη διάρκεια της εργασίας της επίστρωσης. Επιπρόσθετα, το προσωπικό πρέπει να είναι κατάλληλα εκπαιδευμένο για την ασφαλή χρήση του εξοπλισμού συντήρησης. Η επιδιόρθωση της επίστρωσης πρέπει να επιθεωρείται από ειδικευμένους επιθεωρητές, όπως επιθεωρητής επικάλυψης NACE επιπέδου 2 ή επιθεωρητής FROSIO επιπέδου III (Eaton, 2017).

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι προετοιμασίας της επιφάνειας (Eaton, 2017, DNV,2015).

Η χρήση υδροβολής με πίεση νερού πάνω 100 MPa θα δώσει ποικίλα αποτελέσματα ανάλογα με το σχεδιασμό του ακροφυσίου, την ταχύτητα λειτουργίας και άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά. Η χαλαρή σκουριά, η κλίμακα και η επικάλυψη γενικά θα σβήνουν, όμως η σκληρή μαύρη σκουριά δεν θα καταργηθεί. Αντίθετα, υδροβολή με πιέσεις άνω των 200 MPa δίνει ταχύτερα και συνήθως καλύτερα αποτελέσματα. Ανάλογα με την καθαρότητα που

επιτυγχάνεται, η αναμενόμενη ωφέλιμη ζωή των καλών επιστρώσεων μπορεί να φτάσει τα δέκα χρόνια.

Η αμμοβολή είναι τεχνικά η καλύτερη μέθοδος για την απόκτηση ανθεκτικής επικάλυψης, όμως δεν προτιμάται για την επίστρωση συντήρησης. Η αναμενόμενη ωφέλιμη ζωή μιας καλής επικάλυψης που εφαρμόζεται σε επιφάνεια με αμμοβολή σε κατάσταση συντήρησης μπορεί να είναι δέκα (10) έτη ή περισσότερο.

Συμπεράσματα

Τα πλοία είναι ιδιαίτερα ευπαθή στη διάβρωση καθώς οι εξωτερικές και οι εσωτερικές μεταλλικές τους επιφάνειες έρχονται συνεχώς σε επαφή με το νερό και τα φορτία.

Η διαβρωτικότητα του θαλασσινού νερού αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, την περιεκτικότητα σε οξυγόνο, την αλατότητα και άλλες παραμέτρους. Κατά συνέπεια, αποτελεί έναν ιδανικό ηλεκτρολύτη, ο οποίος σε συνδυασμό με το κύτος και τις υπόλοιπες μεταλλικές επιφάνειες του πλοίου σχηματίζει γαλβανικό στοιχείο.

Ιδιαίτερα εκτεθειμένες στη διάβρωση είναι οι δεξαμενές έρματος μαζί με τις σωληνώσεις του δικτύου τους καθώς έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό.

Δεδομένου ότι οι δεξαμενές έρματος δεν είναι εύκολα προσβάσιμες και ότι η συντήρησή τους είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και χρονοβόρα, είναι σημαντικό να εφαρμόζονται συστήματα αντιδιαβρωτικής προστασίας που θα παρέχουν τη μέγιστη δυνατή προστασία τόσο σε βάθος χρόνου όσο και σε ποιότητα.

Τέλος, οι μεταλλικές επιφάνειες των δεξαμενών έρματος, λόγω των συνεχών εναλλαγών ερματισμού, πρέπει να συντηρούνται ώστε να αντέχουν στη διάβρωση που προκαλεί το θαλασσινό νερό και να επιμηκύνεται η διάρκεια ζωής τους καθώς είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τη λειτουργία του πλοίου.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

1. Καρύδης Π.(2002). «Επιθεώρηση, Συντήρηση & Επισκευή της Μεταλλικής Κατασκευής του Πλοίου», 2 η εκδ., Αθήνα, Εκδόσεις ΕΜΠ.
2. Κουλουμπή Ν. (2010). «Διάβρωση και Προστασία», Ε.Μ.Π
3. Παντελής Δ.Ι., Τσιούρβα Θ. «Διάβρωση και Προστασία Ναυπηγικών Κατασκευών», Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ε.Μ.Π 2006.
4. Παντελής, Δ.Ι., Χρυσουλάκης Γ.Δ.(1996). «Επιστήμη και Τεχνολογία Μεταλλικών Υλικών», Παπασωτηρίου.

