



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ
(ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ)

Φοιτητής: Δρυμώνης Κωνσταντίνος
Αριθμός μητρώου: 51115022

Επιβλέπων καθηγητής: Ιακωβίδης Ισίδωρος

ΑΘΗΝΑ, 2021

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΡΥΜΩΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
Αριθμός μητρώου: 51115022

Αντιδιαβρωτική προστασία και συντήρηση ναυπηγικής δεξαμενής
(ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ)

Εξεταστική Επιτροπή:

Ιακωβίδης Ισίδωρος
(Λέκτορας)

Πέππα Σοφία
(Επίκουρη Καθηγήτρια)

Χατζικωνσταντής Γεώργιος
(Επίκουρος Καθηγητής)

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Δρυμόνης Κωνσταντίνος του Διονυσίου, με αριθμό μητρώου 51115022 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών, του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών



Δρυμόνης Κωνσταντίνος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου, στον Δρ. Ισίδωρο Ιακωβίδη, λέκτορα του τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών για την βοήθεια και τις πολύτιμες συμβουλές του, στην διεκπεραίωση αυτής της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Γεώργιο Τσινιαράκη, διευθυντή χημείου της εταιρείας Technochrom για τις τεχνικές υποδείξεις, τα μέλη του τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών κυρίου Γεώργιο Χατζηκωνσταντή (επίκουρο καθηγητή), Δρ. Θωμά Μαζαράκο (επίκουρο καθηγητή) και τον κύριο Αναστάσιο Μισθό (μέλος ΕΠΕΠ) για τις πολύ χρήσιμες συζητήσεις και πληροφορίες που παρείχαν για το πειραματικό μέρος της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω πάνω από όλα την οικογένειά μου, που βρίσκεται πάντα δίπλα μου σε κάθε βήμα της ζωής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται το πρόβλημα της διάβρωσης των ναυπηγικών χαλύβδινων δεξαμενών. Το διαβρωτικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται εκτεθειμένες οι δεξαμενές του πλοίου ή άλλων στατικών ναυπηγικών κατασκευών ποικίλει ανάλογα με την κατασκευή και τη χρήση της δεξαμενής. Το θαλασσινό ή το γλυκό νερό, το περιεχόμενο της δεξαμενής και ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι οι βασικοί παράγοντες που προκαλούν διάβρωση της μεταλλικής κατασκευής. Αντιδιαβρωτική προστασία εφαρμόζεται σε δεξαμενές των πλοίων, όπως δεξαμενές φορτίου και έρματος, σε πλωτές δεξαμενές και σε δεξαμενές υπεράκτιων κατασκευών. Παρουσιάζονται οι συνηθέστερες μέθοδοι αντιδιαβρωτικής προστασίας που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω περιπτώσεις και διερευνώνται οι δυνατές μέθοδοι εφαρμογής επιστρώσεων και επικάλυψεων που μπορούν να εφαρμοστούν στην περίπτωση ναυπηγικών δεξαμενών, ώστε να εξασφαλίζεται η καλή τους κατάσταση και λειτουργία. Τέλος, εξετάζεται η κατάσταση της εργαστηριακής ναυπηγικής δεξαμενής του τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών του ΠΑ.Δ.Α, στην οποία διεξάγονται πειράματα με μοντέλα υπό κλίμακα, και προτείνονται κατάλληλες μέθοδοι αντιδιαβρωτικής προστασίας για τη συντήρηση της κατασκευής αυτής.

Λέξεις κλειδιά: αντιδιαβρωτική προστασία, συντήρηση, ναυπηγική δεξαμενή, αντιδιαβρωτική επιστρωση, θερμοπλαστική επικάλυψη.

ABSTRACT

In the present dissertation the problem of corrosion of naval steel tanks is examined. The corrosive environment in which the ship tanks or the tanks of other marine structures are exposed, varies depending on the type and use of the tank. Sea water as well as fresh water, the tank content and the atmospheric conditions constitute the main factors that cause corrosion of metallic structures. Anticorrosive protection is applied to various ship tanks such as cargo and ballast tanks, to floating dry dock tanks and to the tanks of several floating platforms and offshore structures. The most commonly methods used in the above-mentioned cases are presented and specific methods of applying coatings and overlays are examined, so that their good condition and functionality is ensured. Finally, the condition of the laboratory naval tank situated at the Department of Naval Architecture of the University of West Attica is examined and appropriate corrosion protection methods are proposed for the maintenance of this tank, in which experiments with scale models are conducted. Suitable methods of anticorrosive protection of the named laboratory tank are proposed.

Keywords: corrosion protection, maintenance, naval tank, anti-corrosion coatings, thermoplastic coatings.

Πίνακας περιεχομένων

A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	1
Εισαγωγή.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Οι ναυπηγικές δεξαμενές	2
1.1 Τύποι ναυπηγικών δεξαμενών.....	3
1.2 Ο ναυπηγικός χάλυβας στην κατασκευή των δεξαμενών.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η διάβρωση των μεταλλικών κατασκευών	10
2.1 Γενικά.....	10
2.2 Το φαινόμενο της διάβρωσης.....	10
2.3 Η διάβρωση των μεταλλικών κατασκευών στο θαλάσσιο περιβάλλον.	12
2.4 Το θαλάσσιο περιβάλλον ως διαβρωτικό μέσο	15
2.5 Ατμοσφαιρική διάβρωση	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Αντιδιαβρωτική προστασία μεταλλικών κατασκευών	21
3.1 Προετοιμασία της μεταλλικής επιφάνειας.....	21
3.2 Αντιδιαβρωτικές επιστρώσεις	22
3.2.1 Βασικά συστατικά των οργανικών επιστρώσεων	24
Α. Τα πιγμέντα	24
Β. Το Συνδετικό μέσο	25
Γ. Οι Διαλύτες	28
3.2.2 Συνήθεις οργανικές αντιδιαβρωτικές επιστρώσεις	29
3.3 Πλαστικές επικαλύψεις.....	31
3.3.1 Πολυαιθυλένιο (<i>PE</i>).....	36
3.3.1.1 Φύλλα πολυαιθυλενίου (<i>Linings</i>)	38
3.3.1.2 Χρώματα πολυαιθυλενίου	39
3.3.2 Πολυπροπυλένιο (<i>PP</i>).....	40
3.3.2.1 Φύλλα πολυπροπυλενίου (<i>Linings</i>)	41
3.3.2.2 Χρώματα πολυπροπυλενίου	42
3.3.3 Πολυβινυλοχλωρίδιο (<i>PVC</i>).....	42
3.3.3.1 Φύλλα πολυβινυλοχλωριδίου (<i>PVC linings</i>).....	43
3.3.3.2 Χρώματα <i>PVC</i>	44
3.3.4 Φθοροπολυμερή (<i>Fluoropolymers</i>)	44
3.3.4.1 Φύλλα φθοροπολυμερών (<i>Linings</i>)	46
3.3.4.2 Χρώματα φθοροπολυμερών	47

