



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

**«Προηγμένες Τεχνολογίες στη Ναυπηγική και Ναυτική
Μηχανολογία»**

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

Διάβρωση, Συντήρηση και Επισκευή Δεξαμενών Έρματος Πλοίων

Corrosion, Maintenance and Repair of Ballast Tanks

Συγγραφέας:

ΓΚΙΟΤΣΑΛΙΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

A.M.: 1804

Επιβλέπουσα: Δρ. Σταματίνα Θεοχάρη, Αναπληρώτρια. Καθηγήτρια ΠΑ.Δ.Α.

Αιγάλεω, Απρίλιος 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Προηγμένες Τεχνολογίες στη Ναυπηγική και Ναυτική Μηχανολογία»

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

Τίτλος: Διάβρωση, Συντήρηση και Επισκευή Δεξαμενών Έρματος Πλοίων

Συγγραφέας

ΓΚΙΟΤΣΑΛΙΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (Α.Μ.: 1804)

Επιβλέπουσα

Σταματίνα Θεοχάρη,

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΠΑ.Δ.Α.

Ημερομηνία εξέτασης

08/04/2022

Εξεταστική Επιτροπή

Σταματίνα Θεοχάρη,
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια
ΠΑ.Δ.Α.

Αλέξανδρος Θεοδουλίδης,
Επίκουρος Καθηγητής
ΠΑ.Δ.Α.

Σωτηρία Δημητρέλλου,
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια
ΠΑ.Δ.Α.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Γκιोटσαλίτης Γεώργιος του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 1804 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Προηγμένες Τεχνολογίες στη Ναυπηγική και Ναυτική Μηχανολογία» του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής 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 μένα 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 πτυχίου μου».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 31/12/2022 και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο Δηλών:



ΓΚΙΟΤΣΑΛΙΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, όλους εκείνους τους ανθρώπους που στάθηκαν δίπλα μου κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ξεχωριστές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στην επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Σταματίνα Θεοχάρη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, για την ανάθεση της διπλωματικής μου εργασίας και για την καθοδήγησή της κατά τη διάρκεια της συγγραφής της.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου και ιδιαίτερα στην σύζυγο μου Ασημακοπούλου Ελένη και την κορούλα μας για την στήριξη τους όλο αυτό το διάστημα. Χωρίς αυτούς δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία μελετάται το πρόβλημα της διάβρωσης των δεξαμενών έρματος των πλοίων, οι τρόποι αντιμετώπισης, καθώς και οι τρόποι συντήρησης και επισκευής αυτών. Ακολούθως, γίνεται παρουσίαση των δεξαμενών έρματος, ενώ παράλληλα αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά του χάλυβα, ο οποίος είναι το κύριο κατασκευαστικό υλικό των δεξαμενών έρματος και τα είδη της διάβρωσης που δημιουργούνται από το περιβάλλον στις κατασκευές αυτές. Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση των σημαντικότερων συστημάτων αντιδιαβρωτικής προστασίας, τα οποία χρησιμοποιούνται για την προστασία των δεξαμενών έρματος, ενώ δίνεται έμφαση στις αντιδιαβρωτικές επιστρώσεις και στη χρήση συστημάτων καθοδικής προστασίας.

Μετά το θεωρητικό μέρος της εργασίας, γίνεται παρουσίαση μίας επιθεώρησης, που καταγράφει συνοπτικά την κατάσταση στην οποία βρίσκονται από την άποψη της διάβρωσης οι δεξαμενές έρματος ενός φορτηγού πλοίου, και επιπλέον πραγματοποιείται μία οικονομοτεχνική μελέτη για την ανάλυση του κόστους συντήρησης και αντιμετώπισης των προβλημάτων της διάβρωσης στις δεξαμενές έρματος ποντοπόρων πλοίων.

Λέξεις - κλειδιά: Διάβρωση, Ρυθμός διάβρωσης, Δεξαμενές έρματος, Συντήρηση, Επισκευή, Κόστος συντήρησης, Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ).

Abstract

This Diploma Thesis deals with the problem of corrosion and the maintenance and repair of the ballast tanks of merchant Vessel's. Thereafter, the ballast tanks are presented, and the basic characteristics of steel, which is the main construction material of the ballast tanks and the types of corrosion caused by the environment in these constructions are mentioned. In turn, the most important anti-corrosion protection systems, which are used for ballast tanks are analyzed, while emphasis is placed on anti-corrosion coatings and the use of cathodic protection systems. After the theoretical part of the work, an inspection is presented, which briefly describes the condition of the ballast tanks of a cargo ship from the point of view of corrosion, and in addition an economic-technical study is carried out for the analysis of the maintenance cost in relation with the corrosion problems in the ballast tanks of merchant Vessel's.

Keywords: Corrosion, Corrosion rate, Ballast tanks, Maintenance, Repair, Maintenance cost, International Maritime Organization (IMO).

Περιεχόμενα

Σελίδα Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.....	i
Δήλωση Συγγραφέα Μεταπτυχιακής Εργασίας.....	ii
Ευχαριστίες.....	iii
Περίληψη.....	iv
Abstract.....	v
1. Κεφάλαιο πρώτο: Ο ρόλος του έρματος.....	2-3
1.1. Έρμα από ξηρό υλικό.....	3-5
1.2. Το θαλασσινό νερό ως έρμα.....	5
2. Κεφάλαιο δεύτερο: Οι εξελίξεις που επηρέασαν την ναυτιλία τις τελευταίες δεκαετίες.....	6
2.1. Χρονικό διάστημα 1980-1990.....	6-7
2.2. Χρονικό διάστημα 1990-2000.....	7-9
2.3. Χρονικό διάστημα 2000 μέχρι σήμερα.....	9-13
3. Κεφάλαιο τρίτο: Η εξέλιξη της νομοθεσίας που αφορά την διαχείριση έρματος και οι συνέπειες από την εφαρμογή της.....	14
3.1. Η διαχείριση του <<βρώμικου>> έρματος.....	14
3.2. Η Διεθνής Σύμβαση OILPOL 1954 για την Πρόληψη της Ρύπανσης της Θάλασσας από το Πετρέλαιο.....	15
3.3. Η διεθνής σύμβαση MARPOL 73/78 για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία.....	15
3.4. Περιβάλλον και έρμα – νεότεροι κανονισμοί.....	16-17
4. Κεφάλαιο τέταρτο: Δεξαμενές έρματος.....	18
4.1. Η βασική διαμόρφωση των δεξαμενών έρματος.....	19-20
4.2. Εξοπλισμός έρματος.....	20-22
4.3. Ο ναυπηγικός χάλυβας στην κατασκευή των δεξαμενών έρματος.....	23-24
5. Κεφάλαιο πέμπτο: Το πρόβλημα της διάβρωσης στις δεξαμενές έρματος.....	25-27

5.1.	Ρυθμός διάβρωσης δεξαμενών έρματος	28-32
5.2.	Επίδραση του οξυγόνου	32-33
6.	Κεφάλαιο έκτο: Μέθοδοι προστασίας των δεξαμενών έρματος από την διάβρωση	34
6.1.	Προστασία των δεξαμενών έρματος με την χρήση θυσιαζόμενων (γαλβανικών) ανόδων	34-43
6.2.	Επικαλύψεις δεξαμενών	43-45
6.3.	Προετοιμασία Επιφανειών	46-47
6.4.	Συστήματα βαφής	48-50
6.5.	Αντιδιαβρωτικά Χρώματα.....	50-53
6.6.	Βασική νομοθεσία για τις βαφές των δεξαμενών έρματος πλοίων - Κώδικας του IMO PSPC (RESOLUTION MSC.215(82))	53-56
6.7.	Σύγχρονες τάσεις για την αντιμετώπιση της διάβρωσης των δεξαμενών έρματος	56-57
6.8.	Χρήση υλικών ανθεκτικών στην διάβρωση	57
7.	Κεφάλαιο έβδομο: Εκτίμηση της διάβρωσης των δεξαμενών έρματος – Επιθεώρηση δεξαμενών φορτηγού πλοίου	58-74
8.	Κεφάλαιο όγδοο: Μελέτη Περίπτωσης – Ανάλυση του κόστους αντιμετώπισης συνεπειών διάβρωσης	75-89
	Επίλογος	90
	Βιβλιογραφία	91-93

Ευρετήριο Πινάκων, Εικόνων, Σχημάτων και Διαγραμμάτων

- Εικόνα 1. Ανταλλαγή ερμάτων μεταξύ λιμανιών
- Εικόνα 2. Bulk carrier discharging topside tanks
- Εικόνα 3. Παράδειγμα τοπικής διάβρωσης του υποστρώματος σε WBT ως συνέπεια τοπικού σπασίματος επιχρίσματος κοντά σε αποκόμματα και συγκολλήσεις.
- Εικόνα 4. Παράδειγμα τοπικής διάβρωσης του υποστρώματος σε WBT με λάθος τοποθετημένη άνοδο σε κλειστή περιοχή της δεξαμενής.
- Εικόνα 5. Επιφάνεια χάλυβα που επηρεάζεται από βακτηριακή διάβρωση
- Εικόνα 6. Θυσιαζόμενη άνοδος σε δεξαμενή έρματος
- Εικόνα 7. Άνοδοι Μαγνησίου
- Εικόνα 8. Τυπικές θυσιαζόμενες άνοδοι και ρυθμίσεις για την εγκατάστασή τους στο εσωτερικό δεξαμενών
- Εικόνα 9. Βιδωτή θυσιαζόμενη άνοδος σε εσωτερικό δεξαμενής
- Εικόνα 10. Θυσιαζόμενες άνοδοι στον πυθμένα δεξαμενής
- Εικόνα 11. Κατάσταση διάβρωσης δεξαμενών έρματος πλοίων με την ίδια ηλικία
- Εικόνα 12. Κατάσταση διάβρωσης δεξαμενών έρματος στο πέρας του χρόνου
- Εικόνα 13. WBT No.1 Port Side
- Εικόνα 14. WBT No. 1 Starboard Side
- Εικόνα 15. WBT No. 2 Port Side
- Εικόνα 16. WBT No. 2 Starboard Side
- Εικόνα 17. WBT No. 3 Port Side
- Εικόνα 18. WBT No. 3 Starboard Side
- Εικόνα 19. WBT No. 4 Port Side
- Εικόνα 20. WBT No. 4 Starboard Side
- Εικόνα 21. WBT No. 5 Port Side
- Εικόνα 22. WBT No. 5 Starboard Side
- Εικόνα 23. WBT No. 6 Port Side
- Εικόνα 24. WBT No. 6 Starboard Side
- Εικόνα 25. FPT (Forepeak Tank)
- Εικόνα 26. APT (Aft peak Tank)
- Εικόνα 27. Τυπικό πλοίο Panamax

- Σχήμα 1. Διάταξη Forepeak, After peak, Port side & starboard side δεξαμενών σε πλοίο
- Σχήμα 2. Διάταξη δεξαμενών έρματος σε διαφορετικούς τύπους πλοίων
- Σχήμα 3. Διαμόρφωση κατώτατης γραμμής έρματος (Ballast bottom line configuration)
- Σχήμα 4. Βυθισμένες αντλίες έρματος (Framo, 2010).
- Σχήμα 5. Σύστημα καθοδικής προστασίας με θυσιαζόμενες ανόδους
- Πίνακας 1. Ανάγκες έρματος και ρυθμοί άντλησης έρματος διαφορετικών τύπων πλοίων
- Πίνακας 2. Τυπικές τιμές θυσιαζόμενων ανόδων
- Πίνακας 3. Κύρια συστήματα βαφής για δεξαμενές έρματος
- Πίνακας 4. Βαθμός εκτίμησης διάβρωσης
- Πίνακας 5. Κριτήρια κατασκευής, εξοπλισμού και συντήρησης των διαφόρων τύπων δεξαμενών
- Πίνακας 6. Παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του βάρους των δεξαμενών
- Πίνακας 7. Παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αρχικής επένδυσης
- Πίνακας 8. Παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του κόστους εκμετάλλευσης
- Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Pourbaix χάλυβα σε πόσιμο νερό
- Διάγραμμα 2. Το δυναμικό διαφόρων μετάλλων στο θαλάσσιο νερό (mV)
- Διάγραμμα 3. Ποσοστό πλοίων ανάλογα με το μέγεθος τους
- Διάγραμμα 4. Παρουσίαση κόστους αρχικής επένδυσης για κάθε περίπτωση
- Διάγραμμα 5. Παρουσίαση κόστους ανανέωσης χάλυβα
- Διάγραμμα 6. Παρουσίαση κόστους επισκευής επίστρωσης

Πίνακας ακρωνυμίων

DWT	Deadweight Tonnage
VLCC	Very Large Crude Carrier
MARPOL	IMO regulations pertaining to the marine environment and the prevention of pollution
BRIC	Is a grouping acronym which refers to the countries of Brazil, Russia, India and China deemed to be developing countries at a similar stage of newly advanced economic development, on their way to becoming developed countries
SPOT	The market for the immediate charter of a vessel
LNG	Liquefied Natural Gas
LPG	Liquefied petroleum gas
IMO	International Maritime Organisation
PSPC	Performance Standards for Protective Coating
SOLAS	Safety of Life at Sea Convention
IACS	International Association of Classification Societies
WBT	Water ballast tank
FPT	Forepeak tank
APT	After peak tank
LOA	Length overall The length of the vessel from stem to stern
CRS	Corrosion Resistant Steel
Time-Charter	A charter for a fixed period of time, usually between one and ten years, under which the owner hires out the vessel to the charterer fully manned, provisioned and insured

Κεφάλαιο πρώτο

1. Ο ρόλος του έρματος

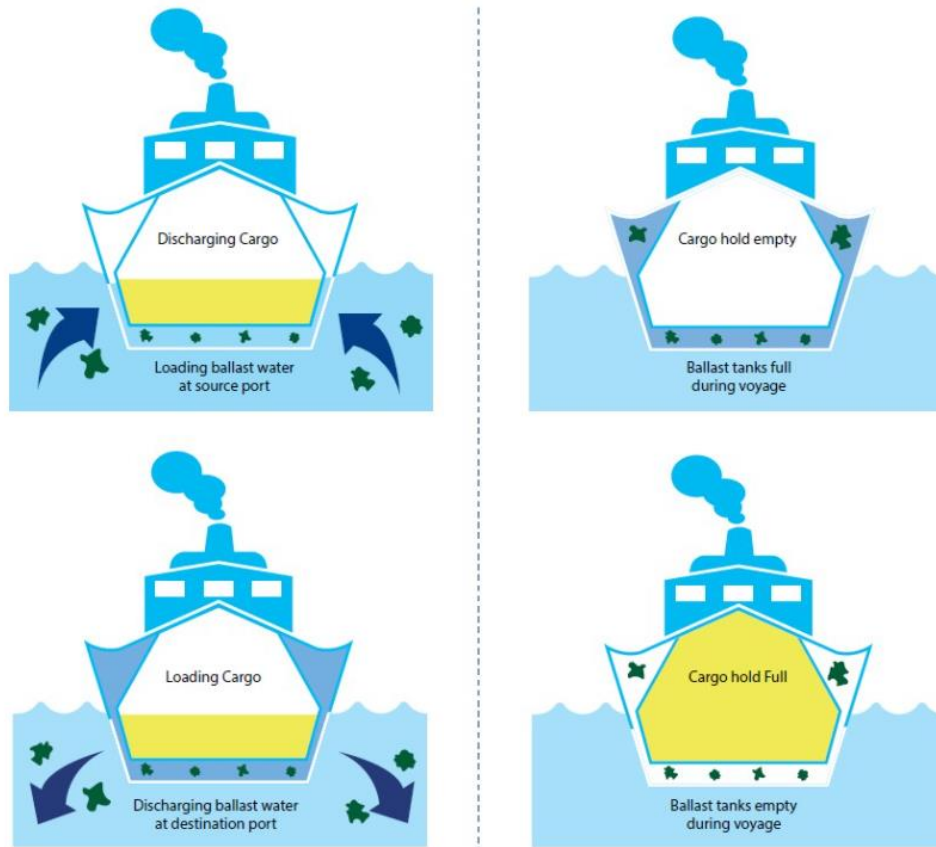
Ο όρος «θαλάσσιο έρμα» (ballast), χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει το σύνολο των φορτίων που χρησιμοποιούνται στα πλοία ώστε να ελεγχθεί η ευστάθεια, το βύθισμα, οι κλίσεις και οι δυνάμεις παραμόρφωσης (stress). Συνήθως χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό ως το νερό έρματος για την εξασφάλιση ασφαλών συνθηκών λειτουργίας σε όλο το ταξίδι. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η πίεση στο κύτος, εξασφαλίζεται εγκάρσια σταθερότητα, η πρόωση και η ευελιξία βελτιώνονται, και αντιστοίχως αντικαθίσταται το φορτίο που χάνεται εξαιτίας της κατανάλωσης καυσίμου και νερού κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.

Καταγράφονται έρματα δύο τύπων, που είναι: το **μόνιμο** το οποίο αποτελείται συνήθως από μεταλλικά βάρη με τσιμέντο τοποθετημένα στον πυθμένα συνήθως μικρών σκαφών και το **προσωρινό**, που αποτελείται συνήθως από θαλασσινό νερό (ballast water), και που τοποθετείται σε ειδικές δεξαμενές του πλοίου στα διπύθμενα (double bottoms) ή στις δεξαμενές ζυγοστάθμισης, που είναι γνωστές ως "forepeak" στη πλώρη και "aftpeak" στη πρύμνη οι οποίες χαρακτηρίζονται με τον γενικό όρο δεξαμενές έρματος (ballast tanks).

Το έρμα αποτελεί συνήθως το 1/3 περίπου του βάρους της συνολικής μεταφορικής ικανότητας του πλοίου. Εάν το πλοίο ταξιδεύει άφορτο, δηλαδή κενό φορτίου χαρακτηρίζεται ως «in ballast». Γενικά, το θαλάσσιο έρμα μεταβάλλεται ανάλογα με το εάν το πλοίο φορτώνει ή ξεφορτώνει εμπορεύματα (**Εικόνα 1**).

Ωστόσο, ενώ το νερό έρματος θεωρείται απαραίτητο για την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία των σύγχρονων πλοίων, ενδέχεται να δημιουργήσει οικολογικά, οικονομικά ακόμα και προβλήματα υγείας εξαιτίας των θαλάσσιων οργανισμών που υπάρχουν και κυκλοφορούν στο νερό έρματος των πλοίων. Ο ΙΜΟ αναφέρει ότι νέοι βιολογικοί μικροοργανισμοί μεταφέρονται μέσα στο νερό έρματος από λιμάνι σε λιμάνι, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει καταστροφή και απώλειες τόσο στους θαλάσσιους οργανισμούς όσο και στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Με την πάροδο του χρόνου φαίνεται ότι διάφορα οικοσυστήματα αρχίζουν να δυσλειτουργούν, διάφορα είδη ζώων οδηγούνται στην εξαφάνιση, και επίσης αναδεικνύεται ο κίνδυνος να εμπλακούν στην τροφική αλυσίδα και να προκληθούν μη

αναστρέψιμες αλλαγές οι οποίες να οδηγήσουν ακόμα και στην εμφάνιση και εξάπλωση επικίνδυνων ιών. (Valentine, V. F., Benamara, H., & Hoffmann, J., 2013).



Εικόνα 1. Ανταλλαγή ερμάτων μεταξύ λιμανιών

<https://www.wilhelmsen.com/media-news-and-events/industry-perspectives/2017/bwm-preparation/>

1.1. Έρμα από ξηρό υλικό

Η αναζήτηση για έρμα επί των πλοίων ξεκίνησε πριν από χιλιάδες χρόνια. Τα πρώτα μέσα μεταφοράς πάνω στο νερό ήταν οι σχεδίες, τα κανό και τα ιστιοπλοϊκά χωρίς έρμα. Αυτά τα μέσα είχαν την απαραίτητη πλευστότητα χάρη στο γεγονός ότι διέθεταν ευρεία κατασκευή με περιορισμένο βύθισμα. Η επιφάνεια στην οποία είχε να προσκρούσει η ανοδική δύναμη ήταν σχετικά μεγάλη και, κατά συνέπεια, η ικανότητα μεταφοράς βάρους ήταν σημαντική.

Σε μια πρώτη φάση, άφθονα διαθέσιμα υλικά όπως λίθοι, βράχοι και άμμος τοποθετήθηκαν ως υλικά έρματος. Ήταν φθηνά και σε περίπτωση που δεν χρειάζονταν, τα υλικά μπορούσαν να απορριφθούν στη θάλασσα ή να χρησιμοποιηθούν με κάποιο άλλο τρόπο. Η χρήση λίθων και

άλλων βαρών ως έρμα μπορεί να αποδοθεί στους Αιγύπτιους, τους Φοίνικες, τους Ρωμαίους και τους Βίκινγκς. Αν και υπάρχουν λίγες πληροφορίες από την αρχαία Αίγυπτο, πρέπει να υποθεθεί ότι, λόγω των ρηχών καρίνων τους, των μάλλον επίπεδων πυθμένων και της μεγάλης έκτασης των πανιών τους, τα αιγυπτιακά σκάφη δεν θα μπορούσαν να έχουν σταθερότητα στην πλευσει ή θα είχαν τον κίνδυνο να ανατραπούν.

Τα μεγαλύτερα πλοία έπρεπε επομένως να σταθμιστούν με κάποιο έρμα. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν λίθους (πέτρες) για να παρέχουν την απαιτούμενη σταθερότητα, όπως επίσης σε πολλές περιπτώσεις και το ίδιο το φορτίο που μετέφεραν ως έρμα. Στο πλοίο αυτών των αρχαίων αιγυπτιακών λαών, το έρμα καταλάμβανε το μεγαλύτερο μέρος του διαθέσιμου χώρου κάτω από το κατάστρωμα, ενώ το πραγματικό φορτίο μεταφέρθηκε στο κατάστρωμα, στερεωμένο με σχοινιά (Jones, 1995). Το απόθεμα του ναυαγίου του Φοινικικού Elissa του δού αιώνα που ανακαλύφθηκε από τον Bob Ballard το 1999, αναφέρει την παρουσία λίθων έρματος (Ballard, 2002). Τα φοινικικά πολεμικά πλοία, από την άλλη πλευρά, δεν χρειάζονταν καμία μορφή έρματος, καθώς αυτά τα πλοία ήταν πάντα φορτωμένα με έναν σταθερό αριθμό κωπηλατών. Στη συνέχεια, μεταξύ άλλων υλικών χρησιμοποιήθηκαν βράχοι, άμμος, τούβλα και κεραμίδια. Ένα βυζαντινό ναυάγιο ενός πλοίου μήκους 15 μέτρων που βρέθηκε στο Serçe Limanı στις ακτές της Μικράς Ασίας, βυθίστηκε το 1020 και περιλάμβανε σαν φορτίο (2 τόνους ακατέργαστου γυαλιού και 1 τόνο σπασμένων γυάλινων σκευών και απορριμμάτων υαλοργιάς). Η μεταφορά υαλοπινάκων ήταν μια οικονομικά και τεχνικά ορθή λειτουργία, καθώς η κατασκευή νέου γυαλιού από θραύσματα σπασμένου γυαλιού είναι φθηνότερη και ευκολότερη από την δημιουργία γυαλιού εξ αρχής.

Μια παρόμοια στρατηγική εφαρμόστηκε σε όλη τη μεσαιωνική εποχή, μέχρι πρόσφατα. Μέρος του φορτίου έρματος ήταν μόνιμο, ενώ ένα άλλο μέρος προσαρμοζόταν σε συνάρτηση με το φορτίο και τη θέση του βάρους επί του σκάφους. Στα στρατιωτικά πλοία η ποσότητα έρματος θα μπορούσε να μειωθεί λόγω της παρουσίας βαρέων πυροβόλων. Ωστόσο, η παρουσία ενός μεγάλου συμπληρώματος βραχιόνων δεν εγγυάται πάντα επαρκή σταθερότητα. Το πιο τραγικό παράδειγμα είναι αναμφίβολα το σουηδικό πολεμικό πλοίο Vasa. Γύρω στις 4:00 μ.μ. στις 10 Αυγούστου 1628, έπλευσε από το λιμάνι της Στοκχόλμης. Ωστόσο, το πλοίο βυθίστηκε με αποτέλεσμα την απώλεια 53 ζωών κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του, καθώς αν και η μέγιστη ποσότητα έρματος φορτώθηκε επί του σκάφους, δεν αντισταθμίστηκε σωστά με βάση το μεγάλο μέγεθος και το βάρος των ιστών, των πανιών και των όπλων.

Η χρήση τέτοιων ξηρών υλικών συνεχίστηκε μέχρι τις αρχές του 20ού αιώνα. Τα πρώτα υλικά επίστρωσης στο Wilmington, NC USA ήταν πέτρες έρματος, που στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για τη θεμελίωση σπιτιών και τοίχους (Coates, 1987).

1.2. Το θαλασσινό νερό ως έρμα

Η μετάβαση από τη χρήση ξηρής ύλης στο θαλασσινό νερό ως έρμα ήταν μια λογική εξέλιξη. Το θαλασσινό νερό είναι πάντα διαθέσιμο σε άφθονες ποσότητες, δωρεάν και εύκολο στο χειρισμό με αντλίες. Οι δεξαμενές έρματος είναι μια εφεύρεση του 19ου αιώνα. Τα πρώτα πλοία που χρησιμοποίησαν νερό ως έρμα ήταν τα ιστιοφόρα. Αυτά τα πλοία είχαν μια μεταλλική δεξαμενή στο μέσον που θα μπορούσε να γεμίσει με θαλασσινό νερό, όταν ήταν απαραίτητο. Στη δεκαετία του 1850 προτάθηκαν διάφορα σχέδια σκαφών με αφαιρούμενες δεξαμενές έρματος. Αυτές απλώς βιδώνονταν στο πάτωμα του πυθμένα και αφαιρούνταν όταν απαιτούνταν χωρητικότητα φορτίου. Την ίδια δεκαετία εμφανίστηκαν πλοία με ενσωματωμένες δεξαμενές που χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά ως έρμα. Ο John Henry Sangster Couatts ήταν πρωτοπόρος στη ναυπηγική βιομηχανία και το 1844 δημιούργησε το πρώτο πλοίο εξοπλισμένο με διπλό πυθμένα, που του επέτρεψε να μεταφέρει νερό ως έρμα στις δεξαμενές διπλού πυθμένα, αντί για άμμο. Το 1906 κυκλοφόρησε το Augustus B. Wolvin, που ήταν το πρώτο πλοίο εξοπλισμένο με δεξαμενές έρματος κατά μήκος των πλευρών του, που τοποθετήθηκαν μεταξύ της γάστρας και του φορτίου κάτω από τους χώρους του καταστρώματος (Safinah, 2009).

Κεφάλαιο δεύτερο

2. Οι εξελίξεις που επηρέασαν τη Ναυτιλία τις τελευταίες δεκαετίες

2.1. Χρονικό διάστημα 1980-1990

Κατά την περίοδο 1981-1985 πολλά πλοία διαλύθηκαν και η χωρητικότητα έφτασε το επίπεδο των 50 εκατομμυρίων DWT. Στο τέλος του 1983, οι τιμές των μεταχειρισμένων VLCC (5-10 ετών) ήταν 3 εκατομμύρια \$ όταν 10 χρόνια πριν θα κόστιζαν κοντά στα 50. Το 1986 η αγορά έδειξε τα πρώτα σημάδια ανάκαμψης και τα φορτία αυξήθηκαν κατά 70% και οι τιμές των πλοίων διπλασιάστηκαν και τριπλασιάστηκαν. Στο τέλος της δεκαετίας, οι τιμές στην αγορά δεξαμενόπλοιων ήταν πολύ αυξημένες και η μεγάλη δραστηριότητα προσπάθησε να καλύψει τη ζήτηση, συμπεριλαμβανομένων και των νέων παραγγελιών. Ο κύκλος αυτός, διακόπηκε στις αρχές του 1981 εξαιτίας της απεργίας ανθρακωρύχων στις Ηνωμένες Πολιτείες. Αυτό το γεγονός συγκλόνισε την εμπορική αγορά του Ατλαντικού, αλλά ο κύριος μοχλός πίεσης ήταν η παγκόσμια ύφεση που είχε ήδη αρχίσει να πλήττει την παγκόσμια οικονομία.

Η στασιμότητα του εμπορίου άνθρακα, οι χαμηλές τιμές του πετρελαίου και φυσικά η εξομάλυνση της δραστηριότητας των τερματικών ξηρών φορτίων χύδην οδήγησαν σε μια πτωτική πορεία όπως αυτή που βίωσε ο κλάδος των δεξαμενόπλοιων. Αυτό που είναι ενδιαφέρον και αξίζει να σημειωθεί, είναι ότι παρά τα χαμηλά φορτία, πολλοί εφοπλιστές έκαναν νέες παραγγελίες. Οι εταιρείες (και οι τράπεζες) που ήταν πλούσιες σε μετρητά από τη δραστηριότητα των προηγούμενων ετών, υπολόγισαν ότι η ανάκαμψη της αγοράς θα έρθει εντός 4-5 ετών και ήθελαν να είναι σε καλή θέση για να την εκμεταλλευτούν, έχοντας νέα πλοία έτοιμα να διαπραγματευτούν ναυλοσύμφωνα. Αυτή η στρατηγική θα ήταν σωστή αν δεν στοιχημάτιζαν τόσες πολλές εταιρείες στο ίδιο σενάριο. Η αγορά σημείωσε άνοδο, αλλά λόγω της διαθέσιμης χωρητικότητας, τα φορτία δεν αυξήθηκαν τελικά. Το 1986 ήταν το χαμηλότερο σημείο αυτού του κύκλου και το διάστημα 1986-1989 θεωρείται η πιο κερδοφόρα περίοδος για τους στρατηγικούς παιχνιδιού.

Κατά την ίδια περίοδο, η ελληνική ναυτιλία είχε επιβεβαιωθεί ως ο αδιαμφισβήτητος ηγέτης της παγκόσμιας ναυτιλίας το τελευταίο τέταρτο του 20ού αιώνα, έχοντας βιώσει μόνο μικρές αποτυχίες όσον αφορά είτε τη συνολική χωρητικότητα είτε τα μερίδια αγοράς. Οι παραδοσιακές χύδην αγορές ήταν εξαιρετικά ανταγωνιστικές και δεν υπήρχαν πολλές

εναλλακτικές λύσεις για τις εταιρείες πέρα από τις στρατηγικές χαμηλού κόστους. Άλλοι στόλοι επικεντρώθηκαν στην εξειδίκευση και στα υψηλά τεχνικά επίπεδα τους, πράγμα που σήμαινε υψηλότερο μεταβλητό και σταθερό κόστος. Επιπλέον, οι Έλληνες ιδιοκτήτες είχαν επιλέξει να επενδύσουν περισσότερο σε φορτηγά χύδην πλοία από τα δεξαμενόπλοια στην προ κρίσης πετρελαίου εποχή. Ως εκ τούτου, βρέθηκαν με έναν πιο διαφοροποιημένο στόλο και υπέφεραν κάπως λιγότερο από τις επιπτώσεις της κρίσης των δεξαμενόπλοιων που ακολούθησαν. Αυτή η διαφοροποίηση έκανε τη διαφορά όταν τα πράγματα άρχισαν να χειροτερεύουν. Οι Έλληνες ήταν επίσης συνετοί και προτιμούσαν τα μεγαλύτερα ηλικιακά πλοία, προσφέροντας επομένως φθηνότερη χωρητικότητα. Αυτό σήμαινε λιγότερο ή καθόλου έκθεση κεφαλαίου σε σύγκριση π.χ. με τους Νορβηγούς εκείνη την εποχή. Αυτό που θα ήταν κανονικά μια αδυναμία αποδείχθηκε το πλεονέκτημα των Ελλήνων. Η αυξημένη ηλικία του στόλου σήμαινε μικρότερο κόστος κεφαλαίου και υποχρεώσεις έκθεσης. Οι Έλληνες είχαν εργαστεί με τον ίδιο τρόπο στο παρελθόν και το έκαναν ξανά με επιτυχία. Ο συνδυασμός όλων των στρατηγικών που περιγράφονται παραπάνω αποτελούν το καθιερωμένο πρότυπο ανταγωνιστικότητας της ελληνικής ναυτιλίας.