Ξενόγλωσση

1. ABS (2019). «Rules for Building and Classing Steel Floating Dry Docks», [Online] Available from: https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/special_service/11-steel-floatingdrydocks/dry-dock-rules-jan-19.pdf [Accessed 12/12/2021]
2. ABS (2007). « Guidance Notes on the Inspection, Maintenance and Application of Marine Coating Systems», 3 rd Ed., [Online] Available from: https://maddenmaritime.files.wordpress.com/2015/06/abs-guiance-notes-on-coatingspub49_coatingsnov07.pdf [Accessed 11/12/2021]
3. ABS (2003). «Rule Requirements for Materials and Welding|», PART 2, [Online] Available from:<https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules->

[andguides/archives/conventional_ocean_service/2_steelvesselrules2003/part_2.pdf](https://www.dnvgl.com/rules-and-guides/archives/conventional_ocean_service/2_steelvesselrules2003/part_2.pdf)

[Accessed 17 February 2021]

4. Darchivio, F., Cassanelli, A. and Simison, S. (2009). «Cathodic Protection of Ship Hulls by galvanic anodes: Design evaluation», Paper No. 09524, NACE International, Corrosion 2009.
5. DNV-RP-B101 (2015). «Corrosion Protection of Floating Production and Storage Units», [Online] Available from: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/dnvgl/RP/2015-07/DNVGL-RP-B101.pdf> [Accessed 15/11/2021]
6. DNV-RP-C302 (2015). «Risk Based Corrosion Management», [Online] Available from: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RP/2015-07/DNVGL-RP-C302.pdf> [Accessed 15/11/2021]
7. DNV (2012). «Rules for Classification of Floating Docks», [Online] Available from: https://www.academia.edu/6536135/DNV_Rules_for_Floating_Docks?auto=download [Accessed 17/12/2021]
8. Eaton P. (2017). «Onboard Maintenance Painting Guide», [Online] Available from: <https://silo.tips/download/onboard-maintenance-painting-guidedf> [Accessed 14/11/2021]
9. HEGER DRY DOCK INC (2018). «Dockmaster Training Manual», [Online] Available from: http://www.hegerdrydock.com/dockmaster_training_manual.pdf [Accessed 1/12/2021].
10. HEXPOL® TPE (2020). «Product, Processing & Company Guides», [Online] Available from: https://www.hexpol.com/tpe/resources/downloads/?jet-smart-filters=jetengine/downloads&tax_query_types-filter-documents=283 [Accessed 21/11/2021]
11. Huang Y., Zhang J., (2018). «Materials Corrosion and Protection», Shanghai Jiao Tong University Press, DE GRUYTER, 2018
12. IACS (2015). «Guidelines for Coating Maintenance & Repairs for Ballast Tanks and Combined Cargo/Ballast Tanks on Oil Tankers», June 2004/Rev.2 2015
13. ISO 8044 (2020), «Corrosion of Metals and Alloys», [Online] Available on: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8044:ed-5:v1:en> [Accessed 12/11/2021]
14. ISO 12944 (2018). «Paints and Varnishes – Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems.
15. Jirapure S.C., Borade A.B (2014). «Naval Corrosion-Causes and Prevention’, International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 3(7), 263-268, 2014. [Online] Available from: https://www.academia.edu/7875840/Naval_Corrosion_Causes_and_Prevention [Accessed 1/12/2021]

- 16.** NACE International; 'Coating Inspector Program Level 2', Student Manual, January 2014.
- 17.** World Centre for Materials Joining Technology (2004). «Painting Inspection Grade 3/2 (ATC88) », Ch.4, p. 3, 2004.