3.3.5 Ενισχυμένα πλαστικά (<i>Reinforced plastics</i>).....	48
3.3.5.1 Φύλλα ενισχυμένων πλαστικών (<i>Linings</i>)	50
3.4 Καθοδική προστασία.....	51
3.4.1 Γαλβανική καθοδική προστασία (ή μέθοδος θυσιαζόμενης ανόδου).....	51
3.5.2 Καθοδική προστασία με επιβαλλόμενο ρεύμα.....	52
3.5.3 Καθοδική προστασία δεξαμενών.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Συντήρηση ναυπηγικών κατασκευών.....	55
4.1 Γενικά.....	55
4.2 Τύποι και διάρκεια επιθεωρήσεων σε πλωτή δεξαμενή	55
4.3 Τύποι και διάρκεια επιθεωρήσεων σε πλοία	57
4.4 Διαδικασία συντήρησης.....	58
Β. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Αντιδιαβρωτική προστασία της εργαστηριακής ναυπηγικής δεξαμενής του τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών του ΠΑ.Δ.Α.....	61
5.1 Περιγραφή εργαστηριακής ναυπηγικής δεξαμενής	61
5.2 Αξιολόγηση της τρέχουσας κατάστασης της δεξαμενής.....	67
5.3 Αντιδιαβρωτική επίστρωση και θερμοπλαστική επένδυση σε δοκίμια χάλυβα.....	71
5.4 Προτάσεις αντιδιαβρωτικής προστασίας για τη συντήρηση της δεξαμενής του εργαστηρίου	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα.....	80
Βιβλιογραφία.....	82

Α. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εισαγωγή

Η διάβρωση των μεταλλικών κατασκευών είναι ένα θέμα που απασχολεί πλήρως την επιστήμη της ναυπηγικής. Αυτό συμβαίνει επειδή το πόσο καλά συντηρημένη είναι η συγκεκριμένη κατασκευή καθορίζει και τη διάρκειά της στο χρόνο και το πόσο αποδοτική αλλά και ασφαλής είναι για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, είναι σημαντικό να εκπονεείται, σε πρώτη φάση, κατάλληλη μελέτη για το περιβάλλον στο οποίο θα λειτουργούν οι κατασκευές, έπειτα η μελέτη για την επιλογή κατάλληλων υλικών κατασκευής και να ακολουθεί η επιλογή των κατάλληλων υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για προστασία από την διάβρωση. Τέλος, δεν αρκεί μόνο η αρχική διαδικασία, εφόσον οι ναυπηγικές κατασκευές σχεδιάζονται και κατασκευάζονται για να αντέχουν στο χρόνο, αλλά επιβάλλεται και η κατάλληλη μέριμνα για την συντήρηση αυτών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται παρουσίαση των διάφορων τύπων ναυπηγικών δεξαμενών, παρατίθενται ορισμένα βασικά στοιχεία που αφορούν το χάλυβα ως το σύνηθες κατασκευαστικό υλικό των δεξαμενών και τα είδη της διάβρωσης που προκαλείται από το περιβάλλον στις κατασκευές αυτές, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η διάβρωση που προκαλείται από κόπωση και μηχανική καταπόνηση. Στη συνέχεια, αναλύονται τα σημαντικότερα συστήματα αντιδιαβρωτικής προστασίας που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές αυτές, με έμφαση στις αντιδιαβρωτικές οργανικές επιστρώσεις και στη χρήση θερμοπλαστικών επικαλύψεων, ενώ γίνεται αναφορά στη χρήση συστήματος καθοδικής προστασίας.

Τα θερμοπλαστικά είναι υλικά που δεν χρησιμοποιούνται ακόμα σε μεγάλο βαθμό στις ναυπηγικές κατασκευές και αυτό οφείλεται στο ότι οι οργανικές επιστρώσεις είναι υλικά που έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό και έχουν κατά κύριο λόγο μικρότερο οικονομικό κόστος και καλά προσφερόμενα αποτελέσματα. Στο πειραματικό μέρος της παρούσης εργασίας εξετάζεται η δυνατότητα εφαρμογής θερμοπλαστικής επένδυσης ως μέθοδος αντιδιαβρωτικής προστασίας χαλύβδινης ναυπηγικής δεξαμενής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Οι ναυπηγικές δεξαμενές

Οι δεξαμενές είναι πολύ σημαντικά στοιχεία της ναυπηγικής και των θαλάσσιων κατασκευών. Εξ' ίσου σημαντική είναι η προστασία και η συντήρησή τους, ώστε να διασφαλίζεται η καλή λειτουργία και η αντοχή τους στο χρόνο. Η πλημμελής προστασία και συντήρηση των ναυπηγικών δεξαμενών, όπως και οποιασδήποτε άλλης ναυπηγικής κατασκευής, επιφέρει σημαντικό οικονομικό, λειτουργικό και περιβαλλοντικό κόστος.

Το σύνθηδες πρόβλημα που εμφανίζεται στις μεταλλικές (και κυρίως στις χαλύβδινες) ναυπηγικές δεξαμενές προκαλείται από το φαινόμενο της διάβρωσης. Ο τρόπος και ο ρυθμός διάβρωσης μιας δεξαμενής ποικίλει για κάθε κατασκευαστικό στοιχείο αυτής ανάλογα με τη λειτουργία και τη θέση του. Η διάβρωση διαφορετικών στοιχείων μπορεί να εμφανίζεται με επιβραδυνόμενο ή επιταχυνόμενο ρυθμό ο οποίος καθορίζεται από τις διαβρωτικές συνθήκες του περιβάλλοντος και το υλικό κατασκευής της. Η έκθεση του υλικού κατασκευής της δεξαμενής σε διαφορετικές συνθήκες του περιβάλλοντος ή η λειτουργία της σε συνθήκες κλειστού περιβάλλοντος επηρεάζουν τη συμπεριφορά και την αντοχή της ως προς τη διάβρωση.

Οι δεξαμενές υπόκεινται σε διάβρωση από την ατμόσφαιρα καθώς και από το θαλασσίνο ή γλυκό νερό ή άλλο φορτίο που περιέχεται στο εσωτερικό τους. Η ατμοσφαιρική διάβρωση των μεταλλικών τμημάτων μιας κατασκευής, εμφανίζεται στα δομικά στοιχεία (ελάσματα) από τη στιγμή της παραγωγής τους και προέρχεται από τη διαβρωτική δράση των διαφόρων συστατικών της ατμόσφαιρας (υγρασία, οξυγόνο, ρύποι). Το νερό της ατμόσφαιρας σχηματίζει ένα λεπτό αγωγίμο υμένα πολύ μικρού πάχους (μερικών μm) στην επιφάνεια του μετάλλου και υπό την επίδραση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου προκαλούνται ηλεκτροχημικές δράσεις που οδηγούν στη διάβρωση. Το φαινόμενο εμφανίζεται ιδιαίτερα εύκολα σε σημεία της επιφάνειας του μετάλλου που υπάρχουν ρύποι ή ακαθαρσίες όπως σκόνη, άλατα, κατάλοιπα συγκολλήσεων ή άλλες ετερογένειες. Σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας ο ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα είναι χαμηλός επειδή η ατμοσφαιρική διάβρωση έχει άμεση σχέση με το ποσοστό υγρασίας του αέρα και τη συγκέντρωση οξυγόνου. Οι μεταλλικές κατασκευές διαβρώνονται σε υδατικό περιβάλλον όπως το θαλασσίνο, το γλυκό και το υφάλμυρο νερό καθώς και σε κάθε διάλυμα που εμφανίζει ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το θαλασσίνο νερό είναι από τη φύση του ηλεκτρολύτης με υψηλή διαβρωτικότητα λόγω της περιεκτικότητάς του σε αλάτι (χλωριούχο νάτριο). Για τον λόγο αυτό, ο διεθνής οργανισμός ναυτιλίας (IMO) καθορίζει τις διαδικασίες και τα πρότυπα για την αντιδιαβρωτική προστασία των πλωτών κατασκευών καθόλη τη διάρκεια της ζωής τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τις κατάλληλες διαδικασίες συντήρησης και τις απαιτούμενες επισκευές σε τακτά χρονικά διαστήματα [1]. Επιπλέον οι ναυπηγικές δεξαμενές είναι εκτεθειμένες στη βακτηριακή διάβρωση (*bacterial corrosion*), που προκαλείται από μικροοργανισμούς του περιβάλλοντος οι οποίοι έρχονται σε επαφή με την εκτεθειμένη επιφάνεια της κατασκευής. Αυτός ο τύπος διάβρωσης εμφανίζεται σε περιβάλλον που ευνοεί την ανάπτυξη βακτηριακής δραστηριότητας. Οι συνθήκες που ευνοούν τη βακτηριακή διάβρωση περιλαμβάνουν:

- Στάσιμα νερά στα οποία παρατηρείται έλλειψη οξυγόνου.
- Παρουσία βακτηριδίων που τρέφονται και αναπτύσσονται από συστατικά που περιέχονται σε οργανικά υλικά, όπως υδρογονάνθρακες, π.χ αργό πετρέλαιο ή ορισμένοι τύποι επιστρώσεων ή βαφών.
- Παρουσία θειούχων ενώσεων στο θαλασσινό νερό.
- Θερμοκρασίες που ευνοούν την ανάπτυξη μικροοργανισμών (20 - 40 °C).

Στα πλοία συναντάμε βακτηριακή διάβρωση συνήθως στις δεξαμενές πετρελαίου, δεξαμενές έρματος και στις σωληνώσεις των δεξαμενόπλοιων που μεταφέρουν πετρέλαιο (*tanker*). Η προσπάθεια μείωσης των παραγομένων ρύπων έχει οδηγήσει στη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (*VLSFO* και *ULSGO*) τα οποία δεν ευνοούν την εμφάνιση βακτηριακής διάβρωσης [2].

1.1 Τύποι ναυπηγικών δεξαμενών

Οι πιο γνωστές δεξαμενές των πλοίων και των πλωτών κατασκευών είναι οι δεξαμενές έρματος, πετρελαίου, καυσίμων, λιπαντικών λαδιών και καθαρού νερού. Υπάρχουν όμως και δεξαμενές που δεν είναι τόσο γνωστές αν και είναι σημαντικές για τη λειτουργία του πλοίου [3]. Αυτές υφίστανται διάβρωση και φθορά στον ίδιο βαθμό με τις πρώτες.

Δεξαμενές θαλάσσιου έρματος (*Ballast tanks*)

Οι δεξαμενές έρματος εμφανίζουν επιταχυμένο ρυθμό διάβρωσης που προκαλείται από τις διαδικασίες ερματισμού και αφερματισμού, αλλά και από την κόπωση που προκαλείται στο μέταλλο της κατασκευής από το έρμα. Εφόσον οι δεξαμενές αυτές διαθέτουν αντιδιαβρωτική προστατευτική επίστρωση εκτίθενται μόνο σε τοπική διαβρωτική φθορά η οποία προκαλεί βελονοειδή διάβρωση (*pitting corrosion*) ή διάβρωση με αύλακες (*grooving corrosion*) στην επιφάνεια οριζόντιων στοιχείων της κατασκευής. Σε περιπτώσεις αστοχίας της αντιδιαβρωτικής επίστρωσης προκαλείται διάβρωση στα διαμήκη κατασκευαστικά στοιχεία [2].

Οι μεταλλικές επιφάνειες των δομικών στοιχείων της δεξαμενής που πλένονται με νερό εμφανίζουν βελονοειδή διάβρωση λόγω της εγκάρσιας πρόσκρουσης του νερού, η οποία με την πάροδο του χρόνου εξελίσσεται σε διάβρωση με αύλακες ή διάβρωση σε μορφή λεπίδας κατά την κατεύθυνση ροής του νερού. Σε περίπτωση που η δεξαμενή φορτίου ή έρματος γεμίσει με θαλασσινό νερό και έπειτα δεν πλυθεί, τότε μπορεί να προκληθεί διάβρωση με την μορφή αυλάκων καθώς και διάβρωση βελονισμών στις οριζόντιες αλλά και στις κατακόρυφες επιφάνειες των κατασκευαστικών στοιχείων από τα παραμένοντα (λιμνάζοντα) στάσιμα νερά. Αντίστοιχα υπολείμματα νερού λόγω κατακράτησης του φορτίου στις δεξαμενές φορτίου, προκαλούν διάβρωση με βελονισμούς στις οριζόντιες επιφάνειες των στοιχείων κατασκευής και μάλιστα παρατηρείται έντονα στα ελάσματα του περιβλήματος του πυθμένα και στα πρυμναία άκρα της δεξαμενής, από την μη

ολοκληρωτική αποστράγγιση των νερών λόγω και της πρυμναίας διαγωγής. Εάν τα ελάσματα του πυθμένα έχουν επικαλυφθεί με εποξειδική επίστρωση, σε περίπτωση που υπάρξει τοπική καταστροφή της βαφής τότε δημιουργείται έντονη διάβρωση με βελονισμούς στα σημεία αυτά, εάν ωστόσο, δεν υπάρχει τοπική καταστροφή της βαφής, τότε η διάβρωση είναι αμελητέα [2].

Δεξαμενές πετρελαίου (*Oil tanks*)

Ένα πλοίο μπορεί να μεταφέρει επεξεργασμένο ή ακατέργαστο πετρέλαιο. Το ακατέργαστο πετρέλαιο περιέχει ποσότητες αλμυρού νερού το οποίο απομακρύνεται μετά από την επεξεργασία του στα διυλιστήρια. Η παρουσία αλμυρού νερού αυξάνει το ρυθμό διάβρωσης των δεξαμενών που το μεταφέρουν. Επιπλέον, οι δεξαμενές αυτές υποβάλλονται σε θέρμανση προκειμένου το φορτίο να μπορεί να συντηρείται σε λεπτόρευστη μορφή και να είναι διαχειρίσιμο, γιατί σε διαφορετική περίπτωση γίνεται λασπώδες και δυσχεραίνεται η μεταφορά του μέσω αγωγών. Η θέρμανση επιταχύνει το ρυθμό διάβρωσης των μεταλλικών επιφανειών της δεξαμενής.

Δεξαμενές λαδιού υδραυλικού συστήματος (*Hydraulic oil tanks for winches*)

Οι δεξαμενές λαδιού υδραυλικού συστήματος διαχωρίζονται ανάλογα με τον σκοπό για τον οποίο προορίζονται σε:

- Δεξαμενές λαδιού υδραυλικού συστήματος για τις βαλβίδες (υπάρχει ξεχωριστή δεξαμενή για το λάδι που χρησιμοποιείται στο υδραυλικό σύστημα για τις βαλβίδες έρματος, για τις βαλβίδες καυσίμων κ.ο.κ).
- Δεξαμενές λαδιού υδραυλικού συστήματος βαρούλκων (αυτές οι δεξαμενές τοποθετούνται έξω από το μηχανοστάσιο).
- Δεξαμενές λαδιού υδραυλικού συστήματος πηδαλίου.