Αυτό που φαινόταν να ήταν ένα μειονέκτημα για τους Έλληνες στο παρελθόν, φαίνεται να οδήγησε μια παράδοση και μια νοοτροπία για αναζήτηση ευκαιριών, κυρίως όταν οι τιμές αγοράς ήταν προσιτές. Φυσικά, για οικογενειακές ναυτιλιακές εταιρείες και η διαδοχή γενεών έπαιξε καθοριστικό ρόλο σε αυτό το πλαίσιο μέσω της μετάδοσης οικονομικής τεχνογνωσίας και έχει καταμετρηθεί στα πλεονεκτήματα της τυπικής ελληνικής ναυτιλιακής εταιρείας (Harlaftis, 2020).

2.2. Χρονικό διάστημα 1990-2000

Προς το τέλος της δεκαετίας του 1980, τα φορτία χύδην ξηρού και υγρού φορτίου έφτασαν σταδιακά σε νέα υψηλά επίπεδα. Στα χρόνια που ακολούθησαν, οι δύο αγορές ακολούθησαν και πάλι διαφορετικά μονοπάτια λόγω των διαφορετικών επενδυτικών συμπεριφορών. Στο κλάδο των δεξαμενόπλοιων, αυτά τα υψηλά επίπεδα σηματοδότησε αύξηση στις παραγγελίες πλοίων. Αυτό οφείλεται στην προσδοκία ότι όλα τα VLCC που χτίστηκαν στη δεκαετία του '70 θα έπρεπε σύντομα να αντικατασταθούν καθώς έφτασαν στην ηλικία απόσυρσης (20 έτη), καθώς και το γεγονός ότι η παγκόσμια χωρητικότητα μειώθηκε τόσο πολύ που θα απαιτούσε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για να καλυφθεί. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο ήταν η σταδιακή

αύξηση της ζήτησης πετρελαίου που αναμενόταν να δώσει ώθηση στο εμπόριο πετρελαίου σε μεγάλες αποστάσεις. Η πραγματικότητα, αποδείχθηκε διαφορετική και ενώ τα παλαιότερα VLCC συνέχισαν να βρίσκονται σε λειτουργία πέραν των 20 ετών, η κατασκευαστική ικανότητα αυξήθηκε παρέχοντας νέα χωρητικότητα για την οποία δεν υπήρχε επαρκής ζήτηση.

Αυτό οδήγησε σε ένα νέο «χαμηλό» από τα μέσα του 1992 έως τα τέλη του 1995, το οποίο συνέπεσε επίσης με την ύφεση της παγκόσμιας οικονομίας. Ο ξηρός όγκος ακολούθησε διαφορετική πορεία. Οι νέες παραγγελίες χωρητικότητας παρέμειναν χαμηλές και ήταν μόνο ένα κλάσμα εκείνων που τοποθετήθηκαν στην κατηγορία Tanker. Κατά συνέπεια, όταν αυτές οι παραγγελίες παραδόθηκαν κατά τη διάρκεια της ύφεσης του 1992, απορροφήθηκαν εύκολα από τα υπάρχοντα επίπεδα της αγοράς. Ως εκ τούτου, το 1989–1995 ήταν μια περίοδος κερδοφορίας για τους φορείς εκμετάλλευσης ξηρού φορτίου χύδην και αυτό ξεκίνησε έναν νέο γύρο παραγγελιών για νέα χωρητικότητα προς το τέλος του πρώτου μισού της δεκαετίας. Αυτές οι παραδόσεις οδήγησαν σε ένα νέο «χαμηλό» το 1997. Για άλλη μια φορά, οι προσδοκίες για μια ανάκαμψη μετά το πέρας της χιλιετίας οδήγησαν σε περισσότερες παραγγελίες που είχαν και πάλι το ίδιο αποτέλεσμα, καθώς όταν η αγορά αυξήθηκε, τα φορτία είδαν μια μέτρια αύξηση σε αντίθεση με την απότομη αύξηση των ναύλων Tanker κατά την έναρξη της νέας χιλιετίας.

Οι αρχές της δεκαετίας του 1990 σηματοδότησαν την άνοδο μιας περιόδου στον κλάδο που επικεντρώθηκε στην ποιότητα και την ασφάλεια μετά τη λήψη μέτρων σε διεθνές επίπεδο με την εισαγωγή νέων προτύπων σχεδιασμού. Ένα σημαντικό «γεγονός-ορόσημο» ήταν το ατύχημα του Exxon Valdez το 1989 που προκάλεσε την αλλαγή αυτή σχεδόν απότομα. Το 1992 υπήρξε έγκριση τροποποιήσεων της MARPOL, για καθορισμένες νέες προδιαγραφές για την κατασκευή δεξαμενόπλοιων και την υποχρεωτική - προοδευτική - απόσυρση υφιστάμενων δεξαμενόπλοιων. Αυτή ήταν μια αρκετά δραματική αλλαγή για μια βιομηχανία που χρησιμοποιείται, περισσότερο ή λιγότερο, για να επιβραδύνει την τεχνική εξέλιξη και τον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό των περιουσιακών της στοιχείων. Ωστόσο, από τότε και στο εξής, τα πράγματα θα γίνονταν πιο περίπλοκα για τους ιδιοκτήτες, καθώς οι πιο δραματικές παρεμβάσεις σε όλες τις βασικές πτυχές τόσο του υλικού όσο και του «λογισμικού» μιας παγκοσμιοποιημένης βιομηχανίας ήταν σε εξέλιξη. Ο διεθνής κώδικας διαχείρισης ασφαλείας άλλαξε επί των διαδικασιών διαχείρισης, τόσο επί του πλοίου όσο και στην ξηρά, μέσω ενός τεράστιου κύματος υποχρεωτικής πιστοποίησης το 1998. Παρά τους αρχικούς φόβους, η ελληνική ναυτιλία - η οποία στο μεταξύ έφτασε το 15% της μεταφορικής ικανότητας φορτίου

- συνέχισε να λειτουργεί χωρίς διακοπές ή καθυστερήσεις για να αυξήσει περαιτέρω τη χωρητικότητά της (Harlaftis, Theotokas and Grammenos, 2010).

Ένα πλοίο σημαίνει ουσιαστικά μελλοντικές ταμειακές ροές για μία εταιρεία. Επομένως, η παρούσα αξία του επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το χρονικό διάστημα της ζωής του. Αυτή η αρχή βρίσκεται στη βάση της λήψης αποφάσεων για τη ναυτιλία. Το γεγονός ότι ορισμένοι κανονισμοί που εφαρμόστηκαν άλλαξαν αιφνιδιαστικά τους υπολογισμούς για αυτήν την εξίσωση είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν προβλήματα στον κλάδο. Το πρόβλημα που περιγράφεται παραπάνω είναι παραδοσιακά πιο έντονο για τα δεξαμενόπλοια λόγω της φύσης των φορτίων τους. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η μεγαλύτερη αρετή που πρέπει να έχει κανείς είναι η γρήγορη προσαρμογή, η διατήρηση της ανταγωνιστικότητας και η συνέχιση της πρόσβασης σε φορτία και λιμάνια. Αυτό σήμαινε, ότι οι Έλληνες έπρεπε να δράσουν αμέσως για να μετριάσουν τα αποτελέσματα της ίδιας της στρατηγικής που τα ανέβασε στο επίπεδο που ήταν, στην κορυφή. Η σχετικά υψηλή ηλικία σήμαινε ότι διακυβευόνταν μεγάλα ποσά για να μπορέσουν να εκσυγχρονίσουν τους στόλους τους. Επίσης, η ασταθής επενδυτική κατάσταση που επικρατούσε την συγκεκριμένη περίοδο στην αγορά πλοίων παρείχε στους Έλληνες την ευκαιρία να συμμετέχουν στην αγορά με πολλές επιλογές σε μεταχειρισμένα πλοία μικρής ηλικίας (second hand) εφαρμόζοντας όσα γνώριζαν καλύτερα σχετικά με την αγοροπωλησία πλοίων.

2.3. Χρονικό διάστημα 2000 μέχρι σήμερα

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο ερχομός του 21^{ου} αιώνα βρήκε τη βιομηχανία εν μέσω ρυθμιστικών αλλαγών, εστίασης σχετικά με την ποιότητα και την προσπάθεια ανανέωσης των Ελλήνων στο στόλο για την ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων, ειδικά στον τομέα των Tankers. Αλλά τότε, ήταν ακριβώς τα δεξαμενόπλοια, που έπρεπε να φέρουν τα πρώτα σημάδια στις αλλαγές της αγοράς, αλλάζοντας την εικόνα και τις προοπτικές της ελληνικής ναυτιλίας. Κατά τη διάρκεια του έτους 2000, η αγορά έδωσε σημαντικά κέρδη στους πλοιοκτήτες, ειδικά στους διαχειριστές δεξαμενόπλοιων, ενώ παράλληλα το 2001 ακολούθησε μία μικρή πτώση. Το έτος 2002 ήταν μια εξαιρετικά ευμετάβλητη χρονιά που ξεκίνησε άσχημα αλλά προς το τέλος της έδωσε σημαντικά κέρδη. Η περίοδος από το 2003 έως τον Οκτώβριο του 2008 παρέμεινε αναμφίβολα στα βιβλία ιστορίας της ναυτιλίας ως τα πιο κερδοφόρα για τις ναυτιλιακές εταιρείες. Αυτό δεν έγινε τυχαία. Μια σειρά φαινομένων στο χώρο της ναυτιλίας οδήγησε σε

αυτήν την «χρυσή» περίοδο που δεν είχε καμία σχέση με ό,τι είχε βιώσει ο κόσμος της ναυτιλίας στο παρελθόν.

Η τεράστια αύξηση της ζήτησης της Κίνας για πρώτες ύλες, οι ρυθμοί ανάπτυξης της οικονομίας των ΗΠΑ και οι αναδυόμενες οικονομίες BRIC (διεθνής πολιτικός οργανισμός των κορυφαίων αναδυόμενων αγορών) έθεσαν το ρυθμό κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου (Valentine, Benamara and Hoffmann, 2013). Η περιορισμένη χωρητικότητα των ναυπηγείων να καλύψουν τη νέα ζήτηση χωρητικότητας και οι μεγάλες καθυστερήσεις στα τερματικά εξαγωγών της Αυστραλίας και της Βραζιλίας απλώς έκαναν τα πράγματα χειρότερα - ή καλύτερα, ανάλογα με την οπτική και ανεξάρτητα από τα κέρδη και την ψυχολογία της αγοράς. Ορισμένες άλλες εξελίξεις πραγματοποιήθηκαν επίσης κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Νέα σχέδια πλοίων, για μεγαλύτερα και ασφαλέστερα πλοία, εμφανίστηκαν στη προσκήνιο, νέοι κανόνες εφαρμόστηκαν με βάση τα διεθνή πρότυπα για τη ρύπανση και την ασφάλεια και μια γενική τάση εκσυγχρονισμού υιοθετήθηκε από μεγάλο μέρος της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Αυτή η απροσδόκητη - από την άποψη της έντασης - ανάκαμψη βοήθησε στην ανανέωση του ελληνικού στόλου. Η υψηλή δραστηριότητα των Ελλήνων στις αγοροπωλησίες πλοίων (S&P, Sales & Purchase) άρχισε να μειώνεται, καθώς η αγορά άρχισε να ανεβαίνει και σταδιακά να κινείται στα επίπεδα που περιγράφονται παραπάνω. Οι Έλληνες, καθώς και πολλοί άλλοι πλοιοκτήτες, άρχισαν να επωφελούνται από την αύξηση των εσόδων και τη δημιουργία ρευστότητας. Η προφανής πρόκληση τώρα ήταν πώς να συλλάβει όλο και περισσότερο σε μια αγορά όπου παρέχεται χωρητικότητα. Οι ιδιοκτήτες που πίστευαν ότι αυτή η ανοδική τάση της αγοράς θα διαρκούσε πολύ, έκαναν παραγγελίες για πλοία με βάση τη νέα χωρητικότητα, ενώ την ίδια στιγμή, το μερίδιο των ελληνικών αγορών στη συνολική δραστηριότητα S&P μειώνονταν σταδιακά καθώς οι αγορές συνεχώς αυξάνονταν από το 2003 έως το 2005. Κατά τα επόμενα 3 χρόνια, έως το 2008, σημειώθηκαν αισθητά βραχυπρόθεσμες αυξομειώσεις στις ξεχωριστές αγορές, αλλά ο συνολικός μέσος όρος και κυρίως η συνολική διάρκεια είχε ως αποτέλεσμα τεράστια κέρδη για τις ναυτιλιακές εταιρείες με πλοία που διαπραγματεύονταν κυρίως στην αγορά Spot (Ο συγκεκριμένος αποτελεί όρο ναυλώσεως, ο οποίος στην συγκεκριμένη περίπτωση εξηγεί ότι το φορτίο είναι έτοιμο για άμεση φόρτωση (spot cargo), ενώ κατά τον χαρακτηρισμό ενός πλοίου δείχνει ότι το πλοίο δεν έχει ναυλωθεί ακόμη αλλά διατίθεται και είναι έτοιμο για άμεση ναύλωση (spot ship)). Οι Έλληνες ιδιοκτήτες χρησιμοποίησαν αυτήν την ευκαιρία για να μετριάσουν περαιτέρω τις κατηγορίες που τους είχαν επηρεάσει στο παρελθόν: ηλικία στόλου και διαφοροποίηση. Ως εκ τούτου, αυτή τη φορά, εκτός από το «παραδοσιακό παιχνίδι» περιουσιακών στοιχείων, δόθηκε επίσης

προτεραιότητα στην επίτευξη ενός πιο αντικειμενικού στόχου, ο οποίος ήταν η γενική αλλαγή του ελληνικού στόλου.

Στα χρόνια που ακολούθησαν, οι Έλληνες χρησιμοποίησαν έναν συνδυασμό μεταχειρισμένων και Newbuilding (Νέες Κατασκευές πλοίων) επενδύσεων χρηματοδοτούμενων από τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και τη ρευστότητα που πήραν από τις ακμάζουσες αγορές για να επιτύχουν τον στόχο τους. Αυτό οδήγησε τελικά στη μείωση της ηλικίας του στόλου κατά πέντε χρόνια σε διάστημα μόλις έξι ετών (Michaletos, 2006).

Ενώ ο ελληνικός στόλος παρέμεινε ακόμη μεγαλύτερος από τον παγκόσμιο στόλο, η βελτίωση ήταν σαφής και αυτό ήταν αξιοσημείωτο επίτευγμα. Οι διαφορές ηλικίας μεταξύ της ελληνικής ιδιοκτησίας και της παγκόσμιας χωρητικότητας μειώθηκαν το 2006 στο επίπεδο μερικών μηνών όσον αφορά τον αριθμό των σκαφών και 1,7 ετών. Όσον αφορά τη διαφοροποίηση και την εξειδίκευση, οι Έλληνες ιδιοκτήτες φαίνεται ότι ακολούθησαν τις καθιερωμένες τάσεις της παγκόσμιας ναυτιλίας και της οικονομίας. Έγινε εστίαση σε περιοχές όπου οι Έλληνες ιδιοκτήτες δεν τολμούσαν προγενέστερα να επενδύσουν. Τα LNG (Liquefied natural gas) πλοία και τα LPG (Liquefied petroleum gas) πλοία ήταν τμήματα όπου οι ανταγωνιστές ήταν ήδη καλά εδραιωμένοι πριν από χρόνια, αφήνοντας τους Έλληνες πολύ χαμηλά μερίδια αγοράς. Ο τομέας μεταφοράς φυσικού αερίου δεν ήταν ο μόνος εκτός των παραδοσιακών αγορών χύδην ναυτιλίας που προσέλκυσε το ενδιαφέρον των Ελλήνων ιδιοκτητών, για μια περίοδο 10 ετών, το μερίδιο των καθαρών πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στο συνολικό στόλο έχει υπερδιπλασιαστεί. Κατά τη διάρκεια των 10 ετών που ξεκινούν από τα τέλη του 20ού αιώνα και μέχρι τα τέλη της πρώτης δεκαετίας του 21^{ου} αιώνα, ο ελληνικός στόλος βίωσε μια τεράστια αναγέννηση και αναπροσανατολισμό. Τα νέα τμήματα εδραιώθηκαν στη μέση ελληνική ναυτιλιακή εταιρεία και άλλα σταδιακά εγκαταλείφθηκαν, όπως οι συνδυαστικές μεταφορές. Η καθυστερημένη προσαρμογή στη νέα πραγματικότητα θα μπορούσε να θεωρηθεί από ορισμένους ως έλλειψη προνοητικότητας, αλλά και ως αποτέλεσμα της ισχυρής ανταγωνιστικότητας που έδειξαν στα παραδοσιακά τμήματα, κερδίζοντας χρήματα όταν άλλοι δεν μπορούσαν και έφυγαν προς νέες εξελίξεις στην αγορά. Το γεγονός ότι οι Έλληνες ιδιοκτήτες θα αντιμετώπιζαν σταδιακή αύξηση της πίεσης εάν δεν εκσυγχρονίζονταν, είναι πολύ σημαντικό εάν ληφθούν υπόψη οι παγκόσμιες τάσεις σχετικά με τους κανονισμούς και τις νέες τεχνολογίες. Μάλιστα φαίνεται να δρατηριοποιήθηκαν την κατάλληλη στιγμή. Κατά τη διάρκεια αυτών των ετών, ο ελληνικός στόλος μειώθηκε σε παγκόσμια χωρητικότητα, αλλά αυτό ήταν πιθανώς ένα συνειδητό βήμα πίσω για να

προσαρμοστεί και να επανατοποθετηθεί και να προχωρήσει μπροστά ως στόλος με βελτιωμένα χαρακτηριστικά.

Το έτος 2008, αποδείχθηκε η καλύτερη απόδειξη της ασταθούς και απρόβλεπτης φύσης της ναυτιλιακής επιχείρησης. Οι πρώτοι 8 μήνες του έτους ήταν συνέχεια της προηγούμενης περιόδου. Ένα Capesize θα μπορούσε να προσληφθεί για 130K \$ /ημέρα στην αγορά spot του Φεβρουαρίου μόνο για να αυξήσει έως και 320K \$ τον Ιούνιο και στη συνέχεια να μειωθεί ξανά στα 80K \$ τον Σεπτέμβριο (Harlaftis and Theotokas, 2020). Η υπόθεση Lehman Brothers στις 16 Σεπτεμβρίου 2008 ήταν η κορυφή του παρόβουλου αυτού που ακολούθησε και η ταχέως εντεινόμενη χρηματοπιστωτική κρίση επηρέασε σύντομα την παγκόσμια οικονομία, την παραγωγή και την κατανάλωση. Αν και ο ετήσιος μέσος όρος ήταν ακόμα σε καλά επίπεδα, το τέλος του έτους έφερε ανατροπές. Αν και η αγορά ανέκαμψε λίγο μετά τη μεγάλη κρίση - δεν έφτασε τα επίπεδα ρεκόρ του 2008 - οι επιπτώσεις της μεγάλης έκρηξης των προηγούμενων ετών, δεν είχαν ακόμη τεθεί σε ισχύ. Ο παγκόσμιος στόλος συνέχισε να αυξάνεται μεταξύ 2010 και 2013. Ταυτόχρονα, η Κίνα διπλασίασε την χωρητικότητα των ναυπηγείων της και έλαβε τεράστιες παραγγελίες για νέα πλοία καθώς επιδίωκε να ελέγξει το εμπόριο εμπορευμάτων.

Τα χρόνια που ακολούθησαν και κυρίως το 2015 αποδείχθηκε μια τεράστια πρόκληση για τους φορείς εκμετάλλευσης χύδην μεταφορέων. Για άλλη μια φορά, οι εταιρείες που είχαν διαφοροποιημένο χαρτοφυλάκιο και χαμηλό (ή καθόλου) κόστος κεφαλαίου ήταν αυτές που θα μπορούσαν να το κάνουν μέσω της καταιγίδας με χαμηλές απώλειες ή ακόμη και σε καλή θέση για να αποκτήσει νέα χωρητικότητα σε τιμές ευκαιρίας έπεσε όπως αναφέρθηκε νωρίτερα στο% της παγκόσμιας χωρητικότητας, οι Έλληνες έδειξαν για άλλη μια φορά ότι είναι πρωτοπόροι και σε αυτό το κομμάτι. Παρά τη μείωση του αριθμού των εταιρειών κατά τη διάρκεια της τελευταίας προκλητικής περιόδου χύδην αγοράς, οι Έλληνες εμφανίστηκαν ξανά ως η Νο.1 ναυτιλιακή δύναμη το 2014 μετά την απώλεια αυτού του τίτλου για 6 χρόνια. Με αυτό τον τρόπο επέστρεψαν στην κορυφή, έχοντας τώρα επίσης έναν πολύ νεότερο στόλο. Επίσης, το γεγονός ότι παραδοσιακά πολλοί Έλληνες αγόρασαν πλοία με μετρητά ή με χαμηλή μόχλευση, έδειξε να βοηθά σε περιόδους οικονομικής ύφεσης (Harlaftis and Theotokas, 2020).

Καθώς οι τράπεζες μείωσαν σημαντικά τη χρηματοδότηση προς τους πλοιοκτήτες, μόνο οι μεγάλοι ιδιοκτήτες είχαν τη δυνατότητα και τις απαιτούμενες εγγυήσεις για να εξασφαλίσουν χρήματα μέσω τραπεζών. Το γεγονός αυτό προκάλεσε την ταχεία επέκταση μη τραπεζικών

χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων και κεφαλαίων, που υποστήριξαν τους Έλληνες ιδιοκτήτες να εξασφαλίσουν φθηνή χωρητικότητα αλλά με υψηλότερο πραγματικό κόστος δανεισμού. Το έτος 2017, σημειώθηκε αύξηση στην παραγγελία ενδιαφέροντος. Από τις αρχές του δεύτερου μέρους του έτους, οι παραγγελίες σε σκάφη βαθέων υδάτων έφτασαν τον αριθμό των 110 σκαφών. Αυτό είναι σχεδόν διπλάσιο σε σύγκριση με τις 63 παραγγελίες των πρώτων 6 μηνών. Η πλειοψηφία των παραγγελιών προέρχεται από Ιάπωνες ιδιοκτήτες με 41 χονδρεμπόρους, ενώ οι Έλληνες είναι οι δεύτεροι με 25 και η Σιγκαπούρη 3η με 13. Σημειώνεται μάλιστα ότι η Ελλάδα και η Σιγκαπούρη αποτελούν τις μόνες εθνικότητες στα 5 κορυφαία έθνη που έχουν θετικό ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης το τελευταίο τρία έτη όσον αφορά τη μεταφορική ικανότητα (Harlaftis and Theotokas, 2020).

Κατευθυνόμενοι από τις ελκυστικές τιμές για την κατασκευή νέων πλοίων οι πλοιοκτήτες με μετρητά ή πρόσβαση στη χρηματοδότηση σπεύδουν στα ναυπηγεία για να εξασφαλίσουν νέα πλοία και να προλάβουν μια πιθανή την ανάκαμψη της αγοράς. Όπως έχει παρατηρηθεί και στο παρελθόν, η αύξηση της προσφοράς μπορεί και πάλι να πυροδοτήσει και να οδηγήσει σε καθυστέρηση ανάκαμψης μέσω του πλεονάσματος χωρητικότητας. Είναι σαφές ότι ο κίνδυνος και η ναυτιλία συμβαδίζουν και οι Έλληνες έχουν δείξει ότι δεν φοβούνται τα κύματα, ανεξάρτητα από το πόσο ψηλά αυτά μπορεί να είναι (Paine L., 2014).

Κεφάλαιο τρίτο

3. Η εξέλιξη της νομοθεσίας που αφορά τη διαχείριση έρματος και οι συνέπειες από την εφαρμογή της

3.1. Η διαχείριση του «βρώμικου» έρματος

Τα βυτιοφόρα και το έρμα αποτελούσαν πάντα μια πολύ περίπλοκη υπόθεση. Αναφέρεται ότι πριν από το 1950, ένας επιθεωρητής επισκέφτηκε ένα δεξαμενόπλοιο αφότου είχε αποφορτιστεί το φορτίο πετρελαίου. Αφού επιθεώρησε τις δεξαμενές, τις κήρυξε άδειες και επιβεβαίωσε το γεγονός μέσω ενός κενού πιστοποιητικού δεξαμενής, ενώ τυχόν εναπομείναντα φορτία θεωρήθηκε αδύνατον να αντληθούν και αφέθηκαν να παραμείνουν στο πλοίο. Μετά την υπογραφή του κενού πιστοποιητικού δεξαμενής, το έρμα μπήκε στις δεξαμενές λαδιού, οδηγώντας σε σοβαρή μόλυνση το νερό έρματος, με αποτέλεσμα πάνω στο νερό να επιπλέουν τα υπολείμματα του λαδιού, με τη μορφή ενός κολλώδους καφέ, πράσινου - μαύρου στρώματος. Αυτό το νερό έρματος γνωστό ως "βρώμικο έρμα", απορρίφθηκε τότε χωρίς δεύτερη σκέψη στο παράκτιο νερό του λιμένα φόρτωσης. Με την πάροδο του χρόνου, ωστόσο, τα παράκτια έθνη άρχισαν να απαιτούν από τα δεξαμενόπλοια να φτάνουν στο λιμάνι φόρτωσης με καθαρότερο έρμα. Για να συμμορφωθούν, τα δεξαμενόπλοια άρχισαν να αποβάλλουν το βρώμικο νερό έρματος στην ανοιχτή θάλασσα και να φορτώνουν γλυκό νερό στις καθαρισμένες δεξαμενές. Αυτός ο τελευταίος τύπος έρματος ονομάστηκε «καθαρό έρμα» και τα δεξαμενόπλοια που χειρίζονται το έρμα τους με αυτόν τον τρόπο έγιναν γνωστά ως «δεξαμενόπλοια πριν από τη MARPOL». Προφανώς, αυτός ο τρόπος αντιμετώπισης μετέφερε το πρόβλημα της ρύπανσης από τα παράκτια ύδατα στον ανοιχτό ωκεανό. (IMO Maritime Safety Committee, 2006).

3.2. Η Διεθνής Σύμβαση OILPOL 1954 για την Πρόληψη της Ρύπανσης της Θάλασσας από το Πετρέλαιο

Η δυννητικά καταστροφική επίδραση του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον αναγνωρίστηκε σύντομα, το 1954, από τη Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης της Θάλασσας από το Πετρέλαιο « OILPOL 1954». Η Σύμβαση αυτή καθορίζει μερικές από τις βασικές αρχές για τον τρόπο χειρισμού των αποβλήτων πετρελαίου, αποτρέποντας τη ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος από υδρογονάνθρακες. Το θαλάσσιο έρμα έπρεπε να χωριστεί σε κανονικές και ειδικές περιοχές. Σύμφωνα με τη Σύμβαση αυτή, στις ειδικές περιοχές δεν επιτρέπονται απορρίψεις, ενώ στις κανονικές ζώνες μπορεί να εκφορτωθεί περιορισμένη ποσότητα πετρελαίου, αρκεί να τηρούνται ορισμένα κριτήρια, όπως η μέγιστη συγκέντρωση. (IMO Maritime Safety Committee, 2006).

3.3. Η διεθνής σύμβαση MARPOL 73/78 για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία

Η διεθνής σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία, MARPOL 73, ακολούθησε την OILPOL περιλαμβάνοντας αυστηρότερους κανονισμούς. Ακόμη και πριν τεθεί σε ισχύ η MARPOL 73, ορισμένα σοβαρά περιστατικά ρύπανσης από πετρέλαιο έδειξαν ότι η έκδοση του 1973 ήταν αναποτελεσματική. Κατά τη διάρκεια της διάσκεψης για την ασφάλεια και την πρόληψη της ρύπανσης από τα δεξαμενόπλοια, το 1978 (TSPP 78) ελήφθησαν σημαντικά μέτρα για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του συγκεκριμένου κανονισμού. Το αποτέλεσμα αυτής της διάσκεψης ήταν το πρωτόκολλο του 1978 για την τροποποίηση της MARPOL 1973. Έκτοτε, η σύμβαση για τη θαλάσσια ρύπανση είναι γνωστή με το όνομα MARPOL 73/78. Ένα από τα μέτρα που περιλαμβάνει είναι η υποχρεωτική χρήση του «διαχωρισμένου έρματος» στα δεξαμενόπλοια. Το διαχωρισμένο έρμα σημαίνει ότι το νερό έρματος φορτώνεται σε μια δεξαμενή που διαχωρίζεται εντελώς από το σύστημα πετρελαίου φορτίου και πετρελαίου καυσίμου και που διατίθεται μόνιμα και αποκλειστικά για τη μεταφορά έρματος (Κώδικας Ομοσπονδιακών Κανονισμών, 2010). (IMO Maritime Safety Committee, 2006).

3.4. Περιβάλλον και έρμα – Νεότεροι κανονισμοί

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η νομοθεσία όλο και περισσότερο επικεντρώθηκε στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του νερού έρματος. Επικράτησε η θεωρία ότι το σύστημα έρματος σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να επηρεαστεί από το σύστημα υδροσυλλεκτών. Ωστόσο, η μόλυνση δεν είναι το μόνο πρόβλημα, καθώς το νερό έρματος μπορεί επίσης να περιέχει πλαγκτόν, φυτά, βακτήρια κ.λπ. Το νερό έρματος σε αυτή την περίπτωση μπορεί να μεταφέρει σε μεγάλη απόσταση και στη συνέχεια, να ελευθερώνει αυτά τα υλικά σε κάποιο άλλο διαφορετικό περιβάλλον. Μελέτες έχουν δείξει ότι είναι πλήρως δυνατό για τους οργανισμούς και τα είδη να παραμείνουν βιώσιμα, παρόλο που μεταφέρονται για αρκετές εβδομάδες στο δύσκολο περιβάλλον ενός συστήματος έρματος. Όταν απελευθερωθούν σε ένα νέο περιβάλλον, οι αποικίες μπορεί να αναπτυχθούν και μάλιστα μπορεί να είναι επιβλαβείς και να δημιουργήσουν μια ανατροπή της ισορροπίας στο τοπικό οικολογικό σύστημα. (DNV, 2010).