Δεξαμενές νερού (*Fresh water tanks*)

Αυτές περιλαμβάνουν:

- Δεξαμενές καθαρού νερού (τουλάχιστον 2, ανάλογα με το μέγεθος του σκάφους και χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση καθαρού νερού για χρήσεις υγιεινής και για χρήση στο μηχανοστάσιο και στο κατάστρωμα).
- Δεξαμενή απεσταγμένου νερού τροφοδοσίας το οποίο χρησιμοποιείται στο *boiler* του πλοίου για να παραχθεί ατμός.
- Δεξαμενή *Cascade* (γνωστή και ως ‘καυτό πηγάδι’ (*hot well*) και είναι τμήμα του συστήματος του λέβητα (*boiler*)).
- Δεξαμενή νερού ψύξης πρύμνης (τροφοδοτεί κύκλωμα σωληνώσεων στην περιοχή της έλικας, με σκοπό την ψύξη του). Η δεξαμενή αυτή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως δεξαμενή καθαρού νερού για το πλοίο.

Δεξαμενές καταλοίπων (*Slop tanks*)

Σε αυτές τις δεξαμενές αποθηκεύονται μείγματα νερού με πετρελαιοειδή που προκύπτουν από την πλύση δεξαμενής φορτίου μετά την εκφόρτωση. Ο αριθμός τους ποικίλει ανάλογα με τη χωρητικότητα του σκάφους.

Δεξαμενές λάσπης (*Sludge tanks*)

Οι δεξαμενές αυτού του τύπου εγκαθίσταται στο μηχανοστάσιο και χρησιμοποιείται για να αποθηκεύονται όλα τα λιπαντικά λάδια και καύσιμα που παραμένουν στα φίλτρα καθαρισμού. Στις δεξαμενές καταλοίπων και λάσπης, συνήθως δεν εμφανίζονται στο εσωτερικό τους σημαντικά προβλήματα διάβρωσης, λόγω της ελαιώδους σύστασης του περιεχομένου, το οποίο έχει προστατευτική επίδραση στις μεταλλικές επιφάνειες της δεξαμενής.

Δεξαμενές σεντίνας (*Bilge tanks*)

Τα νερά και τα καύσιμα που διαρρέουν από το μηχανοστάσιο συλλέγονται στις δεξαμενές αυτές και υποβάλλονται σε διαχωρισμό σε ξεχωριστή δεξαμενή. Με αύξηση της θερμοκρασίας σε κατάλληλα επίπεδα, διαχωρίζεται το μεγαλύτερο ποσοστό του πετρελαίου από το νερό και επαναχρησιμοποιείται, ενώ το νερό αποβάλλεται είτε στο λιμάνι που βρίσκεται ή θα βρεθεί το πλοίο ή σε άλλη ξεχωριστή δεξαμενή.

Δεξαμενή διαρροής (*Leak off tanks*)

Πρόκειται για μια μικρή δεξαμενή προσαρμοσμένη κατάλληλα σε ιδιαίτερη θέση του κύριου κινητήρα και σε όλους τους βοηθητικούς κινητήρες για την ανίχνευση τυχόν διαρροής καυσίμου. Η δεξαμενή αυτή έχει στόμιο και πλωτήρα. Εάν υπάρχει διαρροή μικρής ποσότητας καυσίμου, αυτό θα εισέλθει στη δεξαμενή δια μέσω του στομίου, εάν όμως η διαρροή είναι μεγάλη, αντί να συμβεί αυτό, ανυψώνεται η στάθμη του περιεχομένου της δεξαμενής. Όταν ανυψωθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να μετακινηθεί ο πλωτήρας, ενεργοποιείται προειδοποιητικός συναγερμός.

Δεξαμενή λυμάτων (*Sewage holding tanks*)

Σ' αυτή αποθηκεύονται τα λύματα που παράγονται από το πλήρωμα του πλοίου. Στις δεξαμενές αυτές η διάβρωση μπορεί να είναι σημαντική, αντίστοιχη αυτής που εμφανίζεται στις δεξαμενές έρματος του πλοίου και οφείλεται στη διαβρωτική δράση του περιεχομένου.

Πλωτές δεξαμενές (*Floating dry docks*)

Οι πλωτές δεξαμενές είναι κατασκευές που βυθίζονται στο νερό προκειμένου να βρεθούν πιο κάτω από το βύθισμα του πλοίου και έπειτα να το σηκώσουν και να το

βγάλουν πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Σύμφωνα με τον *Det Norske Veritas (DNV)* [4]:

“Πλωτή δεξαμενή είναι ένας τύπος πλωτήρα για δεξαμενισμό πλοίων, που διαθέτει θαλάμους πλευστότητας και διατομή σχήματος U για την ανύψωση ενός πλοίου από το νερό”. Οι πλωτές δεξαμενές διαχωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Τύπος *Caisson* (υδατοστεγής θάλαμος): δεξαμενή στην οποία ο πλωτήρας του πυθμένα και οι δύο πλευρές είναι συνεχή και αδιαχώριστα.
- Τύπος *Pontoon*: δεξαμενή στην οποία οι πλευρές είναι συνεχείς και ο πυθμένας αποτελείται από μεμονωμένους μη συνεχόμενους πλωτήρες. Οι πλωτήρες συνδέονται με τις πλευρές είτε μόνιμα είτε με δυνατότητα απόσπασης.

Σύμφωνα με το Αμερικανικό Γραφείο Ναυτιλίας (American Bureau of Shipping-ABS) καθορίζονται οι ακόλουθοι τύποι δεξαμενών [5]:

- **Τύπος μονοκόματης δεξαμενής** (*One piece dry dock*) στην οποία οι πλευρές και ο πλωτήρας είναι συνεχόμενα και αδιαχώριστα κατά μήκος της δομής.
- **Τύπος συνεχόμενων πλευρών και τμηματικών πλωτήρων** (*Continuous-wing, Sectional pontoon*). Σ’ αυτόν τον τύπο, οι πλευρές είναι συνεχόμενες και ο πυθμένας αποτελείται από ξεχωριστούς ή μόνιμα συνδεδεμένους τμηματικούς πλωτήρες.
- **Τύπος συνεχόμενων πλωτήρων και ασυνεχών πλευρών** (*Continuous pontoon and discontinuous wing walls*).
- **Τμηματικός τύπος** (*Sectional type*) με ασυνεχή τμήματα πλευρών και πλωτήρα στον πυθμένα με δυνατότητα περιστροφής ή κάθετης κίνησης ή και τα δύο μαζί όταν αλληλεπιδρά με ασυνεχή τμήματα.

1.2 Ο ναυπηγικός χάλυβας στην κατασκευή των δεξαμενών

Στη ναυπηγική το πιο συνηθισμένο μέταλλο που χρησιμοποιείται είναι ο χάλυβας. Ο χάλυβας είναι κράμα σιδήρου (Fe) με άνθρακα (C) με περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 2 %wt. Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε άνθρακα, καθορίζονται οι ιδιότητες του κάθε είδους και προκύπτουν οι διαφορετικοί τύποι κοινού ναυπηγικού χάλυβα και οι χάλυβες υψηλής αντοχής.

Κοινός ναυπηγικός χάλυβας (*mild steel*)

Ο κοινός ναυπηγικός χάλυβας είναι κράμα το οποίο δεν έχει υποστεί ιδιαίτερη επεξεργασία και επομένως περιέχει ελάχιστα κραματικά στοιχεία για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του. Το πιο συνηθισμένο στοιχείο που περιέχεται είναι το μαγγάνιο (Mn). Ο κοινός ναυπηγικός χάλυβας μπορεί να είναι υποευθηκτοειδής (περιέχει άνθρακα σε

ποσοστό μικρότερο από 0.80 %wt), ευτηκτοειδής (περιέχει άνθρακα σε ποσοστό 0.80 % wt), και υπερευτηκτοειδής (περιέχει άνθρακα από 0.80 μέχρι 2.00 %wt).