Οι οδηγίες του ΠΟΥ¹ για το χειρισμό του έρματος έχουν δημοσιευτεί από τον ΙΜΟ στο ψήφισμα Α.774 (18) και Α.868 (20). Υπάρχει επίσης ένα ειδικό παράρτημα της σύμβασης του ΙΜΟ για την πρόληψη της ρύπανσης από πλοία, MARPOL 73/78. (ΙΜΟ, 2010) το οποίο έχει εκφράσει ανησυχία για τον κίνδυνο που συνδέεται με το νερό έρματος. Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες σχετικά με την επίδραση της απόρριψης νερού έρματος και έχουν επίσης βρεθεί περιπτώσεις (περίπτωση χολέρας στα νότια μέρη των ΗΠΑ) όπου η μολυσμένη ουσία έχει μεταφερθεί μέσω έρματος. (WHO, 2010).

Στις κατευθυντήριες γραμμές του Α.868 (20), η παράγραφος 7.1.1 αναφέρει ότι: *«Κάθε πλοίο που μεταφέρει νερό έρματος θα πρέπει να διαθέτει σχέδιο διαχείρισης νερού έρματος για να βοηθήσει στην ελαχιστοποίηση της μεταφοράς επιβλαβών υδρόβιων οργανισμών και παθογόνων παραγόντων.»*

Το σχέδιο πρέπει να είναι συγκεκριμένο για κάθε πλοίο. Τα σκάφη πρέπει να καταγράφουν και να αναφέρουν την επεξεργασία του έρματος στην αρχή του λιμένα. Το αυξημένο ενδιαφέρον σε αυτό το θέμα οδήγησε επίσης τον ΙΜΟ να αναπτύξει μια σύμβαση σχετικά με

¹ ΠΟΥ - Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Est. 1948), υπεύθυνος για τη διακυβέρνηση της υγείας στα Ηνωμένα Έθνη. (WHO, 2010)

τον έλεγχο και τη διαχείριση των ιζημάτων τελικού θαλάσσιου έρματος το 2004. Η σύμβαση απαιτεί περίπου 30 εθελοντικά κράτη να συμμορφωθούν με τις οδηγίες που αναφέρονται στη σύμβαση. Σύμφωνα με την DNV, (2010) το 23% της παγκόσμιας χωρητικότητας έχει επικυρώσει τη σύμβαση αυτή τη στιγμή. Ορισμένες χώρες, εν αναμονή της έναρξης ισχύος της σύμβασης, έχουν δημιουργήσει εθνικούς κανονισμούς για τον έλεγχο του χειρισμού έρματος. Αυτό περιλαμβάνει τη διενέργεια ερευνών και επιθεωρήσεων κατά την άφιξη των πλοίων. Η επιθεώρηση πρέπει να ελέγξει τα πιστοποιητικά και το βιβλίο εγγραφής έρματος και μπορεί επίσης να λάβει ένα δείγμα του νερού έρματος. Το εν λόγω σκάφος δεν μπορεί να απελευθερώσει το έρμα έως ότου η απόρριψη θεωρηθεί ασφαλής.

Το νερό έρματος μπορεί, όπου διατίθεται, να εκφορτώνεται επίσης στο εργοστάσιο επεξεργασίας του λιμένα για να καθαρίζει το νερό από επιβλαβές περιεχόμενο. Η εναλλαγή νερού έρματος είναι επίσης μια επιλογή, η διαδικασία είναι να αλλάξει το νερό έρματος που προέρχεται από μια παράκτια ζώνη με θαλασσινό νερό από την ανοιχτή θάλασσα. Αναμένεται ότι οι οργανισμοί δεν θα επιβιώσουν όταν απελευθερωθούν στην ανοιχτή θάλασσα. Ο κανονισμός «B-4 Ballast Water Exchange» του IMO αναφέρει ότι «...η ανταλλαγή θα πρέπει να πραγματοποιηθεί τουλάχιστον 50 ναυτικά μίλια από το λιμάνι και σε βάθος νερού τουλάχιστον 200 μέτρα. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό, ενδέχεται να υπάρχουν διαθέσιμες περιοχές για ανταλλαγή».

Ο DNV δηλώνει τις ακόλουθες συστάσεις για νέα πλοία βάσει της σύμβασης:

- Εφαρμογή της χρήσης ενός βιβλίου εγγραφής νερού έρματος
- Εφαρμογή εγκεκριμένου σχεδίου διαχείρισης νερού έρματος
- Ελαχιστοποίηση της χρήσης νερού έρματος
- Εξασφάλιση της πιο αποτελεσματικής έκπλυσης χρησιμοποιώντας ανταλλαγή νερού έρματος
- Ελαχιστοποίηση της πρόσληψης ιζημάτων
- Διευκόλυνση της απομάκρυνσης ιζημάτων από δεξαμενές νερού έρματος
- Προετοιμασία για πιθανή παράδοση νερού έρματος σε εγκαταστάσεις υποδοχής
- Προετοιμασία για πιθανές εγκαταστάσεις συστήματος επεξεργασίας νερού έρματος σε μεταγενέστερο στάδιο.

Κεφάλαιο τέταρτο

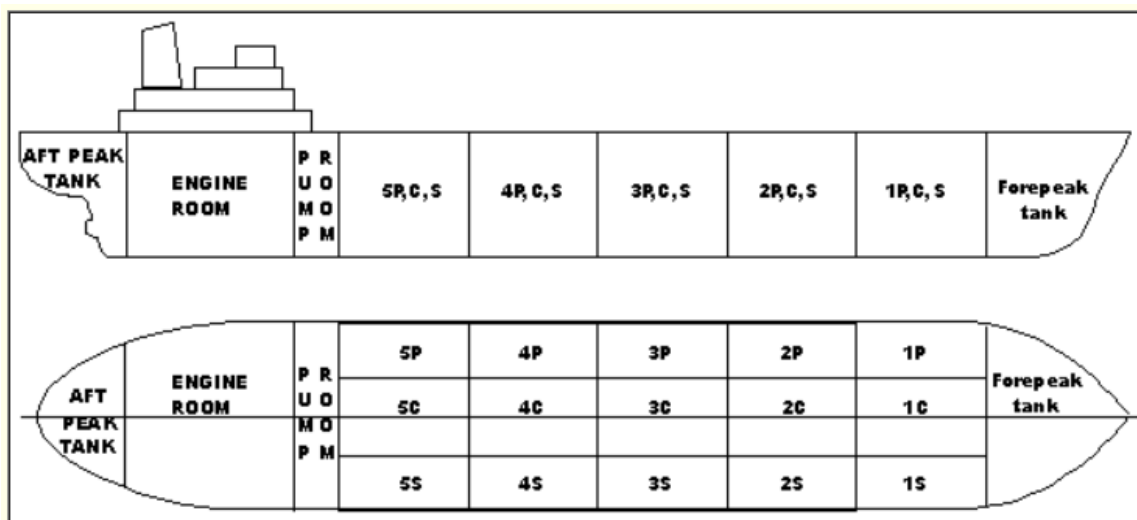
4. Δεξαμενές έρματος

Οι διαδικασίες ερματισμού και αφερματισμού στις δεξαμενές έρματος επιταχύνουν τον ρυθμό διάβρωσης, όπως επίσης ο ρυθμός διάβρωσης επιταχύνεται λόγω της κόπωσης την οποία προκαλεί το έρμα στο μέταλλο . Η χρήση αντιδιαβρωτικής προστατευτικής επίστρωσης στις δεξαμενές έρματος, βοηθάει ώστε οι δεξαμενές να εκτίθενται στον κίνδυνο της τοπικής διάβρωσης που δημιουργεί βελονοειδείς σχηματισμούς (pitting corrosion) ή αυλακώσεις (grooving corrosion) στην επιφάνεια της κατασκευής, που έχουν οριζόντια τοποθέτηση. Τα διαμήκη κατασκευαστικά στοιχεία είναι αυτά που προσβάλλονται πρώτα από την διάβρωση σε περίπτωση που παρουσιαστεί αστοχία στην αντιδιαβρωτική επίστρωση.

Η βελονοειδής διάβρωση εμφανίζεται στις μεταλλικές επιφάνειες των δομικών στοιχείων της δεξαμενής που έρχονται σε επαφή με το νερό και αυτό συμβαίνει εξαιτίας της εγκάρσιας πρόσκρουσης του νερού, η οποία με την πάροδο του χρόνου μπορεί να προκαλέσει διάβρωση με αυλακώσεις ανάλογα με την κατεύθυνση ροής του νερού. Όταν η δεξαμενή έρματος είναι γεμάτη θαλασσινό νερό και εν συνεχεία δεν πλυθεί, τότε μπορεί να προκληθεί διάβρωση με την μορφή αυλακώσεων και βελονισμών στις οριζόντιες και στις κατακόρυφες επιφάνειες των κατασκευαστικών στοιχείων εξαιτίας των νερών που παραμένουν στάσιμα και λιμνάζουν. Μάλιστα, στην περίπτωση που τα ελάσματα του πυθμένα είναι επιστρωμένα με εποξειδική επίστρωση, και η επίστρωση καταστραφεί τοπικά, τότε δημιουργείται μπορεί να προκληθεί πολύ έντονη τοπική διάβρωση στα σημεία αυτά με τη μορφή οπών (βελονισμών), ενώ αντίθετα εάν δεν υπάρχει τοπική καταστροφή της επικάλυψης, τότε η διάβρωση μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. (Καρύδης Π.)

4.1. Η βασική διαμόρφωση των δεξαμενών έρματος

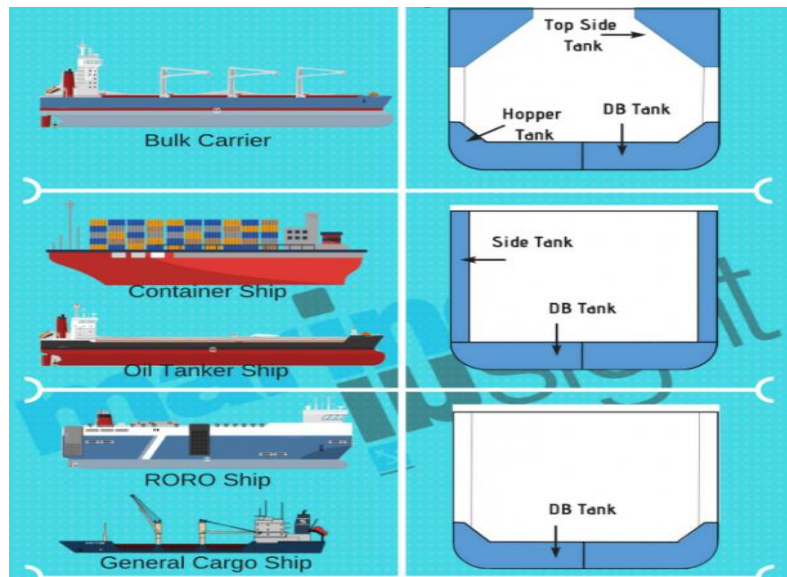
Οι δεξαμενές έρματος είναι χωριστές δεξαμενές οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του θαλάσσιου έρματος. Το **Σχήμα 1** δείχνει τη δεξαμενή Forepeak (FP), τη δεξαμενή Aftpeak (AP) και τις δεξαμενές δεξιά (starboard side) και αριστερά (port side) οι οποίες υπάρχουν σχεδόν σε όλα τα ποντοπόρα πλοία.



Σχήμα 1. Διάταξη Forepeak, After peak, Port side & starboard side δεξαμενών σε πλοίο.

<https://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn684/idn684.htm>

Η διάταξη των δεξαμενών έρματος εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου (**Σχήμα 2**). Τα γενικής χρήσης πλοία (General Cargo Ships) και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containers) έχουν δεξαμενές βυθού διπλού τοιχώματος, τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου (Bulk Carriers) έχουν δεξαμενές με διπλό πυθμένα (double bottoms) και δεξαμενές άνω πλευρών (topside tanks), και στα δεξαμενόπλοια (Tankers), ο χώρος διπλού κύτους είναι προκαθορισμένος για να μπορεί να δέχεται διαχωρισμένο έρμα. Τα δεξαμενόπλοια και τα φορτηγά πλοία πλέον υπό συνθήκες έρματος (συνθήκες φορτίου) για ένα σημαντικό μέρος του χρόνου. Τα Containers και τα General Cargo Ships έχουν σχεδόν πάντα φορτίο επί του πλοίου και συνεπώς φέρουν λιγότερο έρμα.



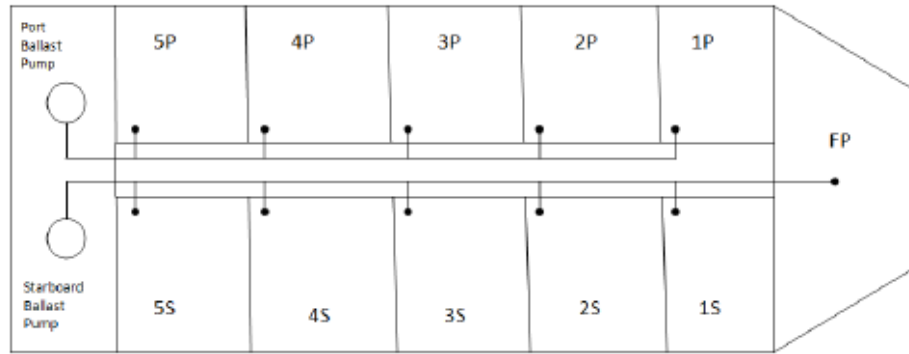
Σχήμα 2. Διάταξη δεξαμενών έρματος σε διαφορετικούς τύπους πλοίων.

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

Ως εκ τούτου, η ικανότητα έρματος είναι περιορισμένη και η κύρια λειτουργία του έρματος σε ένα πλοίο είναι για τον έλεγχο της σταθερότητας και της πίεσης την οποία δέχεται ένα πλοίο. (IACS, 2006)

4.2. Εξοπλισμός έρματος

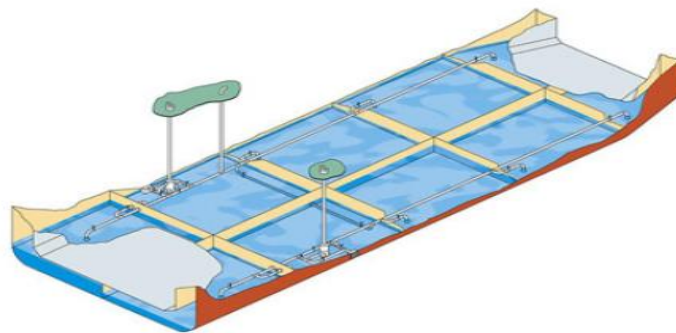
Ο εξοπλισμός φόρτωσης και εκφόρτωσης έρματος σε ένα πλοίο αποτελείται από έναν αριθμό αντλιών και ένα σύστημα αγωγών **Σχήμα 3**. Γενικά οι αντλίες είναι εγκατεστημένες στο αντλιοστάσιο ή στο μηχανοστάσιο του πλοίου. Το μεγαλύτερο μέρος μετακινείται μέσω φυγοκεντρικών αντλιών ενώ η αποστράγγιση (stripping) γίνεται με αντλίες εμβόλου (piston pumps) ή εκτοξευτήρες (ejectors).



Σχήμα 3. Διαμόρφωση κατώτατης γραμμής έρματος (Ballast bottom line configuration).

Provided by Larus S.A.

Οι αντλίες Deerwell² **Σχήμα 4** χρησιμοποιούνται πάνω σε δεξαμενόπλοια για χρονικό διάστημα περισσότερο από 40 χρόνια. Πρόσφατα αυτός ο τύπος αντλίας χρησιμοποιείται επίσης σε δεξαμενές έρματος. Δεδομένου ότι αυτή η μονάδα είναι εγκατεστημένη στο κατάστρωμα, εξαλείφεται η ανάγκη για ξεχωριστή αντλία. Οι αντλίες αυτού του τύπου έχουν επίσης καλύτερη ποιότητα αποστράγγισης (stripping).



Σχήμα 4. Βυθισμένες αντλίες έρματος (*Framo, 2010*)

Παράδειγμα εκφόρτωσης έρματος σε Φορηγό πλοίο από τις δεξαμενές άνω πλευρών (topside tanks) μέσω βαλβίδων εκφόρτισης³ (drop valves) **Εικόνα 2.**

² Η υποβρύχια αντλία έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ειδικά ώστε να είναι βυθισμένη μέσα στη δεξαμενή.

³ Μια βαλβίδα εκφόρτισης (drop valve) είναι αυτή που παρέχει την ταχεία και ελεύθερη εκφόρτωση του έρματος από τις δεξαμενές πάνω πλευράς επί των φορηγών πλοίων χωρίς τη χρήση αντλιών.



Εικόνα 2. Bulk carrier discharging topside tanks.

Provided by Larus S.A.

Επίσης, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα η ποσότητα του έρματος επί του σκάφους εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου. Στον παρακάτω **Πίνακα 1**, παρουσιάζονται οι ανάγκες έρματος και ο ρυθμός άντλησης αυτού για διάφορους τύπους πλοίων. (IACS, 2006)

Πίνακας 1. Ανάγκες έρματος και ρυθμοί άντλησης έρματος διαφορετικών τύπων πλοίων

(NRC, 1996)

Ballast Needs ^a	Vessel Types	Typical Pumping Rates (m ³ /h)
Ballast replaces cargo Ballast required in large quantities, primarily for return voyage.	Dry bulk carriers	5,000–10,000
	Ore carriers	10,000
Ballast for vessel control Ballast required in almost all loading conditions to control stability, trim, and heel.	Tankers	5,000–20,000
	Liquefied-gas carriers	5,000–10,000
	Oil bulk ore carriers	10,000–15,000
	Container ships	1,000–2,000
	Ferries	200–500
	General cargo vessels	1,000–2,000
	Passenger vessels	200–500
	Roll-on, roll-off vessels	1,000–2,000
	Fishing vessels	50
	Fish factory vessels	500
Ballast for loading and unloading operations Ballast taken on locally in large volumes and discharged in same location.	Military vessels	50–100
	Float-on, float-off vessels	10,000–15,000
	Heavy lift vessels	5,000
	Military amphibious assault vessels	5,000
	Barge-carrying cargo vessels	1,000–2,000

^a The three categories of ballast needs are not mutually exclusive. For example, a vessel in which ballast replaces cargo may also require ballast to control stability.

4.3. Ο ναυπηγικός χάλυβας στην κατασκευή των δεξαμενών έρματος

Ο χάλυβας είναι το συνηθέστερο μέταλλο που χρησιμοποιείται στην ναυπηγική. Η σύνθεση του χάλυβα είναι από κράματα σιδήρου (Fe) με άνθρακα (C) με περιεκτικότητα σε άνθρακα να είναι μέχρι 2 %wt. Οι ιδιότητες του κοινού ναυπηγικού χάλυβα και του χάλυβα υψηλής αντοχής καθορίζονται ανάλογα με την περιεκτικότητα σε άνθρακα. (Καρύδης Π.)

Κοινός ναυπηγικός χάλυβας

Ο κοινός ναυπηγικός χάλυβας περιέχει ελάχιστα κραματικά στοιχεία τα οποία βελτιώνουν τις ιδιότητες του. Ο κοινός ναυπηγικός χάλυβας χαρακτηρίζεται ως υποευτηκτοειδής (όταν περιέχει άνθρακα σε ποσοστό μικρότερο από 0.80 %wt), ευτηκτοειδής (όταν περιέχει άνθρακα σε ποσοστό 0.80 %wt), και υπερευτηκτοειδής (όταν περιέχει άνθρακα από 0.80 μέχρι 2.00 % wt). (Καρύδης Π.)

Οι κοινοί ναυπηγικοί χάλυβες διακρίνονται στις ακόλουθες ονομαστικές κατηγορίες:

- **Κατηγορία A** (Grade A): χρησιμοποιούνται για ελάσματα πάχους μέχρι 19 mm.
- **Κατηγορία B** (Grade B): χρησιμοποιούνται για πάχη μεγαλύτερα των 25 mm, αλλά και σε ειδικές χρήσεις, όπως ελάσματα στο κυρτό της γάστρας πάχους μέχρι 16 mm.
- **Κατηγορία D** (Grade D): χρησιμοποιούνται για ελάσματα με πάχη μέχρι 35 mm και σε ειδικές χρήσεις μέχρι 22.5 mm.
- **Κατηγορία CS και E** (Grade CS & E): χρησιμοποιούνται για ελάσματα με πάχος μέχρι 51 mm και για κάθε χρήση.

Η ποιότητα και το κόστος του χάλυβα διαφοροποιούνται ανάλογα με την κατηγορία.

Χάλυβες υψηλής αντοχής

Ο κοινός ναυπηγικός χάλυβας χρησιμοποιείται συνήθως για την κατασκευή της γάστρας και των διαφόρων δεξαμενών του πλοίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις αντικαθίσταται των κοινό ναυπηγικό χάλυβα με χάλυβα υψηλής αντοχής, λόγω του ότι εμφανίζει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες και δεν απαιτούνται μεγάλα πάχη ελασμάτων. Με αυτό τον τρόπο η κατασκευή

έχει μικρότερο βάρος. Για παράδειγμα οι δεξαμενές στην πλώρη κατασκευάζονται από χάλυβα υψηλής αντοχής, διότι δέχονται μεγάλες τάσεις κοπώσεως από την πρόσκρουση στα κύματα.

Οι χάλυβες υψηλής αντοχής χαρακτηρίζονται από την χαμηλότερη περιεκτικότητα τους σε άνθρακα, μεγαλύτερη σκληρότητα και αντοχή, ενώ έχουν παρόμοια αντοχή σε κόπωση και σε διάβρωση και παρόμοια ευκολία συγκόλλησης όπως οι κοινοί ναυπηγικοί χάλυβες. (Καρύδης Π.)

Οι χάλυβες υψηλής αντοχής διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες :

- **Κατηγορία AH** (Grade AH): για όλες τις χρήσεις το πάχος είναι μέχρι 19 mm. Για πάχη από 19 mm μέχρι 51 mm χρησιμοποιείται σε όλα τα κατασκευαστικά τμήματα του σκάφους, εκτός από αυτά που δέχονται ισχυρές καταπονήσεις, τον πυθμένα και το κύριο κατάστρωμα.
- **Κατηγορία DH** (Grade DH): για όλες τις χρήσεις το πάχος είναι μέχρι 51 mm. Για ειδικές χρήσεις το πάχος πρέπει να είναι μέχρι 27.5 mm.
- **Κατηγορία EH** (Grade EH): μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε χρήση με πάχος μέχρι 51 mm.

Κεφάλαιο πέμπτο

5. Το πρόβλημα της διάβρωσης στις δεξαμενές έρματος

Τα μέταλλα εξαιτίας των πολύτιμων φυσικών ιδιοτήτων τους (σκληρότητα, αντοχή, ελατότητα, αντοχή στην τριβή, θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, κ.λ.π.), αποτελούν τα πλέον σημαντικά και κύρια κατασκευαστικά υλικά για τις δεξαμενές έρματος ενός πλοίου. Η υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων των μετάλλων και η διάβρωσή τους ως συνέπεια της επίδρασης του περιβάλλοντος, αποτελούν τις πιο σημαντικές αιτίες καταστροφής των δεξαμενών έρματος ενός πλοίου. Σε αντίθεση όμως με τις μηχανικές βλάβες, που συχνά επιδιορθώνονται, το φαινόμενο της διάβρωσης συχνά οδηγεί σε ολοκληρωτική αχρήστευση των δεξαμενών. Η συμπεριφορά στην διάβρωση αποτελεί λοιπόν σημαντική παράμετρο στην επιλογή του κατάλληλου τύπου χάλυβα για την κατασκευή των δεξαμενών έρματος. Οι παράμετροι και τα κριτήρια επιλογής του χάλυβα ταξινομούνται ως εξής: κόστος, μηχανικές ιδιότητες, συμπεριφορά στην διάβρωση (αντοχή), χαρακτηριστικά διαμόρφωσης (π.χ. ευκαμψία), αντοχή σε θερμική καταπόνηση, διαθεσιμότητα υλικού σε κατάλληλη μορφή, εμφάνιση/όψη, ευκολία στην παραγωγική διαδικασία, συμβατότητα του υλικού με άλλα υλικά του συστήματος, θερμικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Η αναλογία μεταξύ του κόστους και της συμπεριφοράς του υλικού στην διάβρωση είναι αυτή που κατευθύνει στην επιλογή της βέλτιστης μεθόδου προστασίας των μεταλλικών επιφανειών.

Η προσθήκη του παράγοντα «θαλασσινό νερό» σε αυτήν την «εξίσωση» δημιουργεί ένα ακόμη πιο επιθετικό περιβάλλον και κάνει ακόμα πιο έντονο το πρόβλημα της διάβρωσης. Για τα εμπορικά πλοία, η μεταφορά θαλασσινού νερού στις δεξαμενές έρματος είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί η ικανότητα ελιγμού και σταθερότητας απουσία φορτίου ή όταν το πλοίο φορτώνεται μόνο εν μέρει. Έτσι, όσο απαραίτητο και εάν είναι για τη λειτουργία ενός πλοίου, το έρμα καθιστά τις δεξαμενές επιρρεπείς σε διάβρωση, γεγονός που δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα σε ένα πλοίο. (Καρύδης Π.)

Το πρόβλημα της διάβρωσης των δεξαμενών έρματος επιδεινώθηκε επίσης και με την εισαγωγή των δεξαμενών διπλού κύτους. Το 1989, γίνεται το ατύχημα του Exxon Valdez και κατά συνέπεια, η κυβέρνηση των ΗΠΑ επιβάλλει ένα νέο σχέδιο πλοίου για όλα τα δεξαμενόπλοια που μεταφέρουν πετρέλαιο στα χωρικά ύδατα των ΗΠΑ, που ονομάζεται «διπλό κύτος». Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (International Maritime Organization) IMO ακολούθησε μερικά χρόνια αργότερα και ο σχεδιασμός του διπλού κύτους έγινε υποχρεωτικός από τη σύμβαση MARPOL το 1993 για τα νέα πλοία. Η MARPOL παρείχε τη δυνατότητα να εισαγάγει εναλλακτικά σχέδια σχετικά με τις δεξαμενές διπλών τοιχωμάτων. Ο σκοπός αυτού του σχεδιασμού ήταν να προστατεύσει τις δεξαμενές φορτίου από ζημιές δημιουργώντας παράλληλα την αύξηση της ασφάλειας των πλοίων και την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης σε περίπτωση καταστροφής (Tator, 2004). Πράγματι, σήμερα, όλα τα δεξαμενόπλοια (και πολλά άλλα σκάφη) έχουν τις δεξαμενές έρματος περιμετρικά των δεξαμενών φορτίου, χρησιμεύοντας ως προστατευτικό φράγμα. Για να διευκολυνθεί ο καθαρισμός και η συντήρηση των δεξαμενών, όλα τα δομικά στοιχεία εξαιρέθηκαν από τις δεξαμενές φορτίου και μεταφέρθηκαν στις δεξαμενές έρματος. Από την άλλη πλευρά, όλα τα ενισχυτικά στοιχεία που συγκεντρώνονται στις δεξαμενές έρματος τις καθιστούν πολύ δύσκολες στην πρόσβαση. Αρχικά, οι πλοιοκτήτες εκτιμούσαν ότι τα ποσοστά διάβρωσης θα είναι παρόμοια με αυτά που συναντώνται σε δεξαμενές έρματος μονού κύτους. Εκτιμούσαν ότι οι επισκευές και η αντικατάσταση χάλυβα θα πρέπει να πραγματοποιούνται μετά τον τρίτο δεξαμενισμό όταν το πλοίο θα είναι 15 ετών. Ωστόσο, οι ιδιοκτήτες των πρώτων δεξαμενόπλοιων με διπλό κύτος παρατήρησαν σημαντική διάβρωση και διάτρηση στον πρώτο δεξαμενισμό μετά από μόλις 5 χρόνια (Johnson, 2001). Αποδεικνύεται λοιπόν ότι η διάβρωση στις δεξαμενές έρματος είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο **Εικόνα 3 & Εικόνα 4**.



Εικόνα 3. Παράδειγμα τοπικής διάβρωσης του υποστρώματος σε WBT ως συνέπεια τοπικού σπασίματος επιχρίσματος κοντά σε αποκόμματα και συγκολλήσεις.

[ABS Guidance Notes of the application and inspection of marine coating systems – 2017](#)



Εικόνα 4. Παράδειγμα τοπικής διάβρωσης του υποστρώματος σε WBT με λάθος τοποθετημένη άνοδο σε κλειστή περιοχή της δεξαμενής.

[ABS Guidance Notes of the application and inspection of marine coating systems - 2017](#)

5.1. Ρυθμός διάβρωσης δεξαμενών έρματος

Στην περίπτωση των μετάλλων η διάβρωση είναι μια ηλεκτροχημική διαδικασία. Δηλαδή, δημιουργείται ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, όπου η ανταλλαγή των ηλεκτρονίων προκαλείται από τις χημικές αντιδράσεις σε μέρος του κυκλώματος. Αυτές οι χημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια του μετάλλου που εκτίθεται στον ηλεκτρολύτη. Αντιδράσεις οξειδωσης (διάβρωση) εμφανίζονται στην επιφάνεια της ανόδου και αναγωγής συμβαίνουν στην επιφάνεια της καθόδου. Στην περίπτωση, λοιπόν, των μετάλλων υπάρχουν τέσσερις βασικοί τρόποι που μπορεί να γίνει η διάβρωση. Μέσω μιας χημικής αντίδρασης ή τριών γενικών τύπων ηλεκτροχημικών αντιδράσεων. Οι τρεις τύποι ηλεκτροχημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν εξαρτώνται από την αιτία της διαφοράς δυναμικού μεταξύ ανόδου και καθόδου. Αυτή η διαφορά δυναμικού μπορεί να προκαλείται από διαφορές στο περιβάλλον, στο μέταλλο, ή από εξωτερικές ηλεκτρικές πηγές συνεχούς ρεύματος. (Καρύδης Π.)

Οι τύποι της διάβρωσης είναι γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση, διάβρωση κυττάρων συγκέντρωσης (το ηλεκτροχημικό κύτταρο δημιουργείται από τις διαφορές στον ηλεκτρολύτη), γαλβανική διάβρωση (το ηλεκτροχημικό κύτταρο δημιουργείται από τις διαφορές στο μέταλλο, ενώ ένας τύπος ο οποίος είναι διαδεδομένος στις δεξαμενές έρματος είναι η βακτηριακή διάβρωση.

Γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση

Αποτελεί το πιο συνηθισμένο τύπο διάβρωσης. Προκαλείται από μια χημική ή ηλεκτροχημική δράση που αναπτύσσεται ομοιόμορφα σε ολόκληρο ή στο μεγαλύτερο μέρος της μεταλλικής επιφάνειας του μετάλλου ή κράματος. Σε αυτή δημιουργείται ένα ομοιόμορφο, περίπου ισοπαχές στρώμα προϊόντων διάβρωσης. Επίσης, μπορεί να υπάρξει ομοιόμορφη διάλυση του μετάλλου στο διαβρωτικό περιβάλλον, αντί να σχηματιστεί στρώμα προϊόντων. (IACS, 2015).

Διάβρωση κυττάρων συγκέντρωσης

Σε αυτόν τον τύπο διάβρωσης η διαφορά δυναμικού δημιουργείται από την διαφορά στις συγκεντρώσεις κάποιων συστατικών στον ηλεκτρολύτη. Οποιαδήποτε διαφορά μέσα στον ηλεκτρολύτη, με τον οποίο έρχεται σε επαφή ένα μέταλλο, δημιουργεί ξεχωριστές ανοδικές

και καθοδικές περιοχές στο μέταλλο. Επίσης ένα μέταλλο μπορεί να βρίσκεται ταυτόχρονα μέσα σε δύο διαφορετικούς ηλεκτρολύτες και έτσι να αναπτύσσει διαφορετικά δυναμικά. Αυτή η διαφορά δυναμικού οδηγεί το μέταλλο στο να δημιουργήσει ανοδικές και καθοδικές περιοχές. (IACS, 2015).

Γαλβανική διάβρωση

Μεταξύ δύο διαφορετικών μετάλλων που είναι σε ηλεκτρική επαφή και βρίσκονται σε διαβρωτικό ή αγώγιμο περιβάλλον, εμφανίζεται διαφορά δυναμικού που παράγει ροή ηλεκτρονίων μεταξύ αυτών των μετάλλων, συνεπώς αναπτύσσεται γαλβανικό κύτταρο (το ένα μέταλλο λειτουργεί ως άνοδος και το άλλο ως κάθοδος). Αυτό έχει σαν συνέπεια την αύξηση της ταχύτητας διάβρωσης του λιγότερου ανθεκτικού μετάλλου (άνοδος) και τη μείωση της ταχύτητας του περισσότερο ανθεκτικού (κάθοδος). Στη διάβρωση αυτή ο λόγος των εμβαδών των επιφανειών ανόδου-καθόδου παίζει σημαντικό ρόλο στην έκταση του φαινομένου. Η πιο εμφανής μορφή αυτής της διάβρωσης είναι όταν δύο διαφορετικά είδη μετάλλου βρίσκονται σε έναν ηλεκτρολύτη και συνδέονται μεταλλικά ή βραχυκυκλώνονται με κάποιο τρόπο. Όλα τα μέταλλα αναπτύσσουν ένα δυναμικό και για κάθε ένα μέταλλο αυτό το δυναμικό είναι ξεχωριστό. Όταν δύο μέταλλα συνδέονται, το μέταλλο με το πιο θετικό δυναμικό είναι η άνοδος και αυτό με το πιο αρνητικό δυναμικό είναι η κάθοδος. Ένα μέταλλο είναι "ενεργό" όταν έχει υψηλό αρνητικό δυναμικό, δηλαδή είναι ανοδικό όταν συγκρίνεται με τα περισσότερα μέταλλα, ενώ είναι "ευγενές" όταν έχει χαμηλό αρνητικό δυναμικό, δηλαδή είναι καθοδικό συγκρινόμενο με τα άλλα μέταλλα. Η διάβρωση ανόμοιων μετάλλων είναι πιο σοβαρή όταν η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο μετάλλων είναι η μεγαλύτερη. Άλλες μορφές γαλβανικής διάβρωσης είναι όταν συνδυάζονται ανόμοια κράματα ή όταν μικρές προσμίξεις ανακατεύονται με ένα μέταλλο, μπορούν να δράσουν είτε ανοδικά είτε καθοδικά ως προς αυτό. Μια άλλη περίπτωση είναι όταν μία περιοχή ενός μετάλλου έχει υψηλή θερμοκρασία γίνεται ανοδική σε μία περιοχή του ίδιου μετάλλου με χαμηλότερη θερμοκρασία.

Η διάβρωση χαρακτηρίζεται από την επίθεση που προχωρά ομοιόμορφα σε ολόκληρη την επιφάνεια ή ένα μεγάλο μέρος της συνολικής επιφάνειας ενός μετάλλου. Ο ρυθμός διάβρωσης καθορίζεται, μεταξύ άλλων, από την υψηλή θερμοκρασία στις δεξαμενές λόγω της θερμικής επίδρασης, της υψηλής υγρασίας, των χλωριδίων που υπάρχουν στο θαλασσινό νερό, των κυκλικών εναλλαγών υγρού / ξηρού και κρύου / ζεστού, του υψηλού δυναμικού αναγωγής οξυγόνου του θαλασσινού νερού, της πολυπλοκότητας των κατασκευών, στη αντοχή του

χάλυβα στον εφελκυσμό, της ρύπανσης του έρματος, της θαλάσσιας ρύπανσης, των γαλβανικών επιδράσεων, κτλ. (Germanischer Lloyds, 2000).

Τα κράματα που είναι πιο ευαίσθητα στη διάβρωση είναι συνήθως εκείνα όπου η αντίσταση στη διάβρωση προκαλείται από ένα στρώμα παθητικοποίησης: ανοξείδωτοι χάλυβες, κράματα νικελίου, κράματα αλουμινίου. Τα μέταλλα που είναι ευαίσθητα σε ομοιόμορφη διάβρωση όπως ο χάλυβας διαβρώνονται ομοιόμορφα στο θαλασσινό νερό. Η προσθήκη περίπου 2% μολυβδαινίου αυξάνει την αντοχή του ανοξείδωτου χάλυβα.

Η αναλογία έρματος επηρεάζει επίσης το ρυθμό διάβρωσης (Gardiner, 2003 & Cridland, 2007). Οι όξινες συνθήκες, υπό υδρόβιες συνθήκες κατά τη διάρκεια της βύθισης και υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες όταν το τοίχωμα της δεξαμενής είναι σε επαφή με διοξείδιο του θείου (SO_2), τριοξείδιο του θείου (SO_3) ή υδρόθειο 104 (H_2S), θα αυξήσει τον σχηματισμό αερίου υδρογόνου στην κάθοδο και πρόσκρουση ο συνολικός ρυθμός διάβρωσης (ABS, 2007). Η διάβρωση επίσης μπορεί να προκληθεί από παράγοντες διαφορετικούς από τις καθαρές φυσικοχημικές διεργασίες. Τις δύο τελευταίες δεκαετίες, η ναυτιλιακή βιομηχανία συνειδητοποιεί ολοένα και περισσότερο τις πιθανές διαβρωτικές δράσεις διαφορετικών ομάδων βακτηρίων - για παράδειγμα, βακτήρια μείωσης θεικών (SRB) ή βακτήρια που σχετίζονται με σίδηρο (IRB) (DNV/GL.20, 2020).

Επιπλέον, οι δεξαμενές έρματος είναι περίπλοκες με εκτεταμένη συγκόλληση και πολλές συνδέσεις. Το σχήμα τους καθιστά τον αποτελεσματικό έλεγχο της διάβρωσης μάλλον δύσκολο. Οι δεξαμενές δεν είναι εύκολα προσβάσιμες και υπάρχει κίνδυνος έλλειψης οξυγόνου μέσα στη δεξαμενή λόγω τοξικής ή εκρηκτικής ατμόσφαιρας. Αυτό καθιστά την εργασία μέσα σε δεξαμενές έρματος μια μάλλον περίπλοκη διαδικασία. Επίσης, υπάρχουν πολλά δομικά χαρακτηριστικά (γωνίες, διαφράγματα και μικρές περιοχές) που καθιστούν αρκετά μεγάλη τη συνολική επιφάνεια που χρειάζεται προστασία. Αυτή η γενικά σύνθετη κατασκευή οδηγεί πολλές φορές σε κακή εφαρμογή επίστρωσης και στην εμφάνιση πολλών δομικών δυνάμεων που προκαλούν μεταλλική τάση και επακόλουθη διάβρωση. Αυτός ο συνδυασμός ακραίων συνθηκών μαζί με ανεπαρκή ή ακατάλληλο έλεγχο διάβρωσης οδηγεί σε υπερβολικούς ρυθμούς διάβρωσης στις δεξαμενές νερού έρματος και, όταν δεν ανιχνεύεται εγκαίρως, σε τεράστιες ζημιές με καταστροφικές συνέπειες στην κατασκευή του πλοίου. Ως εκ τούτου, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα προβλήματα της διάβρωσης των δεξαμενών έρματος. (IACS Recommendation 87)

Βακτηριδιακή διάβρωση

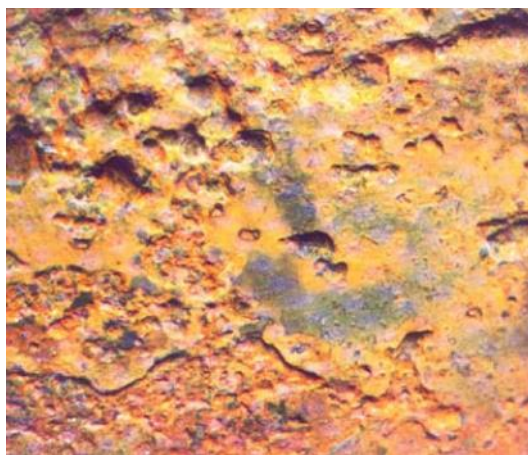
Η βακτηριδιακή διάβρωση, ονομάζεται Μικροβιολογικά Επηρεασμένη Διάβρωση (MIC - Microbiologically Influenced Corrosion) εμφανίζεται ως διάσπαρτη ή ως εντοπισμένη κοιλότητα σε μία δεξαμενή έρματος. (IACS, 2015)

Η βακτηριδιακή διάβρωση είναι μια μορφή διάβρωσης που προέρχεται από την παρουσία μικροσκοπικού μονοκύτταρου ζωντανού οργανισμού συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων, μυκήτων και φυκιών. Τα διαβρωτικά βακτήρια ζουν σε στρώμα νερού στον πυθμένα της δεξαμενής έρματος νερού. Τα θειικά αναγωγικά βακτήρια (SRB) και τα βακτήρια που παράγουν οξέα (APB) είναι οι δύο πιο σημαντικές και γνωστές ομάδες μικροοργανισμών που προκαλούν διάβρωση. Το SRB και το APB ζουν μαζί με άλλα είδη βακτηρίων σε αποικίες στις επιφάνειες του χάλυβα βοηθώντας το ένα το άλλο να αναπτυχθεί. (IACS, 2015)

Τα SRB είναι αναερόβιας φύσης και λαμβάνουν τις ανάγκες τους σε θείο με μια σύνθετη χημική αντίδραση. Κατά τη διάρκεια αυτής της αντίδρασης, ο οργανισμός αφομοιώνει μια μικρή ποσότητα θείου, ενώ η πλειονότητα απελευθερώνεται στο άμεσο περιβάλλον ως θειούχα ιόντα, τα οποία υδρολύονται ως ελεύθερο H₂S. Με αυτόν τον τρόπο, τα SRB δημιουργούν μία διαβρωτική διαδικασία που υποστηρίζει την ανοδική διάλυση του χάλυβα. Όταν τα βακτήρια έχουν αρχίσει να παράγουν θειούχα, οι περιβαλλοντικές συνθήκες γίνονται πιο ευνοϊκές για ανάπτυξη, με αποτέλεσμα μια πληθυσμιακή έκρηξη.

Τα APB χρησιμοποιούν τη μικρή ποσότητα οξυγόνου του νερού για να μεταβολίσουν τους υδρογονάνθρακες και να παράγουν οργανικά οξέα όπως το προπιονικό οξύ, το οξικό οξύ και άλλα ανώτερα μοριακά οξέα. Δεδομένου ότι τα APB «καταναλώνουν» το υπολειμματικό οξυγόνο που υπάρχει στο ίζημα, παράγουν, κάτω από τις αποικίες, ένα κατάλληλο και ιδανικό περιβάλλον για τα SRB. (IACS, 2015)

Όταν είναι ενεργή, η διαδικασία διάβρωσης που προέρχεται από αυτά τα βακτήρια μπορεί να είναι εξαιρετικά γρήγορη και μπορεί να προκαλέσει διάβρωση με ρυθμό από 1,5 έως 3 mm ετησίως, που είναι περίπου πέντε φορές υψηλότερο από το κανονικά αναμενόμενο. Οι αποικίες βακτηρίων μπορεί να εμφανίζονται σαν γλοιώδεις μαύρες εναποθέσεις στις επιφάνειες του χάλυβα όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 5**.



Εικόνα 5. Επιφάνεια χάλυβα που επηρεάζεται από βακτηριδιακή διάβρωση. [IACS Recommendation 87](#)

5.2. Επίδραση του Οξυγόνου

Ο ρυθμός διάβρωσης εξαρτάται επίσης από τη συγκέντρωση οξυγόνου, τη μερική πίεση και τη θερμοκρασία. Η τυπική ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου στο θαλασσινό νερό είναι 9,6ppm (εξαρτάται από τη θερμοκρασία). Το οξυγόνο είναι βασικό στοιχείο της διαδικασίας διάβρωσης σε μια δεξαμενή έρματος. Ο ρυθμός διάβρωσης αυξάνεται ανάλογα με την ποσότητα οξυγόνου που διατίθεται για διάχυση στην κάθοδο. Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, της πίεσης και της αλατότητας του θαλάσσιου νερού.

Σε ένα κελλί διάβρωσης, το πλεόνασμα ηλεκτρονίων προκαλεί την αντίδραση αναγωγής στην επιφάνεια της καθόδου. Μάλιστα, η παρουσία διαλυμένου οξυγόνου στο νερό επιταχύνει την καθοδική αντίδραση. Για το λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί τεχνικές που χρησιμοποιούν αδρανές αέριο για τη μείωση της συγκέντρωσης οξυγόνου στις δεξαμενές έρματος όταν είναι κενές. Το αδρανές αέριο επί των δεξαμενόπλοιων είναι ένα αέριο που περιέχει λιγότερο από 5% (vol) οξυγόνο. Τα πετρελαιοφόρα αργού πετρελαίου χρησιμοποιούν καυσαέρια, δηλαδή τα επεξεργασμένα καυσαέρια του κύριου κινητήρα ή του λέβητα. Τα δεξαμενόπλοια προϊόντων και χημικών χρησιμοποιούν γεννήτριες αδρανούς αερίου που παράγουν αδρανές αέριο με ελεγχόμενη καύση πετρελαίου ντίζελ ή πετρελαίου. Όταν οι δεξαμενές έρματος είναι κενές, η πλούσια σε οξυγόνο ατμόσφαιρα αντικαθίσταται με αδρανές αέριο με αραιώση ή μετατόπιση. Αυτή η διαδικασία είναι συνήθως πρακτική για δεξαμενές φορτίου πετρελαίου προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος έκρηξης. Χρησιμοποιείται το ίδιο αδρανές αέριο σε

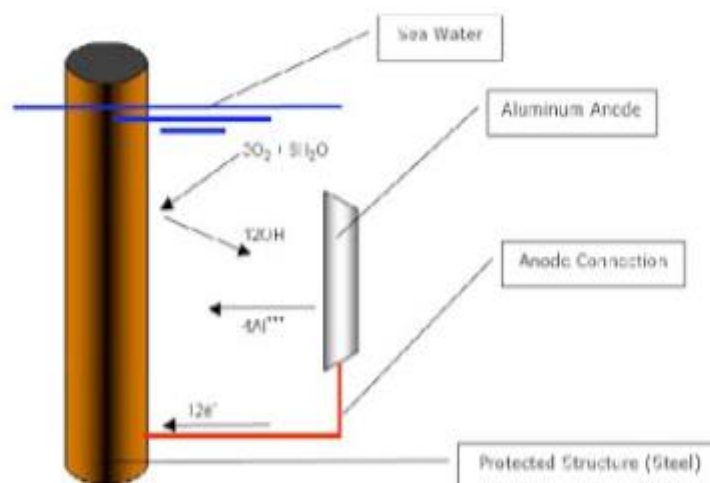
συνδυασμό με ένα σύστημα Venturi για την απομάκρυνση του διαλυμένου οξυγόνου από το νερό έρματος καθώς εισέρχεται στη δεξαμενή. Κατά τη μεταφορά του έρματος στο νερό, αυτό το νερό περνά μέσα από τον εγχυτήρα. Μια διαδικασία δημιουργίας σπηλαιώσης διασπείρει το αέριο σε ένα μικρο-λεπτό γαλάκτωμα στο νερό. Το νερό έρματος εκτίθεται τώρα σε ένα αέριο που περιέχει πολύ λιγότερο οξυγόνο από τον αέρα. Καθώς δημιουργείται μια νέα ισορροπία, το οξυγόνο διαχέεται από την υγρή φάση στην αέρια φάση και ταυτόχρονα μικρές ποσότητες CO₂ και N₂ περνούν από το αδρανές αέριο στο νερό έρματος. Είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι το ίδιο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σύστημα διαχείρισης νερού έρματος αποφεύγοντας την ανεπιθύμητη μεταφορά ξένων ειδών από τον ένα βιότοπο στο άλλο. Αρνητικό είναι το γεγονός ότι με αυτό τον τρόπο δεν αντιμετωπίζονται διαδικασίες αναερόβιας διάβρωσης, καθώς και το ότι το περίπλοκο σχήμα της δεξαμενής καθιστά δύσκολη τη διαδικασία αδρανοποίησης και απελευθέρωσης του αερίου. (Smalwood, 2003)

Κεφάλαιο έκτο

6. Μέθοδοι προστασίας των δεξαμενών έρματος από την διάβρωση

6.1. Προστασία των δεξαμενών έρματος με τη χρήση θυσιαζόμενων (γαλβανικών) ανόδων

Στα συστήματα γαλβανικών ανόδων χρησιμοποιούνται ενεργά μέταλλα σαν βοηθητικές άνοδοι και το ρεύμα που απαιτείται για την καθοδική προστασία παρέχεται από την διάβρωσή τους (θυσιαζόμενες άνοδοι). Τα συστήματα αυτά βασίζονται στη διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ διαφορετικών μετάλλων ή κραμάτων. Για παράδειγμα, η διαφορά δυναμικού του σιδήρου ως προς το ηλεκτρόδιο αναφοράς αργύρου / χλωριούχου αργύρου είναι μεταξύ $-0.4V$ και $-0.6V$, ενώ του ψευδαργύρου σε σχέση με το ίδιο ηλεκτρόδιο είναι περίπου $-1.0V$. Αν τα δύο μέταλλα είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα, η διαφορά δυναμικού μεταξύ σιδήρου και ψευδαργύρου είναι περίπου $0.4V$ μέχρι $0.6V$, και η αποβολή ηλεκτρονίων από τον ψευδάργυρο γίνεται η πηγή ρεύματος που τροφοδοτεί με ηλεκτρόνια και εμποδίζει τη διάβρωση του σιδήρου. Το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος, και κράματα αλουμινίου είναι αρκετά πιο ηλεκτροθετικά από το σίδηρο ή το χάλυβα και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προστασία τους σε διάφορα περιβάλλοντα. Μέταλλα όπως ο χαλκός ή τα κράματα χαλκού, που έχουν χαμηλότερο δυναμικό από το σίδηρο και το χάλυβα και γι' αυτό δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό. Ένα τέτοιο σύστημα παρουσιάζεται στο **Σχήμα 5**.



Σχήμα 5. Σύστημα καθοδικής προστασίας με θυσιαζόμενες ανόδους. <http://docplayer.gr/>

Κατά τη διαδικασία παροχής ηλεκτρονίων για την καθοδική προστασία του λιγότερου ενεργού μετάλλου (κάθοδος), το περισσότερο ενεργό (άνοδος) διαβρώνεται. Δηλαδή το πιο ενεργό μέταλλο "θυσιάζεται" για την προστασία του λιγότερου ενεργού. Γι' αυτό το λόγο οι άνοδοι ονομάζονται θυσιάζομενες **Εικόνα 6**. Το αποτέλεσμα είναι ότι η κάθοδος θα πολωθεί αρνητικά και ως εκ τούτου θα προστατευτεί από τη διάβρωση. Η καθοδική προστασία αποτρέπει τη διάβρωση μετατρέποντας όλες τις ανοδικές (ενεργές) θέσεις στη μεταλλική επιφάνεια σε καθοδικές (παθητικές) θέσεις παρέχοντας ηλεκτρικό ρεύμα (ή ελεύθερα ηλεκτρόνια) από μια εναλλακτική πηγή (Baxter, 2008).



Εικόνα 6. Θυσιάζομενη άνοδος σε δεξαμενή έρματος. [Provided by Larus S.A.](#)

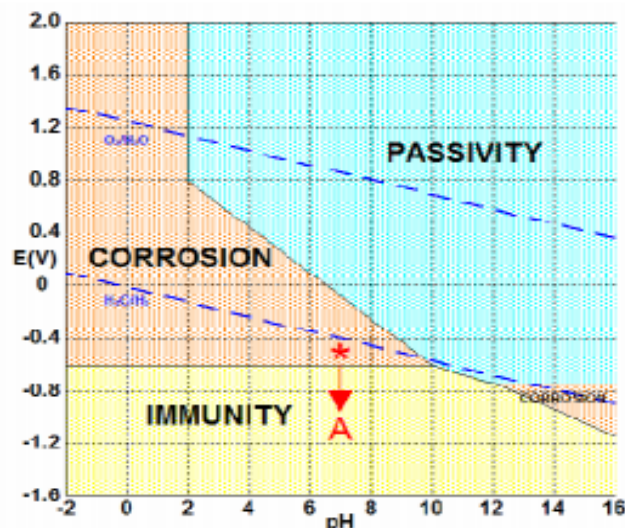
Η έκταση της διάβρωσης εξαρτάται από το μέταλλο που χρησιμοποιείται ως άνοδος και είναι ευθέως ανάλογη με προς την ποσότητα του ρεύματος που παρέχεται. Το τελικό ποσοστό ρεύματος που μπορούμε να πάρουμε πρακτικά από ένα σύνολο ανόδων είναι σχετικά μικρό και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ειδική αντίσταση του ηλεκτρολύτη. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η απόδοση της ανόδου, η οποία αντιπροσωπεύει το ρυθμό αυτό-διάβρωσής της και το ρυθμό διάβρωσης της για την παροχή του συνολικού καθοδικού ρεύματος προστασίας. Οι άνοδοι σε γαλβανικά συστήματα καθοδικής προστασίας πρέπει να επιθεωρούνται περιοδικά και να αντικαθίστανται όταν καταναλώνονται.

Η εφαρμογή των γαλβανικών ανόδων περιορίζεται από τη μικρή διαφορά δυναμικού (συνήθως λιγότερο από 1V) που μπορεί να επιτευχθεί. Τα γαλβανικά συστήματα γενικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν οικονομικά μόνο σε μικρές ή πολύ καλά επικαλυμμένες δομές, σε

ηλεκτρολύτες με χαμηλή ειδική αντίσταση. Δεδομένου ότι το ποσό της καθοδικής προστασίας εξαρτάται από την πυκνότητα ρεύματος που παρέχεται στην προστατευόμενη δομή, η ειδική αντίσταση του ηλεκτρολύτη καθορίζει την ποσότητα του ρεύματος. Η ποσότητα του μετάλλου που εκτίθεται στον ηλεκτρολύτη καθορίζει την ποσότητα του ρεύματος που απαιτείται. Δομές χωρίς επικάλυψη (γυμνές) ενδέχεται να απαιτούν ένα υπέρογκο αριθμό ανόδων για την επαρκή προστασία τους. Σε ηλεκτρολύτες υψηλότερης ειδικής αντίστασης, η μικρή διαφορά τάσης ανόδου-δομής θα απέδιδε μια εξαιρετικά μικρή ποσότητα ρεύματος, και ως εκ τούτου, θα απαιτούνταν ένας μεγαλύτερος αριθμός ανόδων.

Οι βασικές αρχές διάβρωσης υποδεικνύουν ότι η σχέση μεταξύ του ηλεκτροχημικού δυναμικού E (V), του pH διαλύματος και της κατάστασης του μετάλλου (περιοχή διάβρωσης, παθητικοποίησης και μη προσβολής) μπορεί να αναπαρασταθεί σε ένα διάγραμμα Pourbaix

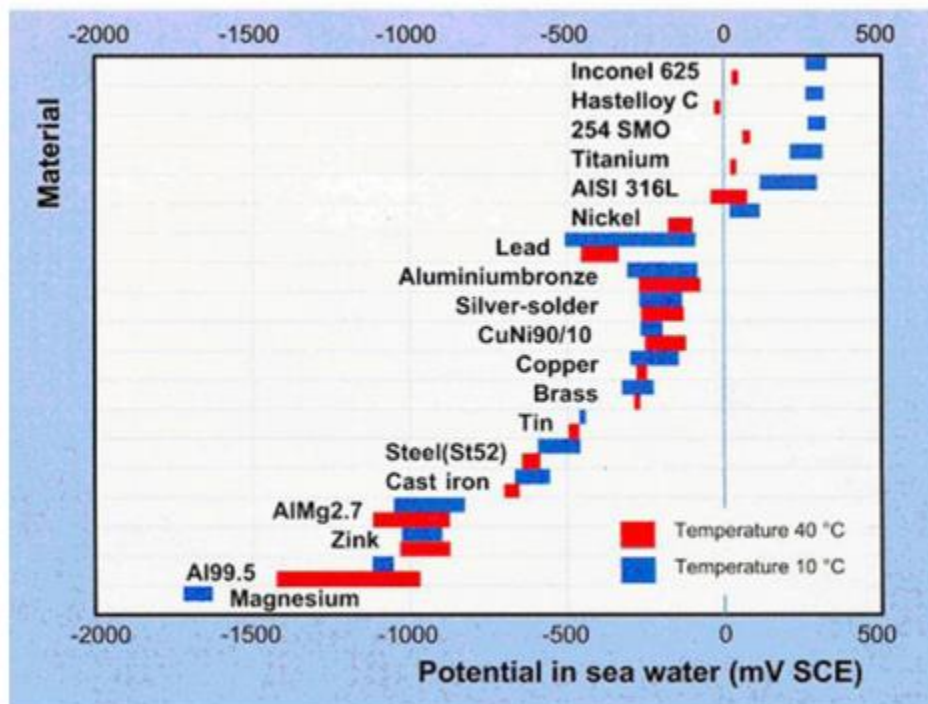
Διάγραμμα 1. Το μετρούμενο δυναμικό για ήπιο χάλυβα στο θαλασσινό νερό (που είναι ένας συνδυασμός του δυναμικού των ανοδικών και καθοδικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα) είναι της τάξης των -640mV (Standard Calomel Electrode). Ένα pH της τάξεως του 7 τοποθετεί τον χάλυβα στην διαβρωτική περιοχή. Το διάγραμμα Pourbaix δείχνει ότι η διαδικασία διάβρωσης μπορεί να σταματήσει μειώνοντας το δυναμικό μετατοπίζοντας το χάλυβα στη ζώνη όπου δεν συμβαίνει προσβολή, κατά περίπου 250mV .



Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Pourbaix χάλυβα σε πόσιμο νερό. ([Johnsen, 2004](#))

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί συνδέοντας τη χαλύβδινη πλάκα σε ένα μέταλλο με πολύ χαμηλότερο ηλεκτροχημικό δυναμικό (η λεγόμενη θυσιαζόμενη άνοδος) ή εφαρμόζοντας

ρεύμα ως πηγή ηλεκτρονίων. Βέβαια απαγορεύεται η χρήση ρεύματος σε δεξαμενές έρματος (Amtec, 2008). Η υπερβολική ποσότητα H_2 θα μπορούσε να οδηγήσει στη δημιουργία εκρηκτικής ατμόσφαιρας. Το ηλεκτροχημικό δυναμικό ψευδάργυρου, αλουμινίου και μαγνησίου είναι όλα χαμηλότερα από 1.000 mV όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 2**. Όταν επιτευχθεί ένα δυναμικό E (V) -860mV, η διαδικασία διάβρωσης θα σταματήσει (ABS, 2017).



Διάγραμμα 2. Το δυναμικό διαφόρων μετάλλων στο θαλάσσιο νερό (mV). ([Johnsen, 2004](#))

Τα βασικά κράματα που χρησιμοποιούνται ως θυσιαζόμενες άνοδοι αποτελούνται από μαγνήσιο, ψευδάργυρο και αλουμίνιο. Η απόδοση και, ως εκ τούτου η καταλληλότητα ενός συγκεκριμένου κράματος για μια συγκεκριμένη εφαρμογή εξαρτάται από τη σύνθεση του κράματος και του ηλεκτρολύτη. Στον **Πίνακα 2** παρουσιάζονται κάποιες πληροφορίες για τις θυσιαζόμενες ανόδους.

Πίνακας 2. Τυπικές τιμές θυσιαζόμενων ανόδων

Υλικό ανόδου		Δυναμικό (V) (Ag/AgCl/seawater)	Ηλεκτροχημική απόδοση (Ah/kg)	Ρυθμός κατανάλωσης (kg/A year)
Μαγνήσιο	Πρότυπο κράμα	-1.5	1200	7.3
	Κράμα υψηλού δυναμικού	-1.7	1200	7.3
Ψευδάργυρος	Κράμα Z 1	-1.03	780	11.2
	Κράμα Z 2	-1.00	760	11.5
	Κράμα Z 3	-1.03	780	11.2
Αλουμίνιο	Κράμα A 1	-1.09	2500	3.5
	Κράμα A 2	-1.09	2500	3.5
	Κράμα A 3	-1.09	2500	3.5

Ανοδοι Μαγνησίου

Το μαγνήσιο χρησιμοποιείται εκτεταμένα εκεί όπου είναι επιθυμητό ένα υψηλό δυναμικό. Άνοδοι με βάση το μαγνήσιο χρησιμοποιούνται στο θαλασσινό νερό, όπου είναι επιθυμητή η ταχεία πόλωση. (ABS, 2017)

Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο τύποι ανόδου διαφορετικής σύνθεσης. Αυτοί είναι το πρότυπο κράμα και ένα εμπορικά καθαρό ή "υψηλού δυναμικού" κράμα. Τα παρακάτω στοιχεία, που βρίσκονται στα κράματα μαγνησίου, επηρεάζουν το βαθμό απόδοσης των ανόδων που χρησιμοποιούνται για καθοδική προστασία:

- Αλουμίνιο – εμφανίζονται σημαντικές επιπτώσεις εκτός των ορίων
- Μαγγάνιο – ελέγχει σε κάποιο βαθμό την αρνητική επίδραση του σιδήρου
- Νικέλιο – επιζήμιο για το βαθμό απόδοσης
- Χαλκός – επιζήμιος για το βαθμό απόδοσης
- Σίδηρος – επιζήμιος για το βαθμό απόδοσης, αλλά μπορεί να ελεγχθεί σε κάποιο βαθμό από μεγαλύτερες ποσότητες μαγγανίου
- Πυρίτιο – επιζήμιο σε ποσοστό άνω του 0,1 τοις εκατό
- Ψευδάργυρος – ελαφρά επιζήμιος σε μεγαλύτερες ποσότητες
- Άλλα μέταλλα (μόλυβδος, κασσίτερος, βηρύλλιο) – μικρές προσμίξεις δεν επηρεάζουν σημαντικά το βαθμό απόδοσης της ανόδου στις ποσότητες που

βρίσκονται συνήθως, αλλά μπορεί να είναι επιζήμια πάνω από τα όρια αυτά.