Οι κοινοί ναυπηγικοί χάλυβες διακρίνονται στις ακόλουθες ονομαστικές κατηγορίες [2]:

- **Κατηγορία A (Grade A):** συνήθως χρησιμοποιείται για ελάσματα πάχους μέχρι 19 mm.
- **Κατηγορία B (Grade B):** χρησιμοποιείται όταν απαιτούνται πάχη μεγαλύτερα των 25 mm, αλλά και σε ειδικές χρήσεις, όπως ελάσματα στο κυρτό της γάστρας πάχους μέχρι 16 mm.
- **Κατηγορία D (Grade D):** χρησιμοποιείται 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. Οι μηχανικές ιδιότητες του κοινού ναυπηγικού χάλυβα παρατίθενται στους ακόλουθους πίνακες 1 έως 4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Αντοχή (UTS) για διάφορες κατηγορίες κοινού ναυπηγικού κατασκευαστικού χάλυβα γάστρας πάχους μέχρι 100 mm [6].

Κατηγορία χάλυβα	Αντοχή σε εφελκυσμό N/mm^2 (kgf/mm^2 , ksi)	Όριο διαρροής N/mm^2 (kgf/mm^2 , ksi)	Επιμήκυνση θραύσης %
A B D E	400-520 ⁽¹⁾ (41-53, 58-75)	≥ 235 (24, 34)	≥ 22

Για την κατηγορία A το ανώτατο όριο αντοχής μπορεί να είναι $550 N/mm^2$ ($56 kgf/mm^2$, $80 ksi$).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Αντοχή στην κρούση κοινού ναυπηγικού κατασκευαστικού χάλυβα γάστρας πάχους μέχρι 100 mm [6].

Μέση απορροφούμενη ενέργεια (J/cm ²)							
		t ≤ 50 mm		50 mm ≤ t ≤ 70 mm		70 mm ≤ t ≤ 100 mm	
Κατηγορία χάλυβα	Θερμοκρασία (°C)	Διαμήκης	Εγκάρσια	Διαμήκης	Εγκάρσια	Διαμήκης	Εγκάρσια
A	20	-	-	34	24	41	27
B	0	27	20	34	24	41	27
D	-20	27	20	34	24	41	27
E	-40	27	20	34	24	41	27

Χάλυβες υψηλής αντοχής (*High Tensile strength Steels, HTS*)

Η γάστρα του πλοίου και οι διάφορες δεξαμενές κατασκευάζονται συνήθως από κοινό ναυπηγικό χάλυβα. Ο κοινός ναυπηγικός χάλυβας σε ορισμένες περιπτώσεις αντικαθίσταται από χάλυβα υψηλής αντοχής, ο οποίος εμφανίζει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες, χωρίς να απαιτούνται μεγάλα πάχη ελασμάτων. Έτσι επιτυγχάνεται μικρότερο βάρος της κατασκευής. Μια τέτοια περίπτωση εφαρμογής αποτελούν οι δεξαμενές στην πλώρη, οι οποίες κατασκευάζονται από χάλυβες υψηλής αντοχής διότι δέχονται μεγάλες κοπωτικές τάσεις από την πρόσκρουση σε κύματα.

Σε σχέση με τους κοινούς χάλυβες, οι χάλυβες υψηλής αντοχής έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα, μεγαλύτερη σκληρότητα και αντοχή, ενώ έχουν παρόμοια αντοχή σε κόπωση και σε διάβρωση και παρόμοια ευκολία συγκόλλησης. Όπως και οι κοινοί χάλυβες, έτσι και οι χάλυβες υψηλής αντοχής διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες [2]:

- **Κατηγορία AH (Grade AH):** όταν πρόκειται για όλες τις χρήσεις τα πάχη 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):** όταν πρόκειται για όλες τις χρήσεις τα πάχη 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.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Αντοχή (UTS) χαλύβων υψηλής αντοχής γάστρας μέχρι 100 mm [6].

Κατηγορία χάλυβα	Εφελκυστική αντοχή N/mm^2 (kgf/mm^2 , ksi)	Όριο διαρροής N/mm^2 (kgf/mm^2 , ksi)	Επιμήκυνση στη θραύση ϵ (%)
AH 32 DH 32 EH 32 FH 32	440-590 (45-60, 64-85)	315 (32, 46)	22
AH 36 DH 36 EH 36 FH 36	490-620 (50-63, 71-90)	355 (36, 51)	21
AH 40 DH 40 EH 40 FH 40	510-650 (52-66, 74-94)	390 (40, 57)	20

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Αντοχή σε κρούση χαλύβων υψηλής αντοχής, με πάχος μέχρι 100 mm [6]

Μέση απορροφούμενη ενέργεια J ($kgf-m$, $ft-lbf$)							
Κατηγορία	Θερμοκρασία	$t \leq 50 \text{ mm}$		$50 \text{ mm} \leq t \leq 70 \text{ mm}$		$70 \text{ mm} \leq t \leq 100 \text{ mm}$	
	$^{\circ}C$	Διαμήκης	Εγκάρσια	Διαμήκης	Εγκάρσια	Διαμήκης	Εγκάρσια
AH 32	0	34	24	38	26	46	31
AH 36		34	24	41	27	50	34
AH 40		41	27	NA	NA	NA	NA
DH 32	-20	34	24	38	26	46	31
DH 36		34	24	41	27	50	34
DH 40		41	27	NA	NA	NA	NA
EH 32	-40	34	24	38	26	46	31
EH 36		34	24	41	27	50	34
EH 40		41	27	NA	NA	NA	NA
FH 32	-60	34	24				
FH 36		34	24	NA	NA	NA	NA
FH 40		41	27				

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η διάβρωση των μεταλλικών κατασκευών

2.1 Γενικά

Η διάβρωση των μεταλλικών κατασκευών είναι ένα θέμα που απασχολεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τη ναυπηγική επιστήμη και τεχνολογία. Αυτό συμβαίνει διότι η κατάλληλη συντήρηση της κάθε κατασκευής εξασφαλίζει την αντοχή της, τη διάρκεια στο χρόνο, την αποδοτικότητα και τη λειτουργικότητά της. Επίσης καθορίζει το επίπεδο ασφαλείας της για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, είναι πολύ σημαντικό να γίνεται σε πρώτη φάση η κατάλληλη μελέτη για το περιβάλλον στο οποίο πρόκειται να λειτουργήσει η ναυπηγική κατασκευή, έπειτα η μελέτη για την επιλογή κατάλληλου υλικού κατασκευής και των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την αντιδιαβρωτική προστασία της. Τέλος, επιβάλλεται και η κατάλληλη μέριμνα για την συντήρηση αυτών, εφόσον οι ναυπηγικές κατασκευές κατασκευάζονται για να αντέχουν στο χρόνο χωρίς να είναι ζημιογόνες.