Εικόνα 7. Άνοδοι Μαγνησίου. *Provided by Larus S.A.*

Το μεγάλο πλεονέκτημά της χρήσης ανόδων μαγνησίου **Εικόνα 7** είναι ότι έχουν υψηλότερο ηλεκτρικό δυναμικό σε σχέση με τις άλλες ανόδους. Το κράμα υψηλής καθαρότητας έχει το μεγαλύτερο δυναμικό που μπορεί να υπάρξει, περίπου $-1,75$ V αναφερόμενο σε ηλεκτρόδιο χαλκού / θεικού χαλκού στο έδαφος, ενώ το πρότυπο κράμα έχει περίπου $-1,55$ V. Βασικό μειονέκτημα είναι ο χαμηλός βαθμός απόδοσης, όπου και για τα δύο κράματα είναι 50%. Επίσης, οι άνοδοι μαγνησίου λόγω των αρκετά αρνητικών δυναμικών που παράγουν, μπορεί να προκαλέσουν φθορά στα χρώματα της επιφανείας και γι' αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή σε ορισμένες εφαρμογές. Αποκλίσεις από αυτές τις τιμές έχουν σαν αποτέλεσμα την παθητικοποίηση των ανόδων και την υπερβολική αύξηση του ρυθμού κατανάλωσής τους. Τέλος είναι σημαντικό η αντικατάσταση των ανόδων που έχουν καταναλωθεί να γίνεται από ανόδους του ίδιου τύπου και μεγέθους, όπως εκείνες που έχουν εγκατασταθεί αρχικά, εκτός εάν αντικαθίσταται ολόκληρο το σύστημα ανόδου. Άνοδοι διαφορετικού τύπου θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ανεπαρκή προστασία. (ABS, 2017)

Άνοδοι Ψευδαργύρου

Η ποσότητα των ανόδων σε μια δεξαμενή υπολογίζεται ότι διαρκεί 5 χρόνια. Ο ψευδάργυρος ήταν το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την προστασία χαλύβδινων κατασκευών. Άνοδοι με βάση το ψευδάργυρο χρησιμοποιούνται ευρέως για εφαρμογές στα πλοία, χρησιμοποιούνται επίσης για υπεράκτιες δομές, αλλά η υψηλότερη πυκνότητα τους μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμούς βάρους. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα κραμάτων ψευδαργύρου διαθέσιμο. Οι διαφορετικές συνθέσεις έχουν σαν στόχο να βελτιστοποιήσουν συγκεκριμένες

ιδιότητες. Καθαρός ψευδάργυρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο αν η περιεκτικότητα σε προσμίξεις σιδήρου είναι μικρότερη από 0,0014%. Ωστόσο, με την προσθήκη αλουμινίου το επίπεδο προσμείξεων σιδήρου μπορεί να αυξηθεί ελαφρά. Ως πλεονέκτημα των ανόδων ψευδαργύρου θεωρείται ο καλός βαθμός απόδοσής τους, που είναι περίπου 90%. Το ηλεκτρικό δυναμικό τους είναι περίπου -1.00 V αναφερόμενο σε ηλεκτρόδιο Ag/AgCl/θαλασσινό νερό. Σε ορισμένα γλυκά νερά σε θερμοκρασίες άνω των 40 °C το δυναμικό μπορεί να μειωθεί, και ως εκ τούτου ο ψευδάργυρος δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε αυτές τις περιπτώσεις. Τέλος, όπως και στην περίπτωση των ανόδων μαγνησίου, η αντικατάσταση των ανόδων πρέπει να γίνεται από ανόδους του ίδιου τύπου, εκτός εάν αντικαθίσταται ολόκληρο το σύστημα. (ABS, 2017)

Άνοδοι Αλουμινίου

Ένα τρίτο μέταλλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως θυσιαζόμενη άνοδος είναι το αλουμίνιο. Οι άνοδοι αυτού του τύπου εξελίχθηκαν πιο πρόσφατα σε σχέση με τις ανόδους μαγνησίου και ψευδαργύρου. Στο καθαρό αλουμίνιο, σχηματίζεται επιφανειακό στρώμα από οξείδιο που εμποδίζει την ομοιόμορφη ροή του ρεύματος. Γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται ειδικά κράματα ως υλικά ανόδου.

Υπάρχουν τρεις γενικοί τύποι κραμάτων αλουμινίου που χρησιμοποιούνται ως άνοδοι. Το ηλεκτρικό δυναμικό των ανόδων αλουμινίου είναι περίπου -1,10 V αναφερόμενο σε ηλεκτρόδιο Ag/AgCl/θαλασσινό νερό. Ο βαθμός απόδοσης τους είναι αρκετά καλός, περίπου 80%. Η χωρητικότητα για όλα τα κράματα με βάση το αλουμίνιο θα είναι σημαντικά χαμηλότερη σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

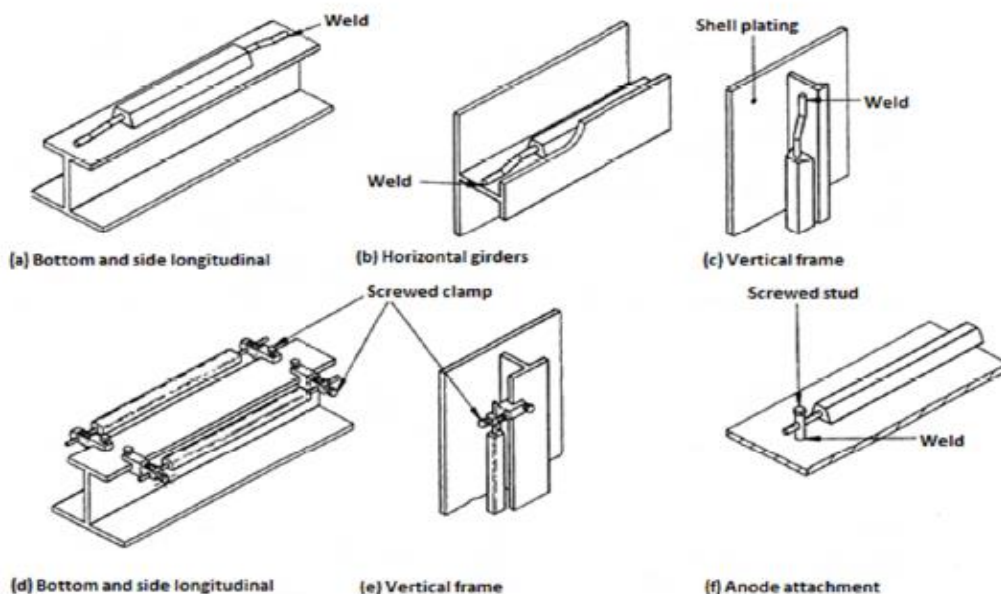
Για την επίτευξη επαρκούς προστασίας, η ποσότητα και η θέση των θυσιών ανόδου στη δεξαμενή έρματος είναι ζωτικής σημασίας. Ωστόσο, όταν πρόκειται για τα αποτελέσματά τους σε δεξαμενές έρματος, τα ανόδια λειτουργούν στην καλύτερη περίπτωση μόνο το ήμισυ του χρόνου, όταν η δεξαμενή έρματος είναι γεμάτη. Οι θυσιαζόμενες άνοδοι λειτουργούν μόνο όταν βυθίζονται σε ηλεκτρολύτη για τουλάχιστον 24 ώρες. Ενώ, χρειάζεται ακόμη και λίγες μέρες για ένα ανόδιο για την παροχή του απαραίτητου προστατευτικού ρεύματος.

Επομένως, η καθοδική προστασία μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε δεξαμενές έρματος, υπό την προϋπόθεση ότι οι δεξαμενές βυθίζονται για το 25% της διάρκειας του ταξιδιού. Κατά συνέπεια, σε μικρότερα επίπεδα έρματος, τα ανόδια δεν δίνουν αποτέλεσμα. (MGDuff, 2009)

Επιπλέον, το εύρος λειτουργίας ενός ανόδου περιορίζεται από τα εμπόδια στη δεξαμενή. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε διαμέρισμα πρέπει να παρέχεται ένα μικρό άνοδιο αντί των μεγάλων ανόδιων κάπου σε σημείο που είναι εύκολα προσβάσιμο **Εικόνα 8**. Οι περιοχές κοντά στην άνοδο θα λάβουν γενικά υψηλότερη πυκνότητα ρεύματος σε σύγκριση με απομακρυσμένες θέσεις στην επιφάνεια. Περιοχές κοντά στην άνοδο θα μπορούσαν επίσης να «συλλέξουν» λιγότερο ρεύμα εάν υπάρχουν εμπόδια στην τρέχουσα διαδρομή μεταξύ αυτών των τοποθεσιών και της ανόδου. (<http://corrosiontest.its.manchester.ac.uk/lecturenotes/JDS>).

Επιπλέον, η ποσότητα των ανόδιων θα πρέπει να εξελίσσεται σε χρόνο και σε συνάρτηση με την κατάσταση της επικάλυψης **Εικόνα 9 & Εικόνα 10**. Μια ανέπαφη επίστρωση απαιτεί πολύ λίγη καθοδική προστασία, ενώ μια επίστρωση σε κακή κατάσταση απαιτεί πολλές θυσίες ανόδου. Οι σύγχρονες επικαλύψεις δεν είναι απαλλαγμένες από τα αποτελέσματα της καθοδικής προστασίας. Πάρα πολλές άνοδοι μπορούν να προκαλέσουν πρόωρη υποβάθμιση της επικάλυψης, αστοχία βαφής και επιχρίσματα που διαχωρίζονται με μια διαδικασία που ονομάζεται καθοδική διάλυση (<http://www.amteccorrosion.co.uk/cathodic.html>).

Τέλος, η προστασία είναι αποτελεσματική μόνο όταν το ρεύμα που παρέχεται από τις θυσίες ανόδου καταναλώνεται από την προστατευμένη χαλύβδινη πλάκα. Εάν υπάρχει δυσαναλογία η κάθοδος προστατεύεται ή δεν προστατεύεται επαρκώς και θα συνεχιστεί η διάβρωση ή η χαλύβδινη πλάκα είναι υπερβολικά προστατευμένη και αυτό μπορεί να προκαλέσει ζημιά στην επικάλυψη.



Εικόνα 8. Τυπικές θυσιαζόμενες άνοδοι και ρυθμίσεις για την εγκατάστασή τους στο

εσωτερικό δεξαμενών. [DNV/GL 20. Corrosion protection of ships](#)



Εικόνα 9. Βιδωτή θυσιαζόμενη άνοδος σε εσωτερικό δεξαμενής. [Provided by Larus S.A.](#)



Εικόνα 10. Θυσιαζόμενες άνοδοι στον πυθμένα δεξαμενής. [Provided by Larus S.A.](#)

Συνοψίζοντας, αν επιλέξουμε να εφαρμόσουμε ανόδους σε μία δεξαμενή έρματος θα πρέπει να γίνει με τον σωστό τρόπο ή καθόλου. Το ζήτημα εδώ είναι εάν θα επιβάλουν ή όχι την

κατάλληλη καθοδική προστασία. Ένας τρόπος επιβολής μιας σωστής εφαρμογής και ενός συστήματος παρακολούθησης είναι η παροχή οδηγιών και ενός μηχανισμού ελέγχου, παρόμοιου με αυτό που προδιαγράφεται στο πρότυπο απόδοσης του IMO για προστατευτικές επιστρώσεις (PSPC) και για το οποίο θα γίνει εκτενής παρουσίαση στην συνέχεια της διπλωματικής εργασίας. (AMTEC, 2008)

6.2. Επικαλύψεις δεξαμενών

Ένας συνδυασμός καθοδικής προστασίας και βαφής μπορεί να παρέχει την πλέον ικανοποιητική μέθοδο προστασίας για τους εσωτερικούς χώρους μιας δεξαμενής, υπό την προϋπόθεση ότι η βαφή θα είναι συμβατή με το φορτίο και οποιοδήποτε αδρανές αέριο ενδέχεται να χρησιμοποιηθεί και θα είναι επαρκώς ανθεκτική στα αλκάλια. Ειδικότερα, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί σε έναν τέτοιο συνδυασμό, στα μέρη των δεξαμενών που μπορεί να είναι δύσκολο να προστατευθούν με καθοδική προστασία ή ενδέχεται να υποστούν υπερβολική διάβρωση κατά τη διάρκεια των περιόδων όπου οι δεξαμενές είναι άδειες ή περιέχουν μόνο φορτίο. Κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων μικρές ποσότητες από λιμνάζοντα νερά μπορεί, για παράδειγμα, να βρίσκονται στο πυθμένα της δεξαμενής και σε άλλα οριζόντια δομικά στοιχεία και ενδεχομένως να προκαλέσουν τοπική διάβρωση. (ABS, 2017)

Διάβρωση των μεταλλικών κατασκευών μπορεί να πραγματοποιηθεί στην είσοδο των δεξαμενών ιδιαίτερα αν αυτές αποτελούν την οροφή της δεξαμενής έρματος που εκτίθεται στην ατμόσφαιρα, όπου οι καταπονήσεις και οι μεταβολές της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερες απ' ότι αλλού. Αυτή η διάβρωση μπορεί να είναι σημαντική αλλά και δύσκολο να αποφευχθεί με καθοδική προστασία. Η προστασία τέτοιων περιοχών, αποκλειστικά με καθοδική προστασία είναι επαρκής εφόσον:

- α) το νερό έρματος διατηρείται στο επίπεδο του καταστρώματος, και
- β) κατά τη διάρκεια των περιόδων χωρίς νερό έρματος η θερμοκρασία του καταστρώματος διατηρείται αρκετά χαμηλά και η διακύμανσή της βρίσκεται στο ελάχιστο σημείο μέσω μονωτικών υλικών ή, λιγότερο αποτελεσματικά, μέσω ανοιχτόχρωμου θερμοανакλαστικού χρώματος στο κατάστρωμα.

Δεδομένου ότι οι προϋποθέσεις αυτές είναι συνήθως δύσκολο να επιτευχθούν στην πράξη, μια πιο ικανοποιητική λύση είναι να επικαλύψουμε τη δομή ακριβώς κάτω από το κατάστρωμα και να παρέχουμε καθοδική προστασία στις υπόλοιπες επιφάνειες. Οι επιφάνειες που πρόκειται να προστατευθούν θα πρέπει να είναι η συνολική επιφάνεια των τοιχωμάτων της δεξαμενής, συμπεριλαμβανομένων των δοκών και των σωλήνων. Το τμήμα πάνω από 1,5 m στα πλευρικά τοιχώματα και τα καλύμματα θα πρέπει να καλύπτεται με μια επίστρωση αναγνωρισμένης ποιότητας για την προστασία κατά της διάβρωσης. Οι οριζόντιες επιφάνειες πρέπει να επικαλυφθούν, διότι συχνά υπάρχει νερό που λιμνάζει στις δεξαμενές έρματος ή ακόμα και μείγματα νερού-πετρελαίου στις δεξαμενές αργού πετρελαίου όταν τα πλοία ταξιδεύουν άδεια και αυτά τα υγρά μπορεί να προκαλέσουν σοβαρή διάβρωση. Στο κάτω μέρος της δεξαμενής, μέχρι περίπου 1,5 m από τη βάση, επιλέγεται ένας συνδυασμός επικάλυψης και καθοδικής προστασίας με ειδικές ανόδους. Βασικά οι άνοδοι θα μπορούσαν να εξασφαλίσουν την αποκλειστική προστασία στον τομέα αυτό αλλά όταν οι δεξαμενές έρματος ή δεξαμενές αργού πετρελαίου είναι κενές δεν εμποδίζουν τη διάβρωση. (ABS,2017)

Οι επικαλύψεις για τις δεξαμενές θα πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να μπορούν να αντέξουν τις ιδιαίτερες συνθήκες. Τα σύγχρονα συστήματα απαιτούν πολύ καλή προετοιμασία της επιφάνειας σε βαθμό Sa 2 1/2 σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8501-1, η οποία δεν μπορεί πάντα να επιτευχθεί στην πράξη, λόγω της ιδιαίτερης κατασκευής. Δεξαμενές για τη μεταφορά διαφόρων χημικών ουσιών δεν μπορούν συνήθως να προστατευτούν καθοδικά, λόγω του κινδύνου των μολυσματικών προσμειξών του φορτίου. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ποιότητα της επικάλυψης των δεξαμενών αυτών για να αποφευχθεί η μόλυνση από προϊόντα διάβρωσης. (ABS, 2017)

Οι επικαλύψεις μπορούν να προστατεύσουν τα μέταλλα από τη διάβρωση παρέχοντας ένα φράγμα μεταξύ του μετάλλου και του ηλεκτρολύτη, αποτρέποντας ή αναστέλλοντας τη διαδικασία διάβρωσης ή παρέχοντας σε ορισμένες περιπτώσεις μια συγκεκριμένη μορφή καθοδικής προστασίας. Η επιλογή του συστήματος επικάλυψης, καθώς και η επιλογή της διαδικασίας εφαρμογής του είναι εξαιρετικά σημαντικές, καθώς επηρεάζουν την απόδοση της ίδιας της επικάλυψης και κατά συνέπεια τη διάρκεια ζωής της χαλύβδινης κατασκευής. Κατά μέσο όρο, έχει παρατηρηθεί ότι το σύστημα επικάλυψης παραμένει άθικτο για περίπου 5 χρόνια και ότι στη συνέχεια το μέταλλο υποβαθμίζεται. (ABS, 2017)

Κατά την επιθεώρηση μερικές φορές παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές μεταξύ δεξαμεμών περίπου της ίδιας ηλικίας που χρησιμοποιούν το ίδιο σύστημα επίστρωσης.

Οι παρακάτω **Εικόνα 11** μας δείχνει τις δεξαμεμές έρματος δύο πλοίων με την ίδια ηλικία 13 ετών. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, και τα δύο πλοία ήταν επικαλυμμένα με εποξικό σύστημα, αλλά η διαδικασία εφαρμογής του πλοίου της πρώτης φωτογραφίας έγινε σωστά, ενώ στη δεύτερη φωτογραφία ήταν σαφώς λάθος. Οι φωτογραφίες αποδεικνύουν ξεκάθαρα τη σημασία της σωστής διαδικασίας επιλογή επιχρίσματος και εφαρμογής του (προετοιμασία επιφάνειας και εφαρμογή συστήματος βαφής). (ABS, 2017)



Εικόνα 11. Κατάσταση διάβρωσης δεξαμεμών έρματος πλοίων με την ίδια ηλικία.

[IACS Recommendation 87](#)

Εάν η προστατευτική επίστρωση εφαρμόζεται σωστά και εκτελείται ένα κατάλληλο πρόγραμμα συντήρησης, μπορούμε να ελέγξουμε τη διαδικασία διάβρωσης των επιφανειών της δεξαμεμής έρματος για ολόκληρη τη ζωή του πλοίου, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 12**.



Εικόνα 12. Κατάσταση διάβρωσης δεξαμεμών έρματος στο πέρας του χρόνου.

[IACS Recommendation 87](#)

6.3. Προετοιμασία Επιφανειών

Η καλή προετοιμασία επιφάνειας μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το πιο σημαντικό μέρος ολόκληρης της διαδικασίας επικάλυψης. Το μεγαλύτερο ποσοστό αστοχιών της επικάλυψης μπορεί να αποδοθεί στην κακή προετοιμασία της επιφάνειας. Όλα τα συστήματα βαφής θα αποτύχουν πρόωρα, εκτός εάν η επιφάνεια έχει προετοιμαστεί σωστά για να λάβει την επικάλυψη. Επιμολύνσεις όπως χαλαρή σκουριά, το λάδι, το λίπος, η βρωμιά, τα άλατα, τα χημικά, η σκόνη και οι οσμητικές φουσκάλες μπορούν να συμβάλλουν στην πρόωρη βλάβη της επίστρωσης. Γενικά, κανένα σύστημα βαφής δεν μπορεί να εξασφαλίσει βέλτιστη απόδοση σε μια ανεπαρκώς προετοιμασμένη επιφάνεια. (ABS, 2017)

Καθαρισμός επιφάνειας

Ο βαθμός στον οποίο μια επιφάνεια καθαρίζεται πριν από την εφαρμογή της επίστρωσης, είναι μια ισορροπία μεταξύ της αναμενόμενης απόδοσης της επικάλυψης, των συστάσεων του κατασκευαστή βαφής, του διαθέσιμου χρόνου για τη δουλειά, του σχετικού κόστους των διαφόρων διαθέσιμων μεθόδων προετοιμασίας επιφάνειας, πρόσβασης στην περιοχή που πρόκειται να προετοιμαστεί και την κατάσταση του χάλυβα πριν από την προετοιμασία της επιφάνειας. Γενικά, οι επικαλύψεις δεν μπορούν να εφαρμοστούν υπό ιδανικές συνθήκες, ειδικά υπό συνθήκες επισκευής και συντήρησης. (ABS, 2017)

Η ποιότητα της καθαριότητας της επιφάνειας που επιτυγχάνεται (ή είναι δυνατόν να επιτευχθεί) θα είναι πολύ διαφορετική για μια μη διαβρωμένη χαλύβδινη πλάκα υψηλής ποιότητας σε ένα νεότευκτο πλοίο σε σύγκριση με τον χάλυβα σε ένα πλοίο σε λειτουργία για δέκα χρόνια, με κακή πρόσφυση και σκουριές.

Οποιαδήποτε ουσία που εμποδίζει την επίστρωση να προσκολληθεί απευθείας στον χάλυβα μπορεί να θεωρηθεί επιμολύνση. Οι κυριότεροι ρύποι σε μία νέα κατασκευή πλοίου περιλαμβάνουν:

- Υγρασία ή νερό
- Λάδι και γράσο

- Αλάτι και άλλα ιοντικά είδη από τις κοντινές θαλάσσιες και τις γειτονικές βιομηχανικές περιοχές του ναυπηγείου.
- Άλατα ψευδαργύρου από ξεπερασμένα αστάρια καταστημάτων πυριτικού ψευδαργύρου)
- Διασκορπισμός συγκολλήσεων
- Αναθυμιάσεις συγκόλλησης
- Κοπή καπνού
- Κάψιμο από τη συγκόλληση στην πίσω πλευρά του χάλυβα
- Σκόνη και βρωμιά από το ναυπηγείο και από γειτονικές βιομηχανικές διεργασίες

Σε καταστάσεις συντήρησης και επισκευής, πρέπει να ληφθεί υπόψη, ιδιαίτερα εάν πραγματοποιείται μόνο τοπική προετοιμασία της επιφάνειας των περιοχών που έχουν πληγεί περισσότερο, πριν από την επίστρωση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ανακαίνιση του εξωτερικού κύτους, επισκευές δεξαμενών έρματος νερού και επιστρώσεων επένδυσης δεξαμενής φορτίου. (ABS, 2017)

Καθαρισμός και προετοιμασία επιφάνειας στις δεξαμενές έρματος

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες μέθοδοι για τον καθαρισμό και την προετοιμασία χαλύβδινων επιφανειών πριν από τη βαφή. Η επιλογή της μεθόδου παρασκευής θα εξαρτηθεί από τις περιοχές του σκάφους που πρόκειται να προετοιμαστεί και τον διαθέσιμο εξοπλισμό. Οι δεξαμενές έρματος νερού μπορούν να προετοιμαστούν για επίστρωση με ψηγματοβολή (abrasive blasting) σύμφωνα με συγκεκριμένο πρότυπο όπως το ISO Sa 2.5, ή (sweep blasting) που ισοδυναμεί με μια ελαφριά ανατίναξη που δεν αφαιρεί το άθικτο αστάρι ή με ηλεκτρικά εργαλεία. (ABS, 2017)

Μία από τις κύριες αιτίες εμφάνισης φυσαλίδων επικάλυψης είναι η παρουσία διατηρημένου διαλυτού υλικού, όπως το αλάτι, σε μεταλλικές επιφάνειες πριν από τη βαφή. Για ορισμένους τύπους χρωμάτων, όπως χημικές, επικαλύψεις δεξαμενών φορτίου και έρματος, το επίπεδο των διαλυτών αλάτων που υπάρχει είναι ζωτικής σημασίας για τη μακροπρόθεσμη απόδοση της επικάλυψης. Οι κατασκευαστές χρωμάτων καθορίζουν το μέγιστο επίπεδο διαλυτών αλάτων που μπορεί να υπάρχει στην επιφάνεια πριν από την εφαρμογή της επίστρωσης και αυτά διαφέρουν ανάλογα με το χρώμα και το περιβάλλον λειτουργίας του. (ABS, 2017)

6.4. Συστήματα βαφής

Ένα σύστημα βαφής σχηματίζεται από ένα ή περισσότερα στρώματα χρώματος, καθένα από τα οποία εφαρμόζεται σε καθορισμένο πάχος φιλμ. Αυτή η ακολουθία στρώσεων, που ονομάζεται σύστημα βαφής, παρέχει έλεγχο διάβρωσης μέσω ενός ή περισσότερων από τους ακόλουθους μηχανισμούς: (Panos Zachariadis, 2007)

A. προστασία - παροχή μονωτικού φράγματος μεταξύ ηλεκτρολύτη και μετάλλου

B. χημική αναστολή της αντίδρασης διάβρωσης

Γ. καθοδική προστασία όταν εφαρμόζεται ένα στρώμα αστάρι εμπλουτισμένο σε ψευδάργυρο, που λειτουργεί ως θυσιαζόμενη άνοδος

Το σύστημα βαφής είναι η λογική και οργανική ακολουθία διαδοχικών στρώσεων χρώματος. Μπορεί να αναπαρασταθεί σε σχηματική γενική μορφή ως: Primer (Αστάρι) – Undercoat (Υπόστρωμα) – Finishing (Φινίρισμα).

Primer (Αστάρι)

Είναι η πρώτη στρώση του συστήματος βαφής. Έχει πολύ σημαντική λειτουργία, καθώς διασφαλίζει την πρόσφυση ολόκληρου του συστήματος και μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη αντιδιαβρωτική προστασία. Πρέπει να εφαρμόζεται μετά από κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας. Το αστάρι πρέπει να επικαλυφθεί σύμφωνα με τις οδηγίες που συνιστά ο κατασκευαστής του χρώματος.

Undercoat (Υπόστρωμα)

Χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του ασταριού με το φινίρισμα και για να αυξηθεί το συνολικό πάχος του συστήματος βαφής, όπως συστήνεται ανάλογα με το προστατευόμενο υλικό και τη θέση του (π.χ. κάτω μέρος, πάνω μέρος της δεξαμενής, κ.λπ.).

Finishing (Φινίρισμα)

Παρέχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στην περιοχή όπου εφαρμόζεται: αισθητική εμφάνιση για το πάνω μέρος και άλλες εκτεθειμένες περιοχές, αντιρρυπαντική προστασία για το κάτω μέρος. Στις δεξαμενές έρματος, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η πρόληψη της διάβρωσης, η ίδια βαφή εφαρμόζεται γενικά σε περισσότερες στρώσεις, παρέχοντας περισσότερες ιδιότητες ταυτόχρονα. Στη συνέχεια, διευκρινίζονται ορισμένοι χρήσιμοι όροι:

Σκληρές επικαλύψεις

Το παράρτημα του ψηφίσματος A.798 (19) του IMO στο σημείο 2.6 ορίζει τις σκληρές Επικαλύψεις ως "... μια επικάλυψη που μετατρέπεται χημικά κατά τη διαδικασία σκλήρυνσής της, που συνήθως χρησιμοποιείται για νέες κατασκευές ή μη μετατρέψιμη επίστρωση ξήρανσης αέρα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς συντήρησης. Η σκληρή επίστρωση μπορεί να είναι είτε ανόργανη είτε οργανική." Όλα τα συμβατικά χρώματα περιλαμβάνονται σε αυτόν τον ορισμό, π.χ. εποξικό, πολυουρεθάνιο, πυριτικό ψευδάργυρο, βινύλιο κ.λπ. (Panos Zachariadis, 2007)

Οι σκληρές επικαλύψεις για δεξαμενές έρματος μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με ένα αναγνωρισμένο πρότυπο, όπως για παράδειγμα, B1 όπως περιγράφεται στη δημοσίευση TSCF "Οδηγίες για συστήματα επικάλυψης δεξαμενών έρματος και προετοιμασία επιφάνειας", 2002, Προσάρτημα (3).

Ημισκληρές επικαλύψεις

Είναι επιχρίσματα που μετά το στέγνωμα παραμένουν εύκαμπτα και σκληρά αρκετά για να τα αγγίξουμε και να τα περπατήσουμε χωρίς να τα καταστρέψουμε και που δεν επηρεάζονται από τη διάβρωση του νερού κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων αφαίρεσης έρματος. (Panos Zachariadis, 2007)

Μαλακές επικαλύψεις

Είναι επιχρίσματα που δεν στεγνώνουν, αλλά παραμένουν μόνιμα μαλακά. Δεν συνιστώνται οι μαλακές επικαλύψεις. Όπου υπήρχαν Soft Coatings πρέπει να παρέχεται ασφαλής πρόσβαση στον επιθεωρητή για να επαληθεύσει την αποτελεσματικότητα της επικάλυψης και την εκτίμηση των συνθηκών των εσωτερικών κατασκευών που μπορεί να περιλαμβάνουν αφαίρεση κηλίδων της επικάλυψης. Όταν δεν είναι δυνατή η ασφαλής πρόσβαση, η μαλακή επίστρωση πρέπει να αφαιρεθεί. (Panos Zachariadis, 2007)

6.5. Αντιδιαβρωτικά Χρώματα

Υπάρχουν πολλά διαθέσιμα συστήματα βαφής για την προστασία των επιφανειών της δεξαμενής έρματος. Με λίγες εξαιρέσεις (όπως χρώματα κατά της ρύπανσης, επιβραδυντικά πυρκαγιάς κ.λπ.), η πλειονότητα των επιχρισμάτων που εφαρμόζονται στις δεξαμενές έρματος χρησιμοποιείται για αντιδιαβρωτική προστασία. Υπάρχουν πολλοί τύποι αντιδιαβρωτικών επιχρισμάτων, αλλά τα εποξικά χρώματα καλύπτουν γενικά τη μεγαλύτερη περιοχή σε ένα σκάφος, ιδιαίτερα όταν προορίζονται για δεξαμενές έρματος θαλάσσιου νερού.

Κάθε σύστημα βαφής που προτείνει ο κατασκευαστής χρωμάτων παρέχει έναν αριθμό των στρώσεων και ένα συγκεκριμένο πάχος του φιλμ. Τα τελευταία χρόνια γίνεται ιδιαίτερη συζήτηση σχετικά με την ορολογία που χρησιμοποιείται σχετικά με τις εποξικές επικαλύψεις και τα ακόλουθα συστήματα βαφής που χρησιμοποιούνται ευρύτερα στις δεξαμενές έρματος όπως φαίνεται στον **Πίνακα 3**. (ABS, 2017)

Πίνακας 3. Κύρια συστήματα βαφής για δεξαμενές έρματος. [ABS Guidance notes, 8.Anticorrosion paints](#)

PAINT SYSTEM	CHARACTERISTICS
PURE EPOXY	Two – Components Light Colour
MODIFIED EPOXY	Two – Components Light Colour
SOLVENT FREE EPOXY (100% Volume Solids)	Two – Components Light Colour
COAL TAR EPOXY	Dark Colour (Brown or Black) Two – Components

Καθαρές εποξικές επικαλύψεις (PURE EPOXY)

Αυτές οι εποξικές επικαλύψεις θεωρούνται ως χρώματα που αποτελούνται από εποξικά πολυμερή, παράγοντες σταυροδεσμών, χρωστικές, επεκτάσεις και διαλύτες. Οι επικαλύψεις αυτές περιέχουν υψηλά επίπεδα εποξικού συνδετικού υλικού και ως εκ τούτου αναμένεται να παρέχουν τη μέγιστη δυνατή απόδοση από μια επίστρωση όσον αφορά την αντιδιαβρωτική προστασία, τη μεγάλη διάρκεια ζωής και τη χαμηλή συντήρηση. Επιπλέον, ορισμένα προϊόντα έχουν επίσης ιδιότητες αντοχής στην τριβή. Άλλες χρωστικές όπως το αλουμίνιο μπορούν να προστεθούν σε καθαρές εποξικές επικαλύψεις για να προσφέρουν επιπλέον αντιδιαβρωτική απόδοση. Οι εποξικές φαινολικές επικαλύψεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δεξαμενές έρματος όπου απαιτείται υψηλό επίπεδο πρόσθετης αντίστασης φορτίου, όπως σε φορείς πετρελαιοειδών και χημικών. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην προετοιμασία της επιφάνειας. Η σκλήρυνση της επικάλυψης με θέρμανση των δεξαμενών μπορεί να είναι απαραίτητη. Οι κατασκευαστές επιστρώσεων παρέχουν συμβουλές σχετικά με τις ειδικές απαιτήσεις για κάθε δεξαμενή. (ABS, 2017)

Τροποποιημένες εποξικές επικαλύψεις (MODIFIED EPOXY)

Γνωστή και ως εποξική μαστίχα, εποξική χωρίς πίσσα, αυτή η ομάδα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα προϊόντων και έχει μεγάλη αντιδιαβρωτική απόδοση. Οι τροποποιημένες εποξικές βαφές μπορεί να είναι αποτελεσματικές. Ωστόσο, καθώς υπάρχουν πολλές πιθανές τροποποιημένες εποξικές συνθέσεις, δεν είναι δυνατόν να γίνουν γενικεύσεις σχετικά με την αντιδιαβρωτική τους απόδοση. Οι τροποποιημένες εποξικές βαφές μπορούν να περιέχουν μη εποξικά υλικά τα οποία είναι ικανά να διασυνδέονται με το τελικό φιλμ. Μπορούν επίσης να περιέχουν μη δραστικά υλικά, είτε στερεά είτε υγρά, τα οποία δεν συμμετέχουν στο σχηματισμό μεμβράνης, αλλά παραμένουν σαν χρωστικές ή επεκτάσεις στην τελική επικάλυψη. Εάν αυτά τα υλικά είναι διαλυτά στο νερό (ή φορτίο), μπορούν να διαρρεύσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα αφήνοντας ένα πορώδες ή εύθραυστο φιλμ με μειωμένες αντιδιαβρωτικές ιδιότητες. (ABS, 2017)

Εποξικές επικαλύψεις χωρίς διαλύτες SOLVENT FREE EPOXY (100% Volume Solids)

Τα χρώματα χωρίς διαλύτες (μερικές φορές αναφέρονται ως 100% σε στερεά), όπως υποδηλώνει το όνομα τους, διαμορφώνονται και εφαρμόζονται χωρίς να χρειάζονται πρόσθετοι διαλύτες. Το ιξώδες που απαιτείται για τον ψεκασμό του χρώματος λαμβάνεται από την επιλογή πρώτων υλών χαμηλού μοριακού βάρους ή με θέρμανση και χρήση συστημάτων πολλαπλών συστατικών. Οι τυπικές εφαρμογές τους αναφέρονται σε δεξαμενές έρματος και φορτίου. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται όταν η απομάκρυνση πτητικών οργανικών συστατικών (VOC) είναι δύσκολη λόγω του κακού αερισμού, αν και πρέπει να σημειωθεί ότι η περιεκτικότητα σε πτητικά οργανικά συστατικά (VOC) για συστήματα χωρίς διαλύτες δεν χρειάζεται να είναι απαραίτητα μηδενική. Οι τυπικές εφαρμογές για επιχρίσματα χωρίς διαλύτες περιλαμβάνουν το εσωτερικό της εργασίας σωλήνων, δεξαμενές και άλλους χώρους όπου δεν μπορεί να παρέχεται επαρκής αερισμός ή περιοχές όπου ισχύουν αυστηροί έλεγχοι σχετικά με τα πτητικά οργανικά συστατικά VOC. (ABS, 2017)

Εποξικές επικαλύψεις πίσσας (COAL TAR EPOXY)

Η πίσσα άνθρακα είναι ένα φυσικό προϊόν και διατίθενται σε ένα ευρύ φάσμα τύπων που περιλαμβάνει από υγρά έως στερεά υλικά. Η παρουσία πίσσας άνθρακα σε μια επίστρωση έχει ως αποτέλεσμα ένα πολύ σκούρο καφέ ή μαύρο χρώμα στην επίστρωση, το οποίο μπορεί να ελαφρυνθεί ελαφρώς με την προσθήκη χρωστικών νιφάδων αλουμινίου για επίτευξη ανοιχτόχρωμου χρώματος. Ωστόσο, τα εποξικά θα είναι αρκετά ανοιχτόχρωμα για να χρησιμοποιούνται σύμφωνα με το IMO PSPC 4.4. Ένα ανοιχτόχρωμο επίστρωμα εποξικής βάσης χωρίς πίσσα μπορεί να χρησιμοποιηθεί πάνω από μια πρώτη στρώση με βάση πίσσα. Ωστόσο, η πίσσα μπορεί να αποχρωματίσει το τελευταίο στρώμα. Έτσι, ορισμένα συστατικά της επικάλυψης μπορούν να αλλοιωθούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα, αφήνοντας μια πιο εύθραυστη και λιγότερο προστατευτική επίστρωση. Οι εποξικές βαφές από πίσσα άνθρακα έχουν μεγάλο ιστορικό σε λειτουργία και γενικά έχουν καλή απόδοση και σύσταση ως ανοιχτόχρωμα επιχρίσματα και με αυτό τον τρόπο βοηθούν και το κομμάτι των επιθεωρήσεων στις δεξαμενές έρματος. (ABS, 2017)

6.6. Βασική νομοθεσία για τις βαφές των δεξαμενών έρματος πλοίων - Κώδικας του IMO PSPC (RESOLUTION MSC.215(82))

Ο κύριος λόγος για τον οποίο εγκρίθηκε το PSPC ήταν η πρόληψη της απώλειας ζωής στη θάλασσα που οφείλεται σε απαράδεκτα υψηλά επίπεδα αστοχιών των σκαφών, οι οποίες οφείλονταν άμεσα στη διάβρωση. Η επιτροπή ναυτικής ασφάλειας (MSC) του IMO διαπίστωσε ότι οι επιδόσεις της επίστρωσης ήταν παγκόσμιας σημασίας για την ασφάλεια και την ακεραιότητα των πλοίων. Μετά από μακρά περίοδο τεχνικών συζητήσεων, εγκρίθηκε στις 5 Δεκεμβρίου 2006 το πρότυπο επιδόσεων του IMO για προστατευτικές επιστρώσεις (PSPC) για τα WBT και εγκρίθηκε τον Ιούλιο του 2008. Η απόφαση MSC.215(82) είναι πλέον υποχρεωτική για ειδικές δεξαμενές έρματος θαλάσσιου νερού σε όλους τους τύπους πλοίων άνω των 500 μικτών τόνων και διπλών τοιχωμάτων σε πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου μήκους άνω των 150 μέτρων. Ο πρωταρχικός στόχος του PSPC είναι να βελτιώσει τα πρότυπα των επιχρισμάτων WBT κατά τη διάρκεια της εφαρμογής σε νέα πλοία, για να επιτευχθεί μια 15-ετής διάρκεια ζωής στόχου για αυτές τις επικαλύψεις.

PSPC: Performance Standard for Protective Coatings for Dedicated Seawater Ballast Tanks in all Types of Ships and Double-Side Skin Spaces of Bulk Carriers, IMO 2006.

Με την ενσωμάτωση του IMO PSPC στη Διεθνή Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS), μέσω του κανονισμού Π-1/3-2, η σημασία της επικάλυψης WBT έχει αυξηθεί σε παρόμοιο επίπεδο σημασίας για τον υποχρεωτικό εξοπλισμό ασφάλειας όπως οι σωσίβιες λέμβοι των πλοίων. Η Σύμβαση SOLAS, με τις διαδοχικές της μορφές, θεωρείται γενικά ως η σημαντικότερη από όλες τις διεθνείς συνθήκες που αφορούν την ασφάλεια των εμπορικών πλοίων. Υιοθετήθηκε για πρώτη φορά το 1914 ως απάντηση στην απώλεια του Τιτανικού. Ακολούθησε η δεύτερη Συνέλευση το 1929, η τρίτη το 1948 και η τέταρτη το 1960 (SOLAS 2004).

Η επίπτωση για τις «νέες κατασκευές» είναι ότι η επίστρωση των δεξαμενών WBT πρέπει να εφαρμόζεται σύμφωνα με τους κανονισμούς PSPC του IMO. Δεδομένου ότι ένα πλοίο δεν μπορεί να πλεύσει χωρίς να πληροί τις απαιτήσεις της σύμβασης SOLAS. Στην περίπτωση των πλοίων μεταφοράς φορτίου χύδην, η PSPC του IMO ενσωματώθηκε στους κοινούς διαρθρωτικούς κανόνες (CSR) του IACS. Οι μεταγενέστερες συζητήσεις μεταξύ του IACS οδήγησαν στην κατάργηση της απαίτησης του PSPC από την CSR, και έτσι τώρα παραμένει αποκλειστικά υπό τους κανονισμούς της SOLAS.

Κατά την 47η σύνοδο της επιτροπής σχεδιασμού και εξοπλισμού (DE) του IMO, η ομάδα εργασίας για την ασφάλεια των πλοίων μεταφοράς φορτίου χύδην ολοκλήρωσε το σχέδιο κεφαλαίου XII της σύμβασης SOLAS (για πρόσθετα μέτρα ασφάλειας για τα πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην). Η έκθεση εστάλη εγκαίρως στο MSC για την 78η σύνοδό του το Μάη του 2005. Κατά την 79η σύνοδο τον Δεκέμβριο του 2004, εγκρίθηκε νέο κείμενο για το κεφάλαιο XII της σύμβασης SOLAS, το οποίο περιλαμβάνει αναθεωρήσεις ορισμένων κανονισμών και νέες απαιτήσεις σχετικά με τα πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην διπλών τοιχωμάτων. Εκτός από τη δήλωση ότι τα δομικά σχέδια πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη διαδικασία επίστρωσης μειώνοντας την πολυπλοκότητα, όπως σημειώνεται στην εισαγωγή, η PSPC του IMO καθορίζει ένα αρκετά συγκεκριμένο πλαίσιο όσον αφορά την επιλογή των επιχρισμάτων για τις δεξαμενές έρματος και την εφαρμογή τους. Σε γενικές γραμμές, το PSPC ορίζει κάποιες βασικές απαιτήσεις για την επίστρωση:

- Δοκιμή έγκρισης για τον τύπο της επίστρωσης.
- Την ανάγκη για τριμερή συμφωνία μεταξύ των ιδιοκτητών, των κατασκευαστών και των εταιρειών χρωμάτων.
- Διαδικασίες προετοιμασίας επιφανειών
- Διαδικασίες υποβολής αιτήσεων
- Συλλογή και αναφορά δεδομένων σε τεχνικό φάκελο επίχρισης (CTF).
- Ανάγκες και διαδικασίες επιθεώρησης.

Το PSPC αναφέρει ότι, κατά την επιλογή ενός συστήματος επίχρισης, τα εμπλεκόμενα μέρη πρέπει να λαμβάνουν υπόψη συνθήκες υπηρεσίας και προγραμματισμένες διαδικασίες συντήρησης, σχετικές με διάφορους τύπους σκαφών. Πτυχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη περιλαμβάνουν τη θέση του χώρου σε σχέση με θερμαινόμενες επιφάνειες, όπως το μαζούτ ή δεξαμενές φορτίου. Εκτός από τους κύκλους στραγγαλισμού (ballasting cycles), κατά την επιλογή ενός συστήματος επίστρωσης, καθώς και τις επιπτώσεις των συστημάτων διαχείρισης του έρματος (BWTS), πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη η συμπερίληψη συμπληρωματικών συστημάτων καθοδικής προστασίας. Για να λάβει έγκριση η επικάλυψη πρέπει να περάσει τις διαδικασίες δοκιμής όπως ορίζεται στο παράρτημα 1 της PSPC. Συστήματα εποξικής βάσης που έχουν δοκιμαστεί πριν από την έναρξη ισχύος του κανονισμού μπορούν να εγκριθούν αν υπάρχουν στοιχεία έκθεσης στο πεδίο που δείχνουν ότι οι επικαλύψεις παρέμειναν σε «ΚΑΛΗ» κατάσταση για τουλάχιστον 5 έτη.

Το PSPC καθορίζει επίσης τα πρότυπα για την προετοιμασία τόσο της πρωτογενούς όσο και της δευτερογενούς επιφάνειας. Η πρωτογενής προετοιμασία επιφανειών βασίζεται στο Σουηδικό πρότυπο "Sa 2 ½» (ISO, 8501). Αυτό το πρότυπο απαιτεί έναν πολύ διεξοδικό καθαρισμό της επιφάνειας που όταν παρατηρείται χωρίς μεγέθυνση πρέπει να είναι απαλλαγμένη από λάδι, λίπος, βρωμιά, σκουριά, επίστρωση βαφής ή οποιαδήποτε άλλη ξένη ύλη. Αυτό το πρότυπο ανατίναξης θα πρέπει να παρέχει προφίλ επιφάνειας μεταξύ 30-75 μm. Η δευτερογενής προετοιμασία της επιφάνειας θα πρέπει επίσης να είναι σύμφωνη με το πρότυπο "Sa 2 ½" σε περιοχές κατεστραμμένου ασταριού και σε μορφή ραφών συγκόλλησης. Για το αστάρι που δεν έχει υποβληθεί επιτυχώς σε δοκιμή, απαιτείται η προετοιμασία της επιφάνειας « Sa 2 », με αφαίρεση τουλάχιστον του 70% οποιουδήποτε ασταριού. Δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανατίναξη ή η επίστρωση της επιφάνειας όταν η σχετική υγρασία είναι μεγαλύτερη από 85% ή η θερμοκρασία της επιφάνειας του υποστρώματος είναι μικρότερη από 3°C πάνω από το σημείο τήξης. Το όριο υδατοδιαλυτού άλατος, ισοδύναμο με το NaCl, ορίζεται σε 50mg/m² και το αστάρι θα πρέπει να είναι ένα προϊόν με βάση τον ψευδάργυρο που περιέχει πυριτικό ψευδάργυρο χωρίς αναστολέα ή ισοδύναμο. Η συμβατότητα του ασταριού με το κύριο σύστημα επικάλυψης πρέπει να επιβεβαιωθεί από τον κατασκευαστή της επικάλυψης.

Επίσης, η προδιαγραφή εργασίας ορίζει ότι πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο στρώσεις στις άκρες και τις συγκολλημένες ραφές συν ένα σύστημα πολλαπλών στρώσεων για το υπόλοιπο της δομής. Το συνολικό ονομαστικό πάχος ξηρής μεμβράνης (NDFT) ορίζεται ως 320μm και τα στρώματα πρέπει να προετοιμαστούν κατάλληλα πριν από την εφαρμογή της επόμενης στρώσης. Το μετρημένο πάχος ξηρού φιλμ πρέπει να πληροί τον κανόνα «90- 10», δηλαδή το 90% των μετρήσεων πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με 320 μm και το υπόλοιπο 10% μεγαλύτερο από 288 μm.

Για να συμμορφωθεί με τους κανονισμούς, ο κατασκευαστής (ναυπηγείο) θα πρέπει να προετοιμάσει και να παραδώσει μια CTF σε σχέση με ολόκληρη τη διαδικασία επίστρωσης των WBT. Οι κατασκευαστές επίχρισης απαιτείται να παρέχουν τεχνική βοήθεια και τεκμηρίωση σχετικά με την ικανοποιητική απόδοση των προϊόντων τους, και να προσφέρουν επαρκή τεχνική υποστήριξη. Οι πλοιοκτήτες πρέπει να παρέχουν τον αριθμό και την τοποθεσία των WBT. Ο κατασκευαστής (ναυπηγείο) θα πρέπει να παρέχει πληροφορίες για τα πρότυπα προετοιμασίας της επιφάνειας και τη διαδικασία εφαρμογής βαφής μαζί με τις διαδικασίες επισκευής και ένα πρόγραμμα επιθεώρησης. Όλες αυτές οι πληροφορίες συμφωνούνται κατόπιν αντιπαραβάλλονται και υποβάλλονται στον Νηογνώμονα για έγκριση. Το έγγραφο CFT απαιτείται για κάθε νέο πλοίο να λειτουργεί ως «αρχείο κατασκευής». Τα αρχεία επιθεώρησης πρέπει επίσης να περιλαμβάνονται στο παρόν έγγραφο και χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση της τρέχουσας συντήρησης των επιχρισμάτων WBT.

Πρόσφατα δημοσιεύθηκε μια σειρά κατευθυντήριων γραμμών από τον IMO (IMO, 2009) για να βοηθήσει τα ενδιαφερόμενα μέρη με τη διαδικασία συντήρησης και επισκευής προστατευτικών επιχρισμάτων. Οι κατευθυντήριες γραμμές παρέχουν επίσης περαιτέρω ορισμό των τριών όρων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ποιότητας μιας επικάλυψης, δηλαδή των όρων « Καλή », « Μέτρια » και « Κακή ». Κάνουν επίσης διάκριση μεταξύ συντήρησης επίχρισης, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί από το προσωπικό του πλοίου και επισκευής η οποία θα πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια προγραμματισμένης περιόδου επισκευής (δεξαμενισμό). Κατά συνέπεια, το PSPC είναι πολύ σαφές ως προς τον τρόπο προετοιμασίας, καθαρισμού, βαφής και επιθεώρησης του υποστρώματος χάλυβα. Για να υπάρξει συμμόρφωση με τους κανονισμούς υπάρχει μεγάλη ζήτηση για την καταγραφή

πληροφοριών ως μέρος της διαδικασίας επιθεώρησης. Σε συνδυασμό με αυτό, απαιτείται ένα κατάλληλο σύστημα διαχείρισης πληροφοριών για την κατάρτιση του CTF.

Συμπερασματικά, η προετοιμασία της επιφάνειας, είναι χωρίς αμφιβολία το πιο κρίσιμο στοιχείο. Η επιτυχής απόδοση μιας επίστρωσης δεξαμενής έρματος σε λειτουργία εξαρτάται όχι μόνο από τη σωστή επιλογή του επιχρίσματος, αλλά επίσης και κυρίως από τις διαδικασίες που υιοθετήθηκαν για την προετοιμασία της επιφάνειας και την εφαρμογή βαφής. Τα κρίσιμα στοιχεία είναι μεταξύ άλλων, η τραχύτητα επιφάνειας, η στρογγυλοποίηση των άκρων, η απομάκρυνση λιπών και αλάτων, η αφαίρεση της σκόνης, επιστρώσεων λωρίδων, πάχους ξηρού υμενίου, ελέγχου θερμοκρασίας και υγρασίας και ένα σωστό διάστημα μεταξύ των διαδοχικών επικαλύψεων.

6.7. Σύγχρονες τάσεις για την αντιμετώπιση της διάβρωσης των δεξαμενών έρματος

Σε μια δεξαμενή έρματος, το γλυκό ή το αλμυρό νερό δρα ως ηλεκτρικός αγωγός. Το γλυκό νερό χρησιμοποιείται εξαιρετικά ως έρμα όταν το πλοίο μπορεί να το αποβάλλει σε ένα ποτάμι ή λίμνη. Το γλυκό νερό έχει χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ο ρυθμός διάβρωσης είναι συνάρτηση της διάχυσης οξυγόνου στην μεταλλική επιφάνεια. Η διαδικασία διάχυσης αυξάνεται όταν παρουσιάζεται αυξημένη συγκέντρωση οξυγόνου, αυξημένη θερμοκρασία και ταχύτητα. Αναφέρεται ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου μειώνουν το ρυθμό διάβρωσης λόγω του σχηματισμού ανθρακικών αλάτων που μειώνει την εξάπλωση οξυγόνου στην μεταλλική επιφάνεια. Στο αλμυρό νερό ο ρυθμός διάβρωσης είναι υψηλότερος λόγω της αυξημένης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του ηλεκτρολύτη. Η παρουσία μεγάλης ποσότητας NaCl, το καθιστά έναν εξαιρετικό αγωγό. Τα χλωριούχα ιόντα είναι ιδιαίτερα επιθετικά, καθώς προκαλούν διάτρηση, διάβρωση ρωγμών και διάβρωση με μηχανική καταπόνηση (τάση). Το ιόν χλωριδίου είναι επίσης ιδιαίτερα επιθετικό καθώς οι περισσότερες ενώσεις χλωριδίου είναι πολύ διαλυτές, γεγονός που περιορίζει τον σχηματισμό πολωτικών ανοδικών υμενίων (NAVFAC, 1992). Η συγκέντρωση του NaCl στο νερό των ωκεανών κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5%. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις συναντώνται στη Μεσόγειο και οι χαμηλότερες στην περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας.

Η γαλβανική διάβρωση είναι αδύνατη χωρίς ηλεκτρολύτη. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις που πρέπει να αναφερθούν. Η πρώτη αναφέρει την δυνατότητα επεξεργασίας του ηλεκτρολύτη, η οποία θα μειώσει την αγωγιμότητα, μέσω της χρήσης απεσταγμένου νερού και αφαίρεσης του

οξυγόνου. Μια πιθανή σκέψη θα μπορούσε να είναι η επαναχρησιμοποίηση του έρματος. Το επεξεργασμένο νερό έρματος θα μεταφερόταν από ειδικές δεξαμενές αποθήκευσης στην ξηρά στις δεξαμενές έρματος των πλοίων κατά την εκφόρτωση. Δηλαδή όταν φορτώνεται το πλοίο, το νερό έρματος εισέρχεται σε ειδικές δεξαμενές. Μια εναλλακτική λύση είναι να σταματήσει εντελώς η χρήση νερού έρματος και να χρησιμοποιηθεί ξηρό αδρανές έρμα ή να κατασκευαστούν πλοία που δεν χρειάζονται πλέον έρμα. (Exprosoft, 2009).

6.8. Χρήση υλικών ανθεκτικών στην διάβρωση

Για την εξάλειψη των προβλημάτων της διάβρωσης, μπορούν να ληφθούν υπόψη διάφορες πτυχές. Ως ριζική λύση θα μπορούσε να προταθεί η εγκατάλειψη της χρήσης των μετάλλων και να αρχίσουμε να χρησιμοποιούμε μόνο υλικά απρόσβλητα στη διάβρωση. Χωρίς αμφιβολία θα πρέπει να γίνουν άλματα στην τεχνολογία για να καταστεί κάτι τέτοιο δυνατό και πιθανότατα κάποια στιγμή στο μέλλον να καταστεί δυνατή η κατασκευή συνθετικών δεξαμενών μεγάλου μεγέθους. Πάντως προς το παρόν, δεν υπάρχουν πραγματικές εναλλακτικές λύσεις. Περισσότερο ρεαλιστική λύση αποτελεί η χρήση ανθεκτικών στη διάβρωση κραμάτων χάλυβα. Η βασική ιδέα βασίζεται στην αρχή είναι ότι αυτά τα κράματα θα διαβρωθούν τόσο γρήγορα όσο ο συνηθισμένος χάλυβας, αλλά μετά από λίγο το οξείδιο του στρώματος και τα υδροξείδια στην επιφάνεια θα γίνουν τόσο πυκνά που το υπόστρωμα από κάτω θα προστατεύεται από το οξυγόνο στο περιβάλλον και θα σταματά η διάβρωση. Η πυκνότητα του στρώματος παθητικοποίησης αυξάνεται αν προστεθεί χαλκός και χρώμιο στο κράμα. Ωστόσο, δεν είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούνται αυτές οι κατηγορίες χάλυβα για την κατασκευή δεξαμενών έρματος, επειδή τα χλωρίδια στο θαλασσινό νερό καταστρέφουν το προστατευτικό στρώμα και επανενεργοποιούν τη διαδικασία διάβρωσης. (Towers, 2007).

Κεφάλαιο έβδομο

7. Εκτίμηση της διάβρωσης των δεξαμενών έρματος – Επιθεώρηση δεξαμενών φορτηγού πλοίου

Η κατάσταση των δεξαμενών έρματος καθορίζει την οικονομική διάρκεια ζωής ενός πλοίου (Lloyds Register, 2006). Πολλές εργαστηριακές μελέτες έχουν ήδη γίνει και περιγράφουν τη διαδικασία διάβρωσης υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Η έρευνα που ξεκινά από την πραγματικότητα μπορεί να δώσει νέες γνώσεις στη διαδικασία διάβρωσης και μπορεί να αποκαλύψει στοιχεία και επιρροές που δεν εμφανίζονται κάτω από εργαστηριακές συνθήκες. Αυτή η γνώση θα μας επιτρέψει να αναπτύξουμε νέες τεχνικές παρακολούθησης της κατάστασης των δεξαμενών, να βελτιώσουμε την προγραμματισμένη συντήρηση και να ενισχύσουμε την ασφάλεια του πλοίου και του πληρώματος. Ένας καλύτερος σχεδιασμός θα εξοικονομήσει σημαντικά ποσά από τα μελλοντικά έξοδα και θα βελτιώσει την αποδοτικότητα κόστους του πλοίου. Οι ιδιοκτήτες πρέπει να αναγνωρίσουν αυτήν την ανάγκη για άριστη ποιότητα και να κατανοήσουν ότι τα επιπλέον χρήματα που δαπανώνται εκ των προτέρων για ένα καλύτερο σύστημα επιθεώρησης και επίστρωσης θα αυξήσουν τη διάρκεια ζωής της επίστρωσης και μακροπρόθεσμα θα αποδειχθούν πιο οικονομικά (Tator, 2004).

Η εκτίμηση του ρυθμού διάβρωσης των δεξαμενών έρματος είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί καθώς το περιβάλλον είναι εχθρικό, το φως είναι σπάνιο και τεχνητό, και είναι δύσκολο να προσπελαστούν μεγάλα μέρη της δεξαμενής έρματος (OCIMF, 2003). Επιπλέον, οι επιτόπιοι προσδιορισμοί πρέπει να εκτελούνται εντός περιορισμένου χρονικού διαστήματος για να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις στις κανονικές εργασίες πλοίων. Ως εκ τούτου, για πρακτικούς λόγους, η εκτίμηση της έκτασης της διάβρωσης εντός αυτών των περιορισμών πραγματοποιείται καλύτερα μέσω στατιστικής εκτίμησης και κατά συνέπεια είναι υποκειμενική. Για να περιορίσει αυτήν την υποκειμενικότητα, η International Association of Classification Societies (IACS) δημιούργησε μια διεθνώς αποδεκτή κλίμακα αξιολόγησης της διάβρωσης (IACS, 2006). Αυτή η κλίμακα αποτελείται από έναν αριθμό διαγραμμάτων που αντιπροσωπεύουν ένα ορισμένο ποσοστό γενικής και εντοπισμένης διάβρωσης που κυμαίνεται από 0,1 έως 100%. Αυτά τα διαγράμματα επιτρέπουν μια γρήγορη και εύκολη οπτική σύγκριση με τις συνθήκες στη δεξαμενή και διευκολύνουν μια πιο αντικειμενική ποσοτική εκτίμηση του προβλήματος της διάβρωσης. Αυτή η κλίμακα αξιολόγησης γίνεται αποδεκτή παγκοσμίως από όλους τους νηογνώμονες, τους κατασκευαστές θαλάσσιων

επιχρισμάτων και τους επιθεωρητές. Σύμφωνα με το πρότυπο IACS, μια κατάσταση δεξαμενής μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: καλή, μέτρια και φτωχή (OCIMF, 2003 & IACS 2006).

Πίνακας 4. Βαθμός εκτίμησης διάβρωσης. [IACS Recommendation 87](#)

Rating/Condition ^(A)	Good	Fair	Poor
Breakdown of coating or area rusted	<3%	3 to 20%	>20%
Area of hard scale	—	<10%	≥10%
Local breakdown of coating or rust on edge or weld lines	<20%	20 to 50%	>50%
Rating/Condition ^(B)			
Spot rust and light rust	Minor	>20%	
Edges and welds	Local breakdown		
Hard scale			≥10%
General breakdown			>20%
Rating/Condition ^(C)			
Spot rust and light rust	Minor	>20%	
^(A) General IACS Standard Method IACS clarification of "good," "fair," and "poor"			
^(B) IMO Res. A.744(18): Assessment of Existing Coating Systems for all Vessels Except Tankers			
^(C) Lloyds Register: Definition of Coating Conditions			

Ο Πίνακας 4 προσφέρει μια πρακτική μέθοδο για να αποφασίσει κάποιος εάν οι δεξαμενές έρματος διατηρούνται εντός αποδεκτών περιθωρίων ασφαλείας. Οι δεξαμενές πρέπει να διατηρούνται σε «καλή» κατάσταση για το πλοίο για να αποφευχθεί μια ακριβή ετήσια επισκευή. Μια τέτοια μεθοδολογία παρέχει το γενικό πλεονέκτημα της τήρησης ενός ομοιόμορφου συστήματος παγκοσμίως. Ωστόσο, αν και ένα σύστημα αξιολόγησης τριών επιπέδων αρκεί για μελέτες επιθεώρησης και συντήρησης, ένα ερευνητικό έργο χρειάζεται μεγαλύτερο βάθος κατανόησης και λεπτομέρειας. Κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία έχει εξεταστεί εκτενώς σε ελεγχόμενες συνθήκες και είναι γνωστή με ακρίβεια η ξεχωριστή επίδραση όλων αυτών των παραμέτρων. Ωστόσο, είναι εξαιρετικά περίπλοκο να κατασκευαστεί κάποιο μοντέλο που θα περιγράφει την αλληλεπίδραση όλων αυτών των στοιχείων. Αφού όμως καθοριστεί ο συνολικός ρυθμός διάβρωσης, μπορεί να γίνει προσπάθεια να προσδιοριστεί ο πιο κρίσιμος παράγοντας, οπότε σε αυτό το σημείο τα καθιερωμένα πρότυπα είναι πάλι πιο χρήσιμα.

Με βάση όλα τα παραπάνω παρουσιάζεται μία πραγματική επιθεώρηση στις δεξαμενές έρματος ενός φορτηγού πλοίου της εταιρείας (Larus S.A.), η οποία ακολουθεί για την εκτίμηση του βαθμού της διάβρωσης τα πρότυπα IACS. Επίσης, σημαντικό να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη επιθεώρηση έχει πραγματοποιηθεί από την εταιρεία (Seatec), η οποία εξειδικεύεται σε τέτοιου είδους επιθεωρήσεις.