2.2 Το φαινόμενο της διάβρωσης

Τα περισσότερα μέταλλα στη φύση βρίσκονται συνήθως σε ορυκτή μορφή και σε σταθερή οξειδωτική κατάσταση ως οξειδία ή άλατα (χλωριούχα, ανθρακικά, θειούχα, θειικά, κ.λπ.). Η εξαγωγή ενός μετάλλου από το κατάλληλο ορυκτό περιλαμβάνει μια διαδικασία στην οποία καταναλώνονται μεγάλα ποσά ενέργειας, με αποτέλεσμα το καθαρό μέταλλο που παράγεται να βρίσκεται σε “υψηλή ενεργειακή κατάσταση” που χαρακτηρίζεται από οξειδωτική βαθμίδα ίση με μηδέν. Είναι φυσική τάση των μετάλλων να επανέρχονται στη σταθερότερη οξειδωτική τους βαθμίδα που χαρακτηρίζει μια “χαμηλή ενεργειακή κατάσταση”. Η κινητήρια δύναμη της διάβρωσης, που μπορεί να επιφέρει αυτή τη μεταβολή, είναι η διαφορά ελεύθερης ενέργειας ανάμεσα στο καθαρό μέταλλο μηδενικής οξειδωτικής βαθμίδας και τις οξειδωμένες μορφές του.

Ως διάβρωση μπορεί να θεωρηθεί η αλληλεπίδραση ενός μεταλλικού υλικού με το περιβάλλον που οδηγεί στη φθορά και μείωση της λειτουργικότητας αυτού του υλικού. Η διάβρωση προκαλείται από την οξείδωση του μετάλλου σε σημεία επαφής του με το περιβάλλον και έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων του μετάλλου [7].

Σύμφωνα με το πρότυπο *ISO 8044*: “Διάβρωση είναι η φυσικοχημική αλληλεπίδραση ενός μεταλλικού υλικού με το περιβάλλον του, που έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή των ιδιοτήτων του μετάλλου και που συχνά καταλήγει στην υποβάθμιση της λειτουργίας του, του περιβάλλοντος ή του τεχνικού συστήματος του οποίου αποτελεί τμήμα. Αυτή η αλληλεπίδραση είναι συνήθως ηλεκτροχημικής φύσης” [8].

Η διάβρωση είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας φθοράς των ναυπηγικών κατασκευών. Προκαλεί μείωση του πάχους των μεταλλικών στοιχείων και ελασμάτων επηρεάζοντας αρνητικά τις μηχανικές ιδιότητες αυτών [2].

Τύποι διάβρωσης

Η διάβρωση των μετάλλων μπορεί να διαχωριστεί σε διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται: το μηχανισμό, το περιβάλλον και τη μορφολογία της διάβρωσης [1]. Η διάβρωση χωρίς μηχανική καταπόνηση προκαλείται μέσω δύο κυρίως διαφορετικών μηχανισμών. Ο ένας απ' αυτούς περιλαμβάνει καθαρά χημικές αντιδράσεις, ενώ ο άλλος βασίζεται σε ηλεκτροχημικές δράσεις.

- **Χημική διάβρωση**

Η χημική διάβρωση είναι αποτέλεσμα της αντίδρασης ουσιών του περιβάλλοντος με το μέταλλο. Αυτές περιλαμβάνουν αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής που πραγματοποιούνται κατά την άμεση επαφή ενός μετάλλου με το περιβάλλον του, χωρίς να παρατηρείται παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το χημικό περιβάλλον στο οποίο προκαλείται αυτός ο τύπος διάβρωσης συνήθως είναι όξινο ή αλκαλικό διάλυμα, ή διάλυμα άλατος. Το περιβάλλον αυτό χαρακτηρίζεται ως έντονα διαβρωτικό και έχει καταστροφική επίδραση στο μέταλλο. Οι αντιδράσεις είναι πάντα τέτοιες ώστε το μέταλλο να οξειδώνεται σε μια υψηλότερη οξειδωτική βαθμίδα. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, τα μέταλλα που εμφανίζουν πολλές οξειδωτικές βαθμίδες, διέρχονται από διάφορα στάδια οξείδωσης, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μείγματος προϊόντων.

- **Ηλεκτροχημική ή γαλβανική διάβρωση**

Είναι αποτέλεσμα χημικών μεταβολών που περιλαμβάνουν οργανωμένη μετακίνηση ηλεκτρονίων (που αντιστοιχεί σε ηλεκτρικό ρεύμα). Αυτός ο τύπος διάβρωσης συναντάται συνηθέστερα στις ναυπηγικές κατασκευές. Η διάβρωση αυτή εμφανίζεται σε διαφορετικά μέταλλα που βρίσκονται μέσα σε ηλεκτρικά αγωγίμο μέσο (ηλεκτρολύτης) και συνδέονται μεταξύ τους με κατάλληλη ηλεκτρικά αγωγίμη οδό. Το μέταλλο με το μικρότερο ηλεκτροδιακό δυναμικό δρα ως άνοδος και σ' αυτό προκαλείται διάβρωση, ενώ το μέταλλο με το μεγαλύτερο ηλεκτροδιακό δυναμικό δρα ως κάθοδος και προστατεύεται από τη διάβρωση.

Η διάβρωση που προκαλείται σε διαφορετικά είδη περιβάλλοντος μπορεί να διακριθεί σε:

- Ξηρή διάβρωση, σε συνθήκες που δεν υπάρχει υγρασία.
- Υγρή διάβρωση σε υδατικό περιβάλλον.
- Υγρή διάβρωση σε άνυδρους οργανικούς διαλύτες ή αέρια.
- Διάβρωση σε τήγμα μετάλλου ή αλάτων.

Όσον αφορά τη μορφολογία της διάβρωσης, οι σπουδαιότερες μορφές που εμφανίζονται στις ναυπηγικές κατασκευές είναι:

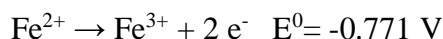
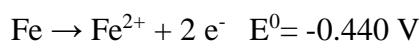
- Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση (*General corrosion*).
- Διάβρωση βελονισμών (*Pitting corrosion*).
- Ψαθυρή θραύση λόγω διάβρωσης με μηχανική καταπόνηση (*Stress corrosion cracking*).
- Σπηλαιώδης μηχανική διάβρωση (*Cavitation erosion*).
- Βακτηριακή διάβρωση (*Bacterial corrosion*).

Η διάβρωση ενός μετάλλου είναι δυνατή μόνο εφόσον συνυπάρχουν τα παρακάτω:

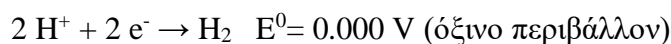
- Μια περιοχή ανοδικής δράσης.
- Μια περιοχή καθοδικής δράσης.
- Αγώγιμη οδός που συνδέει τις δύο παραπάνω περιοχές.
- Ηλεκτρολυτικό περιβάλλον το οποίο περιλαμβάνει τις περιοχές της ανοδικής και της καθοδικής δράσης.

2.3 Η διάβρωση των μεταλλικών κατασκευών στο θαλάσσιο περιβάλλον.