WBT No.1 Port Side – No.1 Δεξαμενή έρματος αριστερά του πλοίου

1. Κατάσταση Επίστρωσης: Καλή σε όλα τα επίπεδα
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Καλή
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 13. WBT No.1 Port Side. *Provided by Seatec S.A.*

WBT No. 1 Starboard Side – No.1 Δεξαμενή έρματος δεξιά του πλοίου

1. Κατάσταση Επίστρωσης: Καλή σε όλα τα επίπεδα
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Καλή
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 14. WBT No. 1 Starboard Side. [*Provided by Seatec S.A.*](#)

WBT No. 2 Port Side - No. 2 Δεξαμενή έρματος αριστερά του πλοίου

1. Κατάσταση Επίστρωσης: Μέτρια (το πάνω επίπεδο έχει μικρά σκουριασμένα σημεία)
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Μέτρια (Η δεξαμενή έχει μικρά βαθουλώματα τα οποία είναι ήδη βαμμένα από μέσα)
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 15. WBT No. 2 Port Side. [Provided by Seatec S.A.](#)

WBT No. 2 Starboard Side - No. 2 Δεξαμενή έρματος δεξιά του πλοίου

1. Κατάσταση Επίστρωσης: Καλή σε όλα τα επίπεδα
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Καλή
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 16. WBT No. 2 Starboard Side, [Provided by Seatec S.A.](#)

WBT No. 3 Port Side - No. 3 Δεξαμενή έρματος αριστερά του πλοίου

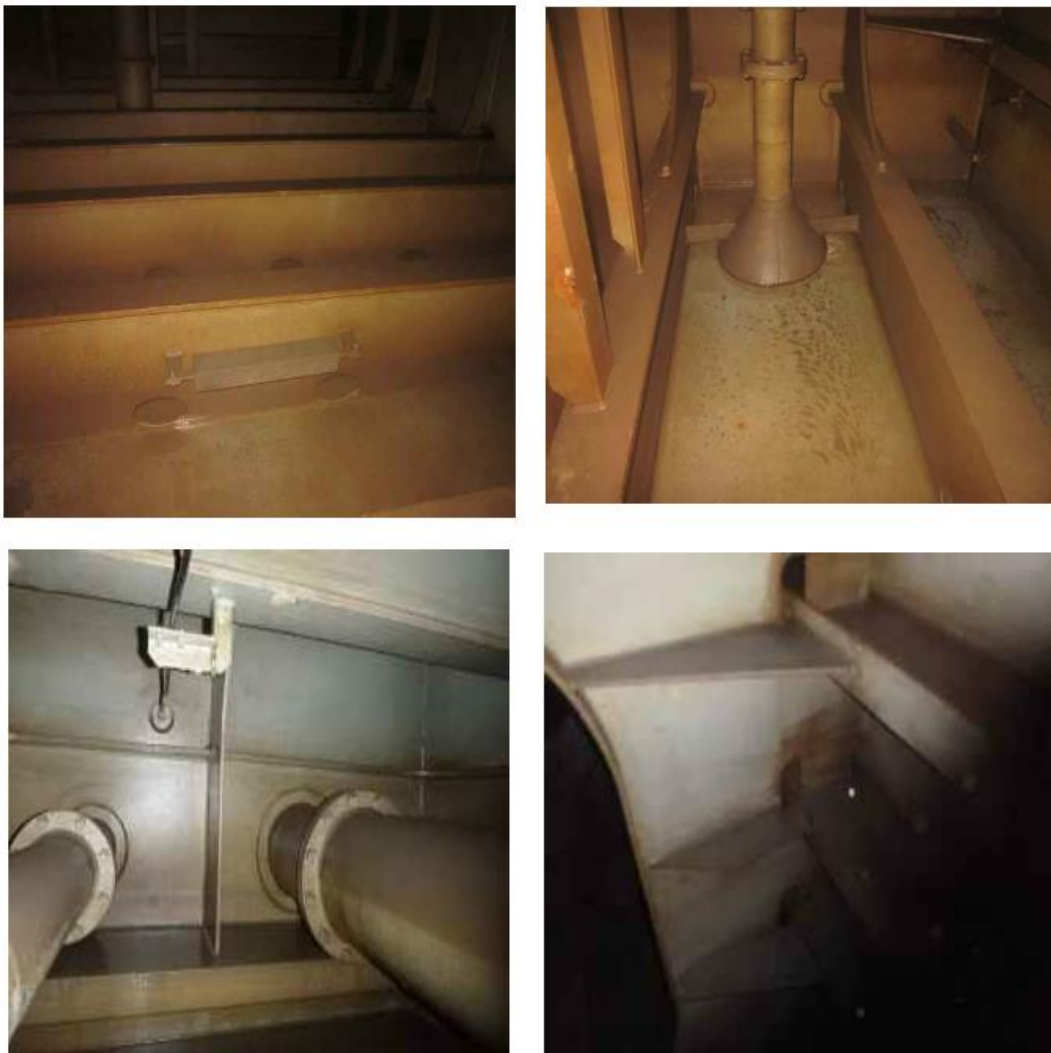
1. Κατάσταση Επίστρωσης: Μέτρια (το πάνω επίπεδο έχει μικρά σκουριασμένα σημεία)
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Μέτρια (Η δεξαμενή έχει βαθουλώματα τα οποία ήταν ήδη ασταρωμένα και βαμμένα εσωτερικά)
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 17. WBT No. 3 Port Side. [*Provided by Seatec S.A.*](#)

WBT No. 3 Starboard Side - No. 3 Δεξαμενή έρματος δεξιά του πλοίου

1. Κατάσταση Επίστρωσης: Καλή σε όλα τα επίπεδα
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Καλή
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 18. WBT No. 3 Starboard Side. [*Provided by Seatec S.A.*](#)

WBT No. 4 Port Side - No. 4 Δεξαμενή έρματος αριστερά του πλοίου

1. Κατάσταση Επίστρωσης: Μέτρια (στο μεσαίο και κατώτερο επίπεδο είναι καλή ενώ το πάνω επίπεδο έχει σκουριασμένα σημεία)
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Καλή
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 19. WBT No. 4 Port Side. *Provided by Seatec S.A.*

WBT No. 4 Starboard Side - No. 4 Δεξαμενή έρματος δεξιά του πλοίου

1. Κατάσταση Επίστρωσης: Καλή σε όλα τα επίπεδα
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Καλή
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 20. WBT No. 4 Starboard Side. [*Provided by Seatec S.A.*](#)

WBT No. 5 Port Side - No. 5 Δεξαμενή έρματος αριστερά του πλοίου

1. Κατάσταση Επίστρωσης: Καλή σε όλα τα επίπεδα
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Καλή
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 21. WBT No. 5 Port Side. *[Provided by Seatec S.A.](#)*

WBT No. 5 Starboard Side - No. 5 Δεξαμενή έρματος δεξιά του πλοίου

1. Κατάσταση Επίστρωσης: Καλή σε όλα τα επίπεδα
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Μέτρια (Η δεξαμενή έχει βαθουλώματα ήδη βαμμένα και ασταρωμένα)
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 22. WBT No. 5 Starboard Side. [Provided by Seatec S.A.](#)

WBT No. 6 Port Side - No. 6 Δεξαμενή έρματος αριστερά του πλοίου

1. Κατάσταση Επίστρωσης: Καλή σχεδόν σε όλα τα επίπεδα (το πάνω επίπεδο έχει μικρά σκουριασμένα σημεία)
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Καλή
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 23. WBT No. 6 Port Side. [Provided by Seatec S.A.](#)

WBT No. 6 Starboard Side - No. 6 Δεξαμενή έρματος δεξιά του πλοίου

1. Κατάσταση Επίστρωσης: Καλή σε όλα τα επίπεδα
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Καλή
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 24. WBT No. 6 Starboard Side. [*Provided by Seatec S.A.*](#)

FPT (Forepeak Tank) – Δεξαμενή έρματος στην πλώρη (μπροστινό μέρος) του πλοίου

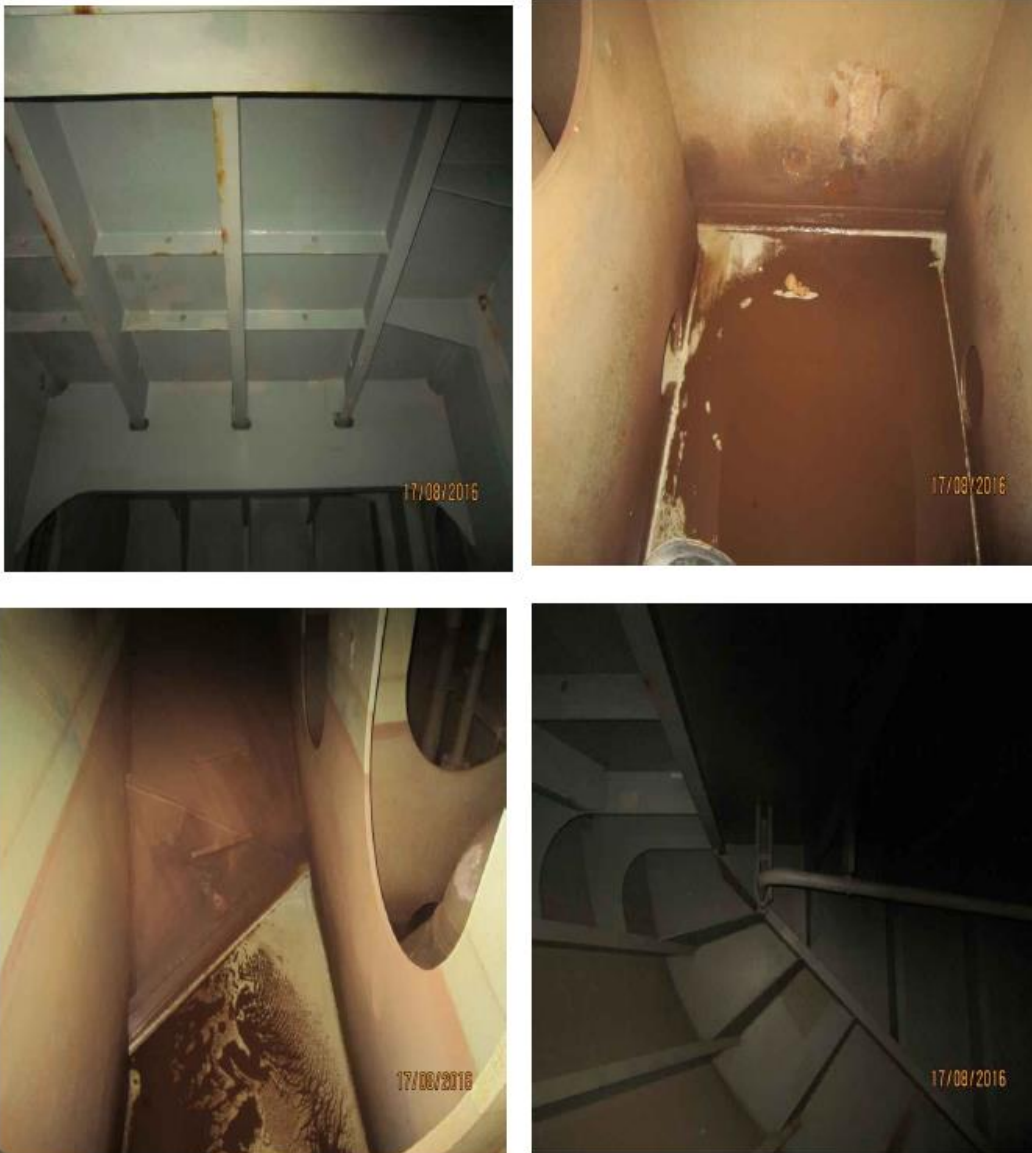
1. Κατάσταση Επίστρωσης: Καλή σε όλα τα επίπεδα
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Καλή κατάσταση
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Καλή
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 25. FPT (Forepeak Tank) *Provided by Seatec S.A.*

APT (Aft peak Tank) – Δεξαμενή έρματος στην πρύμη (πίσω μέρος) του πλοίου

1. Κατάσταση Επίστρωσης: Καλή σε όλα τα επίπεδα
2. Διαφράγματα – Χωρίσματα δεξαμενής: Μέτρια (έχει μικρά σκουριασμένα σημεία)
3. Κατάσταση δομής δεξαμενής: Καλή
4. Κατάσταση πυθμένα δεξαμενής: Καλή
5. Κατάσταση βαλβίδας έρματος: Δεν έχουν διαρροές
6. Κατάσταση ανόδων: Καλή (απομένει 80% διάρκεια ζωής)



Εικόνα 26. APT (Aft peak Tank) *Provided by Seatec S.A.*

Συμπεράσματα επιθεώρησης

Η επιθεώρηση των δεξαμενών έρματος για την εκτίμηση του βαθμού διάβρωσης με βάση τα πρότυπα IACS αφορούσε την κατάσταση της επίστρωσης, την κατάσταση της δομής της δεξαμενής, την κατάσταση του πυθμένα της δεξαμενής, την κατάσταση των ανόδων, την κατάσταση της βαλβίδας έρματος και την κατάσταση των χωρισμάτων της δεξαμενής.

Οι περισσότερες δεξαμενές μετά το πέρας της επιθεώρησης βρέθηκαν σε καλή κατάσταση με βάση τα πρότυπα IACS σε ότι έχει να κάνει με την επίστρωση τους, την δομή τους, τον πυθμένα τους και τα χωρίσματα τους. Επίσης οι βαλβίδα έρματος σε όλες τις δεξαμενές δεν έχει διαρροές και τα ανόδια των δεξαμενών είναι σε καλή κατάσταση (απομένει ένα 80% διάρκεια ζωής). Από την άλλη, σε κάποιες δεξαμενές βρέθηκε σκουριά στην επίστρωση τους, στην δομή της δεξαμενής βρέθηκαν βαθουλώματα τα οποία ήταν ήδη ασταρωμένα και βαμμένα, ενώ σε μία δεξαμενή στα χωρίσματα της βρέθηκαν σκουριασμένα σημεία.

Σαν συνολική εικόνα οι δεξαμενές του πλοίου βρίσκονται σε αρκετά καλή κατάσταση με βάση τα πρότυπα IACS.

Κεφάλαιο όγδοο

8. Μελέτη Περίπτωσης – Ανάλυση του κόστους αντιμετώπισης συνεπειών διάβρωσης

Σήμερα, οι δεξαμενές των πλοίων είναι κατασκευασμένες από χάλυβα ποιότητας A και προστατεύονται με τυπική εποξική επίστρωση και θυσιαζόμενες ανόδους ψευδαργύρου. Μια τέτοια κατασκευή εφαρμόζεται χωρίς σημαντικές αλλοιώσεις εδώ και πολλά χρόνια. Ωστόσο, ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να συγκρίνει αυτή τη μέθοδο κατασκευής με ορισμένες εφικτές εναλλακτικές λύσεις μέσω μιας ανάλυσης ταμειακών ροών. Ως εκ τούτου, ο αντίκτυπος των δομικών επενδύσεων μπορεί να διερευνηθεί στο εννοιολογικό στάδιο του σκάφους. Σημαντικά στοιχεία σε μια τέτοια ανάλυση είναι ο σχεδιασμός της δεξαμενής και η επιλογή του κατάλληλου υλικού κατασκευής.

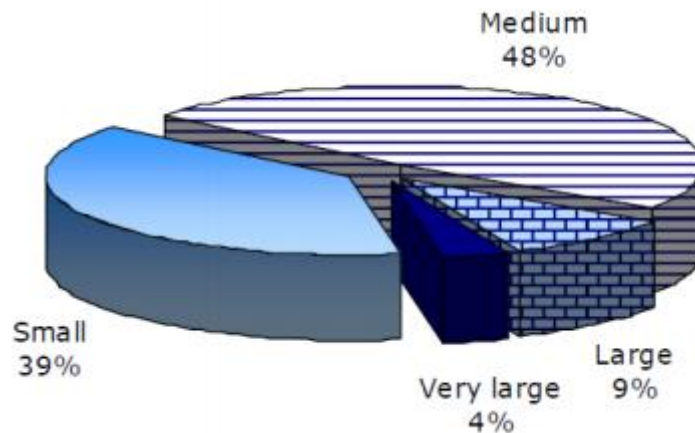
Το μοντέλο που επιλέχθηκε για αυτή τη μελέτη είναι ένα δεξαμενόπλοιο Panamax **Εικόνα 27** περίπου 75.000 MT deadweight ή DWT, συνολικού μήκους (LOA) 228 m και πλάτους 32,2 m.

Τα δεξαμενόπλοια Panamax είναι πλοία που κατασκευάζονται με βάση τα όρια μεγέθους τους, ώστε να είναι δυνατή η διέλευση τους από το κανάλι του Παναμά. Το μέγιστο μήκος των πλοίων Panamax είναι 304,8 μέτρα, το μέγιστο βύθισμα τους 12,04 m και το μέγιστο πλάτος τους 32,31 m. Το νεκρό βάρος ενός πλοίου Panamax κυμαίνεται μεταξύ 50.000 και 80.000 DWT.



Εικόνα 27. Τυπικό πλοίο Panamax. <https://www.marinetraffic.com>

Για τη μελέτη επιλέχθηκε το συγκεκριμένο μοντέλο πλοίου, επειδή είναι ένας πολύ διαδεδομένος τύπος πλοίου. Τα πλοία Panamax μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά του μεσαίου μεγέθους εμπορικών πλοίων που αντιστοιχεί περίπου στο 48% του παγκόσμιου στόλου, όπως απεικονίζεται στο **Διάγραμμα 3**.



Διάγραμμα 3. Ποσοστό πλοίων ανάλογα με το μέγεθος τους ([European Maritime Safety Agency, 2005](#))

Στόχος της μελέτης είναι ο υπολογισμός του κόστους της αντιμετώπισης των συνεπειών της διάβρωσης στις δεξαμενές έρματος. Προκειμένου να αποφευχθεί η επίδραση άλλων παραμέτρων του πλοίου στις εκτιμήσεις αυτές, θα περιοριστούμε μόνο στο μέγεθος και το βάρος των δεξαμενών έρματος. Σημείο εκκίνησης αποτελεί η επιφάνεια των δεξαμενών έρματος με επιφάνεια 51.000 m².

Υποθέτουμε ότι το πλοίο έχει ναυπηγηθεί στην Κίνα και η αποβάθρα επισκευής βρίσκεται σε ναυπηγείο στο Μπαχρέιν λόγω της διαθεσιμότητας πρόσφατων και πλήρων δεδομένων. Σκοπός είναι να συγκριθούν 4 διαφορετικές περιπτώσεις κατασκευής και εξοπλισμού δεξαμενών έρματος εντός των δυνατοτήτων των σημερινών διαθέσιμων τεχνικών και υλικών προκειμένου να μειωθεί το κόστος, **Πίνακας 5**.

Η μεθοδολογία της μελέτης και η κατευθυντήρια γραμμή για την επιλογή των διαφορετικών περιπτώσεων ήταν η δημοσιευμένη μελέτη με τίτλο: «Reducing the cost of ballast tank corrosion: an economic modeling approach» των Kris De Baere (Antwerp Maritime Academy), Helen Verstraelen (Antwerp Maritime Academy), Philippe Rigo (University of Liege, ANAST, Naval Architecture), Steven Van Passel (Department of Bioscience Engineering, University of Antwerp & Centre for Environmental Sciences, Hasselt University), Silvia

Lenaerts (Department of Bioscience Engineering, University of Antwerp), Geert Potters (Department of Bioscience Engineering, University of Antwerp & Antwerp Maritime Academy), στο περιοδικό **Marine Structures 32 (2013) 136-152**.

Πίνακας 5. Κριτήρια κατασκευής, εξοπλισμού και συντήρησης των διαφόρων τύπων δεξαμενών. *Paper: (Reducing the cost of ballast tank corrosion: an economic modeling approach)*

	Case I	Case II	Case III	Case IV
Steel	Grade A	Grade A	Grade A	Corrosion resistant
Paint system	IMO PSPC ₁₅	IMO PSPC ₁₅	TSCF ₂₅	1 Coat white epoxy
Thickness	320 μm	320 μm	350 μm	160 μm
Paint quality	Pure epoxy	Pure epoxy	Pure epoxy	Pure epoxy
Anodes	Yes (Zn)	Yes (Zn)	Yes (Zn)	No
Replacement of the anodes	Every 5 years	Every 5 years	Every 10 years	NA
Coating repair	Yes	Yes	Yes	Yes
Increased scantlings	No	Yes	No	No
Steel replacement	Yes	NA	NA	NA

Περίπτωση I: Αυτή είναι μια τυπική δεξαμενή όπως κατασκευάζεται σήμερα με συνηθισμένο χάλυβα ποιότητας A, πάχους 14 mm, επικαλυμμένη με τυπική επίστρωση PSPC και εξοπλισμένο με θυσιαζόμενους ανόδους ψευδαργύρου. Αυτή η δεξαμενή παραμένει ανέπαφη για περίπου 5 χρόνια, αλλά στη συνέχεια η επίστρωση αρχίζει να υποβαθμίζεται και εμφανίζεται διάβρωση που απαιτεί αντικατάσταση του χάλυβα και επισκευή της βαφής σε συνάρτηση με τον χρόνο. Οι άνοδοι πρέπει να αντικαθίστανται κάθε 5 χρόνια.

Περίπτωση II: Στην περίπτωση II το βασικό στοιχείο είναι το επιτρεπόμενο όριο διάβρωσης. Το όριο διάβρωσης είναι η επιτρεπόμενη μείωση του χάλυβα λόγω της διάβρωσης που μετράται με μια συγκεκριμένη διάσταση του στοιχείου. Για ένα πλοίο αυτό ορίζεται από τον νηογνώμονά. Αυτό σημαίνει ότι στη διάρκεια ζωής ενός πλοίου μια ορισμένη ποσότητα διάβρωσης είναι ανεκτή χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η δομική ακεραιότητα του πλοίου. Στην πράξη (ο εμπειρικός κανόνας) ο χάλυβας θα αντικατασταθεί, σε ξηρή δεξαμενή, όταν το πάχος του έχει μειωθεί στο 80 % της αρχικής τιμής. Τα σημερινά όρια διάβρωσης ακόμη πιο συντηρητικών νηογνωμόνων είναι οριακά επαρκή για ένα σκάφος ζωής 20 ετών (Grastos & Zachariadis, 2010). Στην Περίπτωση II, το όριο διάβρωσης έχει διπλασιαστεί από 3 σε 6 mm. Με αυτόν τον τρόπο το υλικό κατασκευής γίνεται τόσο παχύρρευστο που ποτέ δεν απαιτείται αντικατάσταση κατά τη διάρκεια της συνολικής οικονομικής ζωής του πλοίου. Ένα

δεξαμενόπλοιο Panamax απαιτεί περίπου 1.200 τόνους περισσότερο χάλυβα για να επιτευχθεί ο στόχος διάρκειας ζωής των 25 ετών (ιδικός υπολογισμός). Κατά συνέπεια το βάρος του πλοίου αυξάνεται και έτσι η μεταφορική χωρητικότητα σε φορτίο του πλοίου μειώνεται. Η Περίπτωση II έρχεται σε αντίθεση με το παρόν «carry cargo, no steel» στάση των ναυπηγείων. Όπως στην περίπτωση I, οι άνοδοι πρέπει να αντικαθίσταται κάθε 5 χρόνια. Ένα θετικό στοιχείο είναι ότι ο χρόνος στο dry dock (επισκευή πλοίου) θα μειωθεί καθώς δεν απαιτείται πλέον αντικατάσταση χάλυβα. Παρόμοια με την Περίπτωση I εφαρμόζεται τυπική επίστρωση PSPC.

Περίπτωση III: Στην περίπτωση III, τα πλοία λαμβάνουν επίστρωση TSCF πάνω από χάλυβα ποιότητας A 14 mm. Η διάρκεια ζωής αυτής της επίστρωσης επεκτείνεται στην οικονομική διάρκεια ζωής του πλοίου με καλύτερη προετοιμασία του υποστρώματος, βελτιωμένες συνθήκες εφαρμογής και αυξημένο πάχος επίστρωσης. Κατά συνέπεια, η αντικατάσταση χάλυβα δεν υφίσταται και η επισκευή της επίστρωσης μειώνεται. Δεδομένου ότι η επιφάνεια που προσβάλλεται από τη διάβρωση είναι μειωμένη, το ίδιο θα είναι και η κατανάλωση των θυσιαζόμενων ανοδίων. Οι άνοδοι θα αντικαθίστανται μόνο μία φορά κάθε 10 χρόνια.

Περίπτωση IV: Οι δεξαμενές είναι κατασκευασμένες από ανθεκτικό στη διάβρωση χάλυβα (CRS) και βαμμένο με αισθητική λευκή επίστρωση επειδή ο IMO PSPC απαιτεί όλες οι δεξαμενές έρματος να επικαλύπτονται με διαφανή εποξική επίστρωση ανεξάρτητα από το υλικό κατασκευής. Η επισκευή επίστρωσης παραμένει απαραίτητη, αν και μειωμένη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν χρειάζονται ανόδια.

CRS: Corrosion Resistant Steel – Χάλυβας ανθεκτικός στην διάβρωση

PSPC: Performance Standard for Protective Coatings

TSCF: Tanker Structure Co-operative Forum

Υπολογισμός του βάρους των δεξαμενών

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι δεξαμενές έχουν επιφάνεια 51.000 m². Υποθέτουμε ότι έχουν χρησιμοποιηθεί πλάκες πάχους 14 mm και ότι η πυκνότητα του χάλυβα είναι 7,8 τόνοι/m³. Από αυτά τα δεδομένα, το βάρος των δεξαμενών μπορεί να υπολογιστεί σε 5.569,2 τόνους. Αυτό το βάρος ισχύει για τις περιπτώσεις I, III και IV.

Όσον αφορά τις δεξαμενές της περίπτωσης II, το περιθώριο διάβρωσης διπλασιάστηκε αυξάνοντας το πάχος της πλάκας από 14 mm σε 17 mm. Κατά συνέπεια, το βάρος των δεξαμενών είναι 6.762,6 τόνοι.

Βάρος δεξαμενών = επιφάνεια δεξαμενής x πάχος χάλυβα x πυκνότητα χάλυβα
(Εξίσωση 1)

Πίνακας 6. Παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του βάρους των δεξαμενών

Nr.	Item	Value	Source
1	Επιφάνεια δεξαμενών	51,000 m ²	http://www.neimarine.com
2	Πυκνότητα χάλυβα	7.8 ton/m ³	Own estimation - paper
3	Πάχος πλάκας	14 mm	Own estimation - paper
4	Όριο διάβρωσης	3 mm	IACS common structural rules for oil tankers and bulk carriers
5	Βάρος δεξαμενών I, III & IV	5,569.2 ton	Own calculations
6	Βάρος δεξαμενών II	6,762.6 ton	Own calculations

Αρχική επένδυση

Κατά τον υπολογισμό της αρχικής επένδυσης ελήφθησαν υπόψη τρεις παράμετροι.

1) Κόστος κατασκευής από γάλυβα

Οι κατασκευές με γάλυβα βαθμού Α υπολογίστηκαν σε 1.750 €/τόνο.

Οι κατασκευές με γάλυβα ανθεκτικό στην διάβρωση (CRS) υπολογίστηκαν σε 2.275 €/τόνο.

2) Κόστος επίστρωσης (βαφής)

Το P_{SPC15} κοστίζει 40 €/m²

Η Επίστρωση δεξαμεμών CRS κοστίζει 35 €/m²

Το T_{SFC25} κοστίζει 63 €/m²

3) Κόστος ανοδίων

Οι δεξαμενές είναι εξοπλισμένες με 325 θυσιαζόμενες ανόδους των 22 κιλών η κάθε μία. Το κόστος ανά τεμάχιο με τοποθέτηση είναι 72 €/άνοδο.

Πίνακας 7. Παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αρχικής επένδυσης

Nr.	Item	Value	Source
1	Αρχική επίστρωση P _{SPC 15}	40 €/m ²	http://www.neimarine.com
2	Αρχική επίστρωση T _{SFC 25}	63 €/m ²	Provided by IHC Netherlands
3	Αρχική επίστρωση CRS	35 €/m ²	Own estimation
4	Αριθμός ανοδίων	325	http://www.neimarine.com
5	Κόστος ανά τεμάχιο ανόδων	72 €/anode	Each anode weighs 22kg, 2€/kg + 28€ installation cost (Bahrain 2018)
6	Τιμή αγοράς γάλυβα ποιότητα Α	500 €/ton	Our company data
7	CRS γάλυβας τιμή αγοράς	650 €/ton	Our company data
8	Κόστος νέων κατασκευών με γάλυβα ποιότητα Α	1,750 €/ton	Own estimation based on new building value of a panama tankers and the lightweight
9	Κόστος νέων κατασκευών με γάλυβα CRS	2,275 €/ton	By analogy calculation retail price grade A steel (x 1,3)

Περίπτωση I:

Αρχική Επένδυση = (Βάρος δεξαμενών x Κόστος νέων κατασκευών με χάλυβα βαθμού A) + (Επιφάνεια δεξαμενών x Επίστρωση PSPC₁₅) + (Αριθμός ανοδίων x Κόστος ανά τεμάχιο ανόδων)

Αυτός ο τύπος δεξαμενής ζυγίζει 5.569,2 τόνους, έχει επιφάνεια για επίστρωση 51.000 m² και είναι εξοπλισμένη με 325 ανόδους. Πολλαπλασιάζοντας αυτές τις ποσότητες με τις αντίστοιχες τιμές μονάδας προκύπτει το εξής αποτέλεσμα.

$$\text{Αρχική επένδυση} = (5.569,2 \times 1.750) + (51.000 \times 40) + (325 \times 72) = \underline{\underline{11.809.500 \text{ €}}}$$

Περίπτωση II:

Αρχική Επένδυση = (Βάρος δεξαμενών x Κόστος νέων κατασκευών με χάλυβα βαθμού A) + (Επιφάνεια δεξαμενών x Επίστρωση PSPC₁₅) + (Αριθμός ανοδίων x Κόστος ανά τεμάχιο ανόδων)

Αυτός ο τύπος ζυγίζει 6.762,6 τόνους, έχει επιφάνεια για επίστρωση 51.000 m² και είναι εξοπλισμένος με 325 ανόδους. Πολλαπλασιάζοντας αυτές τις ποσότητες με τις αντίστοιχες τιμές μονάδας προκύπτει το εξής αποτέλεσμα.

$$\text{Αρχική επένδυση} = (6.762,6 \times 1.750) + (51.000 \times 40) + (325 \times 72) = \underline{\underline{13.897.950 \text{ €}}}$$

Περίπτωση III:

Αρχική Επένδυση = (Βάρος δεξαμενών x Κόστος νέων κατασκευών με χάλυβα βαθμού A) + (Επιφάνεια δεξαμενών x Επίστρωση TSCF₂₅) + (Αριθμός ανοδίων x Κόστος ανά τεμάχιο ανόδων)

Αυτός ο τύπος ζυγίζει 5.569,2 τόνους, έχει επιφάνεια προς επίστρωση 51.000 m² με βελτιωμένο σύστημα επίστρωσης και είναι εξοπλισμένο με 325 ανόδους. Ο πολλαπλασιασμός αυτών των ποσοτήτων με τις αντίστοιχες τιμές μονάδας δίνει το ακόλουθο αποτέλεσμα.

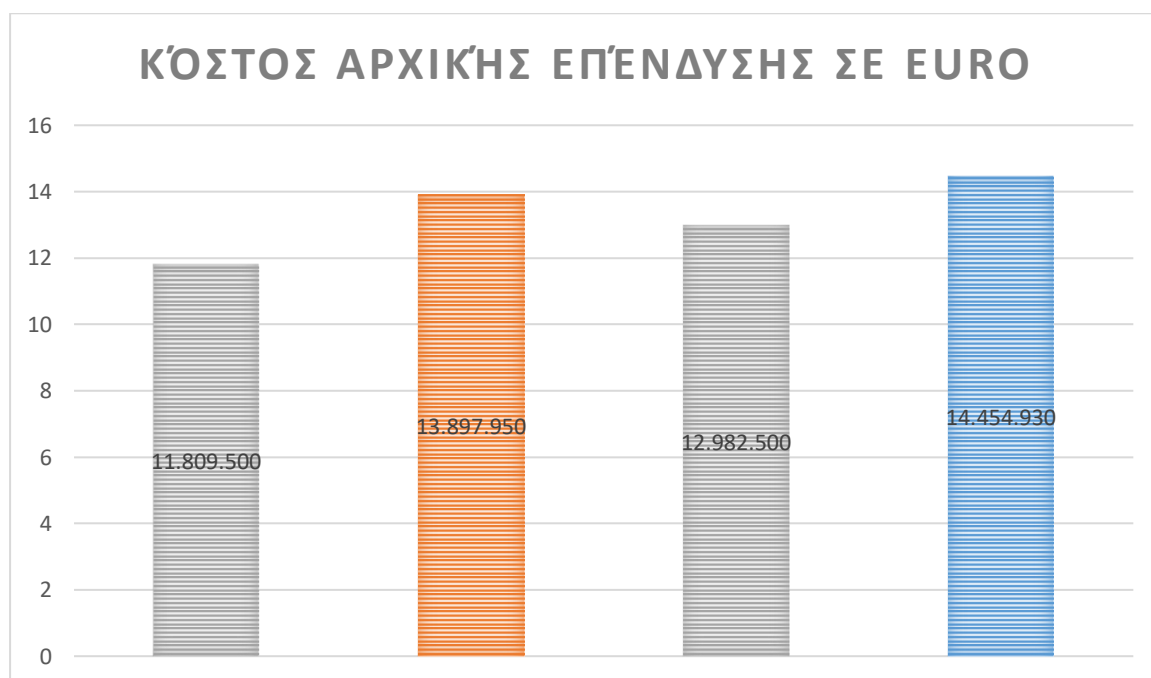
$$\text{Αρχική επένδυση} = (5.569,2 \times 1.750) + (51.000 \times 63) + (325 \times 72) = \underline{\underline{12.982.500 \text{ €}}}$$

Περίπτωση IV:

Αρχική Επένδυση = (Βάρος δεξαμενών x Κόστος νέων κατασκευών με χάλυβα CRS) + (Επιφάνεια δεξαμενών x Επίστρωση CRS)

Αυτός ο τύπος ζυγίζει 5.569,2 τόνους, έχει επιφάνεια προς επίστρωση 51.000 m² με ηθική επίστρωση για να ικανοποιεί το IMO PSCP και δεν υπάρχουν άλλες άνοδοι υπό την προϋπόθεση. Πολλαπλασιάζοντας αυτές τις ποσότητες με τις αντίστοιχες τιμές μονάδας προκύπτει το εξής αποτέλεσμα.

Αρχική επένδυση = (5.569,2 x 2.275) + (51.000 x 35) = **14.454.930 €**



Διάγραμμα 4. Παρουσίαση κόστους αρχικής επένδυσης για κάθε περίπτωση.

✚ Κόστος Εκμετάλλευσης

Στο κόστος εκμετάλλευσης λαμβάνονται υπόψη πέντε βασικά στοιχεία:

- Κόστος ανανέωσης χάλυβα
- Κόστος επισκευής επίστρωσης
- Κόστος αντικατάστασης των ανοδίων

- Κόστος μη διαθεσιμότητας του πλοίου λόγω ξηράς δεξαμενής.
- Απώλεια εισοδήματος λόγω αυξημένου ελαφρού βάρους ως συνέπεια του διπλασιασμού του επιτρεπόμενου ορίου διάβρωσης, όπως στην περίπτωση II.

Η αποτελεσματική συντήρηση του πλοίου μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο κατά τον δεξαμενισμό του σε ξηρά αποβάθρα. Ένα πλοίο πρέπει να επισκέπτεται την αποβάθρα 2 φορές κάθε 5 χρόνια. Υποθέτουμε ότι οι εργασίες επισκευής χάλυβα και επίστρωσης γίνονται αποκλειστικά κατά τη διάρκεια του δεξαμενισμού κάθε 5 χρόνια.

Πίνακας 8. Παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του κόστους εκμετάλλευσης

Nr.	Item	Value	Source
1	Κόστος επισκευής Επίστρωσης PSPC ₁₅	61.35 €/m ²	Hempel Marine Coating Rates: 54 €/m ² grit blasting + 4.85 €/m ² paint application + 2.5 €/m ² paint
2	Κόστος επισκευής Επίστρωσης TSCF ₂₅	96.62 € /m ²	Our company data
3	Κόστος αντικατάστασης των ανοδίων	72 €/anode	Bahrain 2018 rates
4	Κόστος ανανέωσης χάλυβα ποιότητας A	3.900 €/ton	Bahrain 2018 rates
5	Κόστος ανανέωσης χάλυβα CRS	5.800 €/ton	Bahrain 2018 rates
6	Τιμή Σκραπ ανά τόνο χάλυβα ποιότητας A	325 €/ton	475 \$/ton China Jan. 2018
7	Τιμή Σκραπ ανά τόνο χάλυβα ποιότητας CRS	325 €/ton	Own estimation
8	Κόστος ενοικίασης ξηράς αποβάθρας	2.885 €/day	Bahrain 2018 (LXBX0.5\$/dag)
9	Time Charter – Χρονοναύλωση για ένα Δεξαμενόπλοιο τύπου Panamax	15.514 €/day	

Το κόστος ανανέωσης χάλυβα, επισκευής επίστρωσης, αντικατάστασης ανοδίων και το κόστος ενοικίασης της αποβάθρας βασίζονται στον τιμοκατάλογο του 2018 του ναυπηγείου ASRY του Μπαχρέν.

Κόστος ανανέωσης χάλυβα

Η ποσότητα του χάλυβα που αντικαθίσταται κατά τη διάρκεια της ξηρής δεξαμενής προκύπτει από τις ζημιές από διάβρωση, ρωγμές και παραμόρφωση, αλλά εξαιρουμένων των ατυχημάτων μπορεί να αντιπροσωπεύεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

Κόστος χάλυβα = Καθαρό βάρος δεξαμενών x Κόστος ανανέωσης χάλυβα (Εξίσωση 2)

Αν χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση 1 παίρνουμε την αντικατάσταση της ποσότητας χάλυβα ως συνέπεια της διάβρωσης.

Περίπτωση I και III:

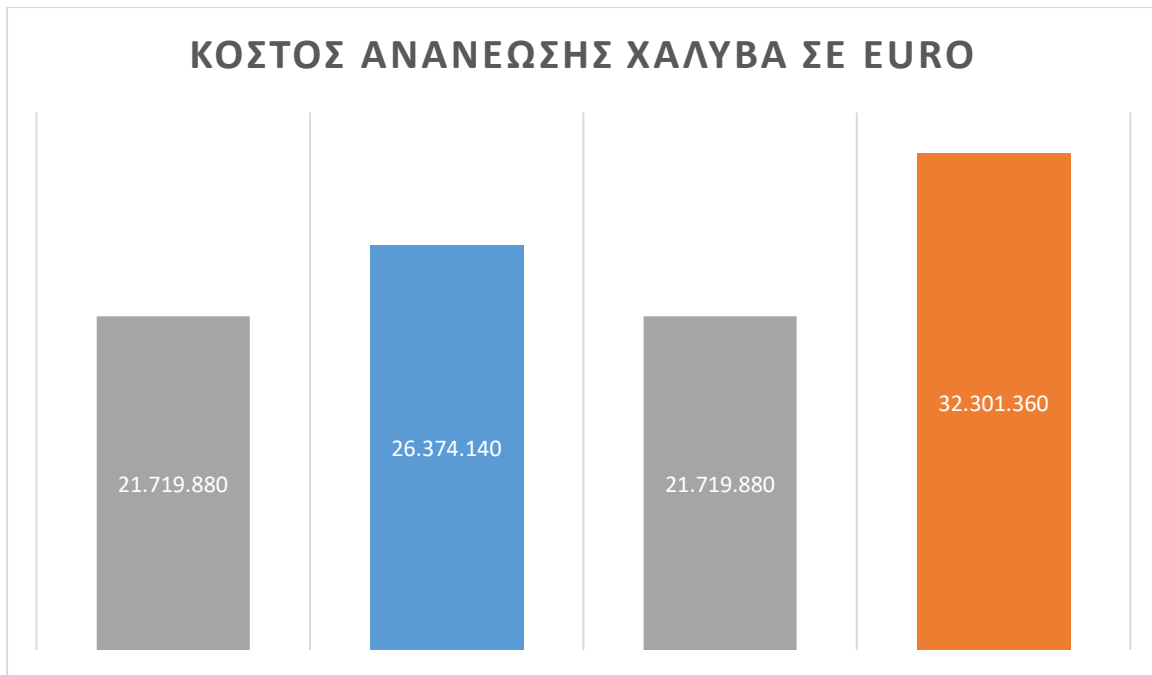
Κόστος ανανέωσης χάλυβα = 5.569,2 ton x 3.900 €/ton = **21.719.880 €**

Περίπτωση II:

Κόστος ανανέωσης χάλυβα = 6.762,6 ton x 3.900 €/ton = **26.374.140 €**

Περίπτωση IV:

Κόστος ανανέωσης χάλυβα = 5.569,2 ton x 5.800 €/ton = **32.301.360 €**



Διάγραμμα 5. Παρουσίαση κόστους ανανέωσης χάλυβα

Κόστος επισκευής επίστρωσης

Η επιφάνεια προς επαναβαφή υπολογίζεται με βάση την εξίσωση:

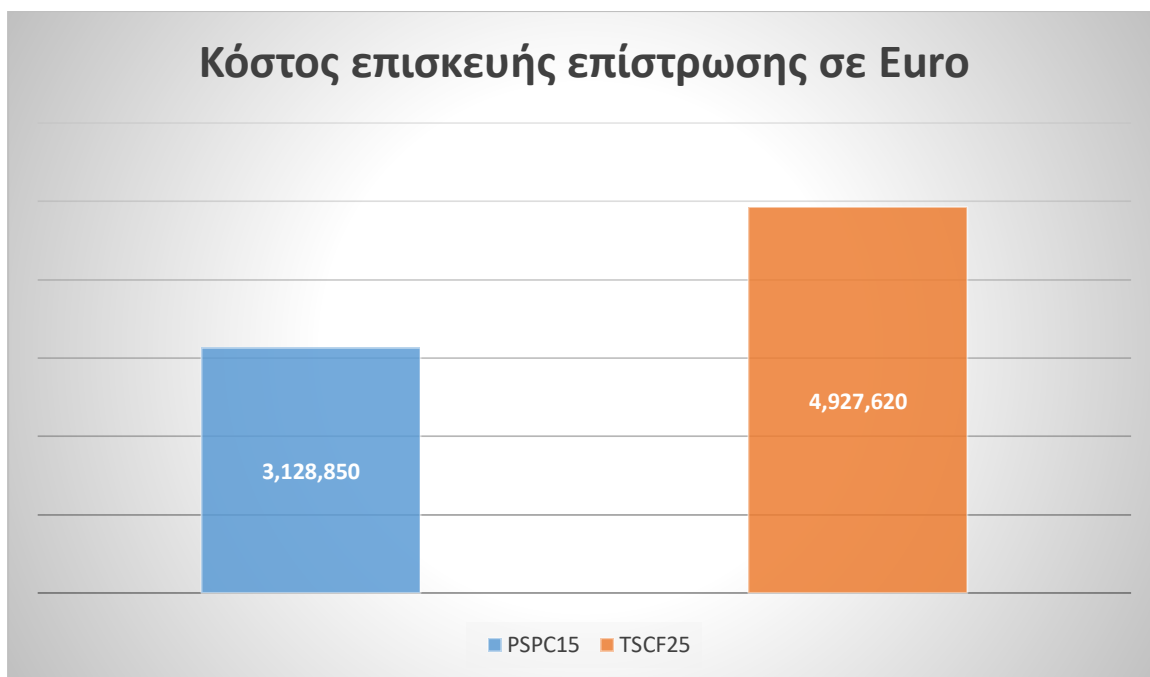
Κόστος επαναβαφής = Επιφάνεια δεξαμενών x Κόστος επισκευής επίστρωσης **(Εξίσωση 3)**

Περίπτωση με επίστρωση PSPC₁₅

Κόστος επαναβαφής = 51.000 m² x 61.35 €/m² = **3.128.850 €**

Περίπτωση με επίστρωση TSCF₂₅

Κόστος επαναβαφής = 51.000 m² x 96.62 €/m² = **4.927.620 €**



Διάγραμμα 6. Παρουσίαση κόστους επισκευής επίστρωσης

Αντικατάσταση ανοδίων

Οι άνοδοι πρέπει να αντικαθίστανται κάθε 5 χρόνια υπό κανονικές συνθήκες.

Λόγω της καλής απόδοσης της επίστρωσης TSCF₂₅ (Τύπος III) υποθέτουμε ότι η αντικατάσταση απαιτείται μόνο μία φορά κάθε 10 χρόνια. Οι δεξαμενές που είναι κατασκευασμένες από ανθεκτικό στη διάβρωση χάλυβα (Τύπου IV) δεν απαιτούν καθόλου άνοδους.

Κόστος αντικατάστασης ανοδίων = Αριθμός ανοδίων x Κόστος/τεμάχιο άνοδων (**Εξίσωση 4**)

Κόστος αντικατάστασης ανοδίων = 325 x 72 = **23.400 €**

Κόστος μη διαθεσιμότητας του πλοίου λόγω ξηράς δεξαμενής

Όταν ένα πλοίο βρίσκεται σε ξηρά αποβάθρα, τα έσοδα χάνονται επειδή το πλοίο δεν μεταφέρει φορτίο. Στο Μπαχρέιν το κόστος ενοικίασης ξηράς αποβάθρας ανά ημέρα υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το μήκος του πλοίου με το πλάτος και με 0,4 €. Για το δεξαμενόπλοιο αναφοράς ανέρχεται σε 2.885 €/ημέρα.

Το συνολικό κόστος της μη διαθεσιμότητας προκύπτει πολλαπλασιάζοντας τον τελικό αριθμό ημερών με το ισοδύναμο Time Charter και προσθέτοντας το κόστος της αποβάθρας ανά ημέρα.

**Κόστος Δεξαμενισμού = (Συνολικός αριθμός ημερών) x (TC + Κόστος αποβάθρας/ημέρα)
(Εξίσωση 5)**

Αν για παράδειγμα αναλογιστούμε ότι ένα στάνταρντ χρόνος για δεξαμενισμό 5ετίας είναι περίπου 35 ημέρες, τότε το κόστος διαμορφώνεται ως εξής:

Κόστος Δεξαμενισμού = 35 x (15.514 €/day + 2.885 €/day) = 643.965 €

Απώλεια εισοδήματος λόγω αυξημένου ελαφρού βάρους ως συνέπεια του διπλασιασμού του επιτρεπόμενου ορίου διάβρωσης

Αυτό το κόστος ισχύει μόνο στα δεξαμενόπλοια στην Περίπτωση II.

Το πλοίο ναυλώνεται σε TC (Time Charter) 15.514 €/ημέρα. Αυξάνοντας το επίδομα διάβρωσης το ελαφρύ αυξάνεται κατά 1.193,4 τόνους ενώ η ικανότητα μεταφοράς φορτίου μειώνεται με τον ίδιο αριθμό. Αυτή η απώλεια ισχύει μόνο κατά τη διάρκεια ταξιδιών με φορτίο. Υποθέτουμε ότι το δεξαμενόπλοιο είναι φορτωμένο το 50% του χρόνου.

Απώλεια εισοδήματος = $\{[(15.514 \times 365) / 75.000] \times 1.193,4\} / 2 = 45.051,7 \text{ €/έτος}$

Υπολειμματική αξία

Μετά από 25 χρόνια υπηρεσίας το πλοίο πωλείται στην αξία του παλιοσιδήρου στην τιμή των 325 €/τόνο. Οι δεξαμενές που κατασκευάζονται με CRS χάλυβα επίσης διαλύονται στα 325 €/τόνο γιατί δεν πιστεύουμε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις πολύτιμων κραμάτων θα επηρεάζουν την τιμή διάλυσης. Η υπολειμματική αξία προκύπτει πολλαπλασιάζοντας το ελαφρύ της δεξαμενής με την τιμή του παλιοσιδήρου (scrap).

Συμπέρασμα

Μετά την ολοκλήρωση της μελέτης προκύπτουν κάποια σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με το ποια περίπτωση αξίζει περισσότερο με βάση την αρχική επένδυση και έχει το βέλτιστο κόστος εκμετάλλευσης.

Με βάση την αρχική επένδυση παρατηρούμε ότι η Περίπτωση I έχει το μικρότερο κόστος και είναι η περισσότερο συμφέρουσα τεχνική σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις. Ακολουθεί η Περίπτωση III, στην συνέχεια η Περίπτωση II και στο τέλος με την μεγαλύτερη αρχική επένδυση βρίσκεται η Περίπτωση IV.

Όσον αφορά το κόστος εκμετάλλευσης, πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί σε πέντε βασικά στοιχεία τα οποία ήταν (ο υπολογισμός του κόστους ανανέωσης χάλυβα, το κόστος επισκευής της επίστρωσης, το κόστος αντικατάστασης των ανόδων, το κόστος δεξαμενισμού και η απώλεια εισοδήματος).

Αναφορικά με το κόστος ανανέωσης χάλυβα οι περιπτώσεις I & III έχουν το μικρότερο κόστος εκμετάλλευσης σε σχέση με τις περιπτώσεις II & IV. Επίσης, παρατηρούμε μεγάλη διαφορά στο κόστος ανανέωσης χάλυβα μεταξύ των περιπτώσεων I & III με την περίπτωση IV και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην χρήση χάλυβα CRS στη περίπτωση IV, ο οποίος έχει σχεδόν την διπλάσια τιμή από τον χάλυβα ποιότητας A.

Στην συνέχεια διαπιστώνουμε ότι και το κόστος επισκευής της επίστρωσης στην περίπτωση I είναι μικρότερο σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις. Σημαντικός παράγοντας για το χαμηλό κόστος επισκευής είναι το σύστημα επίστρωσης PSPC το οποίο χρησιμοποιείται και είναι οικονομικότερο σε σχέση με το σύστημα TSCF.

Σχετικά με το κόστος αντικατάστασης των ανόδων πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί μόνο για την περίπτωση I & II (αλλαγή ανόδων κάθε 5 χρόνια), όπου το κόστος ήταν το ίδιο. Λόγω της καλής απόδοσης της επίστρωσης TSCF₂₅ (Περίπτωση III) υποθέσαμε ότι η αντικατάσταση

απαιτείται μόνο μία φορά κάθε 10 χρόνια, ενώ οι δεξαμενές που είναι κατασκευασμένες από ανθεκτικό στη διάβρωση χάλυβα (Περίπτωση IV) δεν χρειάζονται καθόλου ανόδους.

Στην περίπτωση του κόστους δεξαμενισμού, πολλαπλασιάσαμε τον τελικό αριθμό ημερών με το ισοδύναμο Time Charter και προσθέσαμε το κόστος της αποβάθρας ανά ημέρα και υπολογίσαμε το κόστος το οποίο είναι ίδιο σε όλες τις περιπτώσεις. Για την απώλεια εισοδήματος πραγματοποιήθηκε υπολογισμός μόνο για την Περίπτωση II.

Εξετάζοντας τον αντίκτυπο των παραπάνω χρηματοοικονομικών παραμέτρων και την κατάταξη των υποθέσεων φαίνεται ότι στην Περίπτωση I υπάρχει μία εξισορρόπηση και είναι η βέλτιστη επιλογή συστήματος με βάση τα τωρινά δεδομένα τα οποία επικρατούν στην ναυτιλιακή βιομηχανία.

Για το τέλος, παρά τον υπολογισμό του κόστους ανανέωσης του, όσον αφορά τον χάλυβα CRS της περίπτωσης IV θα πρέπει να επισημάνουμε ότι λόγω των ιδιοτήτων του και της αντοχής του στην διάβρωση δεν είναι απαραίτητο να πραγματοποιήσουμε την αντικατάσταση του στο ίδιο χρονικό διάστημα με τον κοινό ναυπηγικό χάλυβα όπως στις υπόλοιπες τρεις περιπτώσεις. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η Περίπτωση IV εν τέλει να έχει το μικρότερο κόστος εκμετάλλευσης και να είναι η βέλτιστη επιλογή συστήματος.

Επίλογος

Η διάβρωση στις δεξαμενές έρματος όπως περιγράφεται στην παρούσα διπλωματική εργασία, είναι ένα πρόβλημα που ξεκινά από την αρχή της ιστορίας της ναυπηγικής και πηγάζει από την φυσική ανάγκη για έρμα. Εάν παραμεληθεί ή αγνοηθεί, θα θέσει σε κίνδυνο την ασφάλεια του πληρώματος και του πλοίου, θα προκαλέσει οικονομική καταστροφή και ενδέχεται να έχει δυσμενείς επιπτώσεις προς το περιβάλλον.

Μέσω αυτής της εργασίας παρουσιάζονται οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να αποφευχθεί, να προβλεφθεί αλλά να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της διάβρωσης των δεξαμενών έρματος. Βασικός στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν να παρουσιάσει και να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της διάβρωσης των δεξαμενών έρματος, μέσα από μια μοναδική προοπτική. Αντί να ακολουθηθεί η προσέγγιση μέσω εργαστηριακών πειραμάτων, η διάβρωση μελετήθηκε σε δεξαμενές έρματος σε μια πραγματική κατάσταση. Επίσης, έγινε προσέγγιση με μια οικονομική ανάλυση πρώτου επιπέδου (Κεφάλαιο 8). Αυτή η ανάλυση έδειξε ότι τόσο η αντικατάσταση της παρούσας επίστρωσης με τη χρήση μιας πιο ανθεκτικής κατηγορίας υλικών, όσο και η κατασκευή πλοίων που χρησιμοποιούν ανθεκτικούς στη διάβρωση τύπους χάλυβα μπορεί πράγματι να είναι οικονομικά βιώσιμες εντός των επόμενων δεκαετιών. Επομένως, χρειάζεται μια ριζική επανεξέταση της έννοιας του έρματος για να απελευθερωθούν οι μελλοντικές γενιές πλοίων από το πρόβλημα της διάβρωσης αυτού του είδους.

Η οικονομική ανάλυση οδηγεί στην αντιμετώπιση δυο βασικών ερευνητικών κατευθύνσεων με προοπτική για το εγγύς μέλλον. Πρώτον, υπάρχει η επιλογή να σχεδιαστούν και να συγκριθούν διαφορετικοί τύποι επικάλυψης, ως προς τον τύπο τους και την φυσικοχημική αντοχή στην πίεση που ασκείται στο περιβάλλον της δεξαμενής έρματος. Δεύτερον, η έρευνα θα πρέπει να έχει ως αντικείμενο τον σχεδιασμό ανθεκτικών στη διάβρωση τύπων χάλυβα για εφαρμογή στις συγκεκριμένες συνθήκες επαφής με το έρμα. Καθώς η επί τόπου ανάλυση καινοτόμων τύπων χάλυβα ή επικαλύψεων θα ήταν μάλλον αδύνατη (καθώς δεν υπάρχουν πλοία που να διαθέτουν τα αναφερόμενα υλικά), μια νέα τεχνική πρόκληση θα έγκειται στον κατάλληλο σχεδιασμό ενός συστήματος δοκιμών. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά των επιστρώσεων και των τύπων χάλυβα μπορούν να συσχετιστούν με πιθανή εξέλιξη της διάβρωσης ή την απουσία αυτής, οδηγώντας σε καινοτόμες μηχανικές λύσεις για ένα πρόβλημα που προέρχεται από την αρχαιότητα.

Πράγματι, “η σκουριά σε ένα πλοίο δεν είναι απαραίτητη”.

Βιβλιογραφία

Abaqus (2014). Dassault Systèmes Simulia Corporation. Abaqus version 6.14 documentation. Analysis user's manual. Providence, RI: Dassault Systèmes Simulia Corporation

ABS (2007). Guidance notes on the inspection, maintenance and application of marine coating systems, 3rd edition.

ABS (2017). Guidance notes on maintenance and repair of protective coating.

ABS (2017). Guidance notes on the application and inspection of marine coating systems.

AMTEC (2008). Amtec Guide to Cathodic Protection in Ballast Tanks and Cargo Holds.

ASRY (2018). Bahrain drydocks, tariff.

Ballard R.D. (2002). Iron Age Shipwrecks in Deep Water off Ashkelon, Israel, *American Journal of Archaeology*, 106 (2), 151-168.

Barrass B. and Derret D.R. (2006). *Ship Stability for Masters and Mates*, 6th edition. Oxford Stanford Maritime London, Elsevier.

Baxter R. & Britton J. (2008). *Offshore Cathodic Protection 101 What it is, and how it works*.

Coates J.F. (1987). Reconstructing the ancient Greek trireme warship. *Endeavour*, 11(2), 94-99.

De Baere Kris, Verstraelen Helen, Rigo Philippe, Van Passel Steven, Lenaerts Silvia & Potters Geert (2013). Reducing the cost of ballast tank corrosion: an economic modeling approach, *Marine Structures* 32, 136-152.

Devanney J. (2006). *The Tankship Tromedy, The Impending Disasters in Tankers*, Second Edition.

DNV GL. (2013). *Sesam user manual Sestra: superelement structure analysis. Version 8.6*. Høvik: DNV GL

DNV / GL_20 (2020). *Corrosion Protection of Ships*.

Exprosoft AS (2009). *Corrosion*, <http://www.exprobase.com/print.aspx>.

Galani K. (2020). The labours and golden apples of maritime history: Large-scale national and international research projects in Greece. *International Journal of Maritime History*, 32(2), 444-450.

Germanischer Lloyd (1997). *Presentation of the 1997 TSCF Guidance Manual for Tanker Structures Tanker Structure Co-Operative Forum, Shipbuilders Meeting, Tokyo, October 2000*.

Gratsos G.A. & Zachariadis P. (2010). Life cycle cost of maintaining the effectiveness of a ships structure and environmental impact of ships design.

Harlaftis G. (2020). Maritime history: A new version of the old version and the true history of the sea. *International Journal of Maritime History*, 32(2), 383-402.

Harlaftis G. & Theotokas I. (2020). *Maritime Business: A Paradigm of Global Business*. Oxford, Oxford University Press. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190224851.013.184>

Harlaftis G. & Theotokas I. & Grammenos C.T. (2010). Maritime business during the twentieth century: Continuity and change. In Costas Grammenos (Eds.), *The handbook of maritime economics and business*, 2nd edition, London. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://doi.org/10.4324/9780203721636>

IACS (2006). Common structural rules for bulk carriers.

(IACS, 2015). International Association of Classification Societies. Guidelines for coating maintenance and repairs for ballast tanks and combined cargo/ballast tanks on oil tankers.

IACS Recommendation 87. Guidelines for Coating Maintenance & Repairs for Ballast Tanks. London: International Association of Classification Societies <https://www.iacs.org.uk/>

IMO Maritime Safety Committee (2006). Performance standard for protective coatings for dedicated seawater ballast tanks in all types of ships and double-side skin spaces of bulk carriers. Resolution MSC.215(82).

Johnsen R. (2004). Cathodic protection, Institutt for Produktutvikling og Materialer, Trondheim.

Καρύδης Π. (2002). 'Επιθεώρηση, Συντήρηση & Επισκευή της Μεταλλικής Κατασκευής του Πλοίου', 2η εκδ., Αθήνα, Εκδόσεις ΕΜΠ.

Kim U-N, Choe I-H, Paik JK. (2009). Buckling and ultimate strength of perforated plate panels subject to axial compression: experimental and numerical invest.

Laiou, Angeliki E. (2002). *The Economic History of Byzantium from the Seventh through the Fifteenth Century*. Dumbarton Oaks Research Library and Collection. ISBN 0-88402-288-289.

Lloyds Register (2005). Tank Coatings Condition Guide, 2nd ed., London, U.K., Lloyd's Register.

Lloyds Register (2006). Tanker Focus, Issue 1, pp. 12.

Melchers RE, Jiang X. (2006). Estimation of models for durability of epoxy coatings in water ballast tanks. *Ships and Offshore Structures*. 1(1):61–70.

- MGDuff (2009). Cathodic protection of ship's ballast tanks using sacrificial anodes, http://www.mgduff.co.uk/pdfs/commercial/Ballast_Tank_Protection.pdf
- Michaletos I. (2006). The Hellenic merchant maritime sector: an historical overview. *Ships and shipping*, 6 (8). Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.balkananalysis.com/blog/2005/11/25/the-hellenic-merchant-maritime-sector-a-historical-and-business-overview/>
- Mills G, Eliasson J. (2006). Factors influencing early crack in marine cargo and ballast tank development. *Journal of Protective Coatings and Linings*. 23(2):10–21.
- OCIMF (2003). Double Hull Tankers are they the Answer, London, U.K., Oil Companies International Marine Forum.
- Paine, L. (2014). *The sea and civilization: a maritime history of the world*. Atlantic Books Ltd.
- Ringsberg JW, Ulfvarson AYJ. (1998). On mechanical interaction between steel and coating in stressed and strained exposed locations. *Marine Structures*. 11(6):231–250.
- GL Rules (2010). Rules for Classification and Construction.
- Safinah (2009). “*Equivalent ballast tank protection*”. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.safinah.co.uk/news/equivalent-ballast-tank-protection.htm>
- Smalwood, R., Pearson, B.R., Brook, P.A., (2003). The influence of dissolved oxygen in seawater on the fretting corrosion of roping steel, Department of Metallurgy and Materials Science, University of Nottingham, Nottingham U.K.
- Tator, K.B. (2004). Risk assessment and economic considerations when coating ballast tanks. Workshop: Coatings for Corrosion Protection: Offshore Oil and Gas Operation Facilities, Marine Pipeline and Ship Structures, Mississippi USA.
- Towers, R. (2007). The Future of Ballast Tank Coatings, NACE International Marine Coatings Summit, Shanghai.
- Zachariadis, P. (2007). The IMO Performance Standard for Protective Coating (PSPC).
- Valentine, V. F., Benamara, H., & Hoffmann, J. (2013). Maritime transport and international seaborne trade. *Maritime Policy & Management*, 40(3), 226-242.
- Van Dokkum, K. (2010). *Ship stability*, 4th edition, Dokmar Maritime Publishers.
- WHO (2010). Available online at <http://www.who.int>. <http://www.who.int/about/en/>.
- Water Ballast Tank Inspection – Larus S.A., Inspectors Seatec.