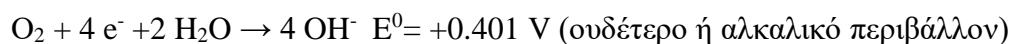
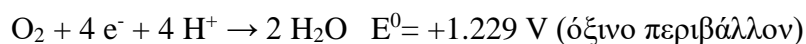
Ένας από τους λόγους στους οποίους οφείλεται η διάβρωση του ναυπηγικού χάλυβα είναι η τοπική ετερογένεια που εμφανίζει σε μικροκλίμακα λόγω της παρουσίας κραματικών στοιχείων. Συνέπεια αυτής είναι η εμφάνιση τοπικών ανοδικών και καθοδικών θέσεων στην επιφάνεια του μετάλλου. Στις ανοδικές θέσεις γίνεται μετατροπή ατόμων του σιδήρου σε ιόντα με την ταυτόχρονη απώλεια ηλεκτρονίων, ενώ στις καθοδικές γίνεται αναγωγή μορίων οξυγόνου ή νερού μέσω πρόσληψης ηλεκτρονίων. Τα προϊόντα της ανοδικής και της καθοδικής δράσης αντιδρούν μεταξύ τους προς σχηματισμό προϊόντων διάβρωσης. Οι ανοδικές δράσεις περιγράφονται από τις ακόλουθες χημικές εξισώσεις [9]:



ενώ οι καθοδικές δράσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν περιγράφονται από τις χημικές εξισώσεις [9]:



Αντίστοιχα, η καθοδική δράση του οξυγόνου περιγράφεται, ανάλογα με το περιβάλλον, από τις ακόλουθες χημικές εξισώσεις:



Το ηλεκτροδιακό δυναμικό E^0 στις παραπάνω ημιαντιδράσεις αναφέρεται ως προς το πρότυπο ηλεκτρόδιο υδρογόνου (*SHE*) για το οποίο θεωρούμε ότι σε πρότυπες συνθήκες είναι $E^0 = 0.000 \text{ V}$.

Ο κοινός χάλυβας είναι το πιο σημαντικό μεταλλικό κατασκευαστικό υλικό στη ναυπηγική. Αυτό συμβαίνει διότι το χαμηλό κόστος, οι καλές μηχανικές ιδιότητες αντισταθμίζουν τη μικρή αντοχή του σε διάβρωση που εμφανίζεται κατά την έκθεσή του στο θαλάσσιο περιβάλλον. Το πρόβλημα της διάβρωσης αντιμετωπίζεται συνήθως με εφαρμογή κατάλληλης αντιδιαβρωτικής προστασίας. Εκτός του κοινού χάλυβα, είναι συνήθης πλέον η χρήση κραμάτων χάλυβα που εμφανίζουν υψηλή αντίσταση στο θαλάσσιο περιβάλλον.

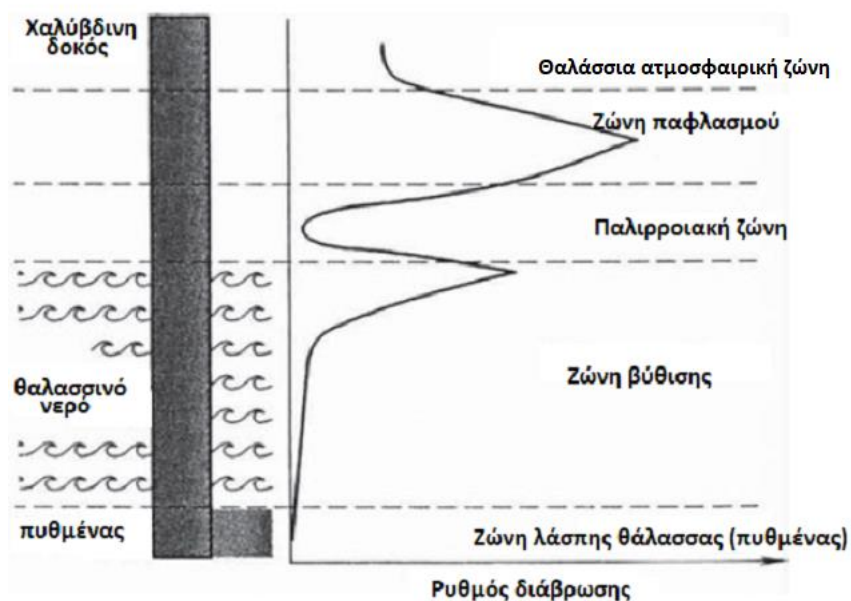
Το θαλασσινό νερό έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου (Cl^-) τα οποία έχουν έντονο διαβρωτικό χαρακτήρα και προσβάλλουν εύκολα την εκτεθειμένη επιφάνεια του χάλυβα. Επομένως, στο θαλασσινό νερό οι κοινοί χάλυβες δεν μπορούν να δημιουργήσουν μια παθητική κατάσταση που θα παρείχε προστασία από τη διάβρωση. Η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε διαλυμένο οξυγόνο επηρεάζει το διαβρωτικό του χαρακτήρα, καθώς το οξυγόνο συμμετέχει στην καθοδική δράση που αποτελεί μέρος της διαδικασίας διάβρωσης του χάλυβα [7].

Στο διαβρωτικό θαλάσσιο περιβάλλον διακρίνονται οι ακόλουθες ζώνες όπως παριστάνονται στο σχήμα 1 [1]:

- Θαλάσσια ατμοσφαιρική ζώνη.
- Ζώνη παφλασμού.
- Παλιρροιακή ζώνη.
- Ζώνη βύθισης
- Ζώνη λάσπης θάλασσας

- **Ζώνη παφλασμού**

Περιλαμβάνει το θαλάσσιο τμήμα από την ανώτερη στάθμη του νερού κατά την παλίρροια μέχρι το μέγιστο ύψος των κυμάτων. Στη ζώνη αυτή η διάβρωση του χάλυβα είναι ιδιαίτερα έντονη, διότι είναι σχεδόν μόνιμη η διαβροχή από το θαλασσινό νερό το οποίο μετακινείται υπό την επίδραση του αέρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διατηρείται ένας μόνιμος υδατικός υμένας θαλασσινού νερού προσκολλημένος στην επιφάνεια του μετάλλου. Στη ζώνη παφλασμού δε παρατηρείται βιοσυσσώρευση, κι αυτό, με τη συνδρομή των καιρικών φαινομένων, προκαλεί ταχύτερη φθορά και αποκόλληση της προστατευτικής επίστρωσης της χαλύβδινης επιφάνειας. Η ζώνη παφλασμού εμφανίζει υψηλό ρυθμό διάβρωσης με μέση τιμή που φτάνει μέχρι τα 0.4 mm/year . Αντίστοιχα, οι μικροκραματωμένοι χάλυβες εμφανίζουν μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση της ζώνης παφλασμού, με μέσο ρυθμό διάβρωσης 0.12 mm/year .



Σχήμα 1. Ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα σε διαφορετικές θαλάσσιες [1].

- **Παλιρροιακή ζώνη**

Αναφέρεται στη ζώνη παλιρροιακής διαφοράς (ανάμεσα στην υψηλή και την χαμηλή παλίρροια). Το διαβρωτικό περιβάλλον αυτής της περιοχής, μοιάζει με της ζώνης παφλασμού γιατί το νερό με το οποίο έρχεται σε επαφή η μεταλλική επιφάνεια έχει υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Η μετακίνηση της στάθμης του νερού λόγω της παλίρροιας επιταχύνει το ρυθμό διάβρωσης, αλλά σε αντίθεση με τη ζώνη παφλασμού εδώ παρατηρείται βιοσυσσώρευση, η οποία σε μερικές περιπτώσεις λειτουργεί προστατευτικά για την επιφάνεια του χάλυβα. Ωστόσο, ο βασικός λόγος για τον οποίο ο ρυθμός διάβρωσης στη ζώνη αυτή είναι λίγο μικρότερος σε σχέση με τον αντίστοιχο της ζώνης παφλασμού, είναι το φαινόμενο του διαφορικού αερισμού. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο ρυθμός διάβρωσης στην παλιρροιακή ζώνη. Ο μέσος ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα στη ζώνη αυτή είναι της τάξης των 0.1 mm/year .

- **Ζώνη βύθισης**

Όσο αυξάνεται το βάθος παρατηρείται μείωση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο και μείωση της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός διάβρωσης. Στη ζώνη βύθισης, η προσκόλληση θαλάσσιων οργανισμών και μικροοργανισμών στη μεταλλική επιφάνεια συχνά επιβραδύνει την επαφή του οξυγόνου με τη μεταλλική επιφάνεια με συνέπεια να παρεμποδίζεται η καθοδική δράση του. Ωστόσο, το φαινόμενο του διαφορικού αερισμού προκαλεί αύξηση του ρυθμού διάβρωσης στην περιοχή της ζώνης βύθισης. Ο μέσος ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα στη ζώνη βύθισης καθορίζεται από την επίδραση των δύο φαινομένων που προαναφέρθηκαν και είναι της

τάξης των 0.1 mm/year. Οι μικροκραματωμένοι χάλυβες δεν έχουν τη δυνατότητα σχηματισμού προστατευτικού υμένα στη επιφάνειά τους και ο ρυθμός διάβρωσης είναι παρόμοιος με του κοινού χάλυβα.

- **Ζώνη πυθμένα**

Στη ζώνη αυτή περιέχονται λάσπη και ιζήματα. Αποτελεί έντονα διαβρωτικό περιβάλλον με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα και μικρή ηλεκτρική αντίσταση. Ωστόσο προκαλεί μικρότερο ρυθμό διάβρωσης από τη ζώνη βύθισης λόγω έλλειψης οξυγόνου. Σε μερικές περιπτώσεις λόγω των βακτηρίων οι χάλυβες στη ζώνη αυτή υπόκεινται σε τοπική διάβρωση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Μέσος ρυθμός διάβρωσης κοινού και μικροκραματωμένου χάλυβα στις διαφορετικές θαλάσσιες ζώνες [1].

Θαλάσσιες ζώνες	Μέσος ρυθμός διάβρωσης (mm/year)	
	Κοινός χάλυβας	Μικροκραματωμένος χάλυβας
Θαλάσσια ατμοσφαιρική ζώνη	0.130	0.04
Ζώνη παφλασμού	0.40	0.12
Παλιρροιακή ζώνη	0.083	0.08
Ζώνη βύθισης	0.10-0.15	0.10-0.15
Ζώνη πυθμένα	0.08	0.06

2.4 Το θαλάσσιο περιβάλλον ως διαβρωτικό μέσο

Το θαλασσινό νερό είναι ηλεκτρολυτικό διάλυμα περιεκτικότητας 3 % w/v σε αλάτι (χλωριούχο νάτριο, NaCl) και εμφανίζει καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η αγωγιμότητα του θαλασσινού νερού είναι $3 \cdot 10^{-2} - 4 \cdot 10^{-2} \Omega^{-1} \cdot cm^{-1}$, το pH του κυμαίνεται από 7.6 έως 8.2 και η περιεκτικότητα σε οξυγόνο είναι περίπου 8 mg/L στους 20 °C.

Το θαλάσσιο περιβάλλον διαθέτει χαρακτηριστικά που ευνοούν τη διάβρωση [8]. Αυτά περιλαμβάνουν την υγρασία, την παρουσία αλάτων και διαλυμένου οξυγόνου και την παρουσία μικρο- ή μακρο- οργανισμών. Αυτές οι συνθήκες δεν επιταχύνουν μόνο τη διάβρωση, αλλά επηρεάζουν επίσης την κατάσταση και την αποτελεσματικότητα των προστατευτικών συστημάτων επικάλυψης. Η διάβρωση των μετάλλων σε θαλασσινό ή φρέσκο νερό, είναι κυρίως μια ηλεκτροχημική διαδικασία που περιλαμβάνει: α) την ανοδική δράση οξείδωσης του μετάλλου, η οποία γενικά μπορεί να παρασταθεί ως $M \rightarrow M^{n+} + n e^{-}$, και β) τη καθοδική δράση του οξυγόνου ή του νερού [1] όπως περιγράφονται παραπάνω (σελίδα 12).

Η επίδραση των βασικών χαρακτηριστικών του θαλάσσιου περιβάλλοντος στην εξέλιξη του φαινομένου της διάβρωσης των μετάλλων περιγράφεται στη συνέχεια.

Υγρασία: Η υγρασία του αέρα συχνά συμπυκνώνεται στην επιφάνεια των ναυπηγικών κατασκευών σχηματίζοντας λεπτό υμένα και έτσι προκαλείται η διάβρωση με την πάροδο του χρόνου. Για το λόγο αυτό χρειάζεται ένα προστατευτικό σύστημα που θα στεγανοποιεί τις κατασκευές από την ατμοσφαιρική υγρασία, και το νερό στο οποίο βυθίζονται.

Άλατα: Τα άλατα που περιέχονται διαλυμένα στο νερό σχηματίζουν ηλεκτρικά αγωγά διαλύματα και προάγουν τη διάβρωση μέσω ηλεκτροχημικών αντιδράσεων. Πριν την εφαρμογή των συστημάτων αντιδιαβρωτικής προστασίας εξετάζεται η αγωγιμότητα και η ρύπανση από άλατα των μεταλλικών επιφανειών για την περίπτωση που χρειάζεται επιπλέον καθάρισμα πριν την εφαρμογή της αντιδιαβρωτικής επίστρωσης. Ο άνεμος σε συνδυασμό με τα κύματα προκαλούν το φαινόμενο του 'ψεκασμού' (*spray*) μέσω του οποίου το θαλασσινό νερό μπορεί να φτάσει σε όλα τα καταστρώματα ενός πλοίου ή τα επίπεδα μιας θαλάσσιας κατασκευής.

Οξυγόνο: Το επιφανειακό θαλάσσιο νερό έχει αυξημένη περιεκτικότητα σε οξυγόνο, σε σύγκριση με εκείνο που βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος. Η αυξημένη συγκέντρωση οξυγόνου επιταχύνει τη διάβρωση. Επομένως, η διάβρωση του βυθισμένου χάλυβα στις ναυπηγικές κατασκευές είναι συνήθως μεγαλύτερη σε παλιρροιακές περιοχές.

Υπεριώδης ακτινοβολία: Το υπεριώδες φως του ήλιου μπορεί να προκαλέσει φθορά σε ορισμένους τύπους προστατευτικών επιστρωμάτων που χρησιμοποιούνται για αντιδιαβρωτική προστασία. Συγκεκριμένα, τα επιστρώματα εποξειδικής ρητίνης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην υπεριώδη ακτινοβολία η οποία προκαλεί φθορές λόγω γήρανσης με υψηλό ρυθμό. Τα επιστρώματα στις θαλάσσιες κατασκευές δεν είναι εκτεθειμένα στο φως του ήλιου τον περισσότερο χρόνο, δεν κινδυνεύουν από την καταστροφική επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας.

Υψηλές θερμοκρασίες: Τα φαινόμενα διάβρωσης των μετάλλων εξελίσσονται με μεγαλύτερο ρυθμό σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Ο ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα σχεδόν διπλασιάζεται για κάθε 10 °C αύξηση της θερμοκρασίας.

Το διαλυμένο οξυγόνο στο θαλασσινό νερό παίζει σημαντικό ρόλο στη διάβρωση των μετάλλων, καθώς όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου, αυξάνεται και ο ρυθμός διάβρωσης. Στον πίνακα 6 δίνεται η περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο θαλασσινό νερό, σε διαφορετικές θερμοκρασίες, ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε αλάτι.

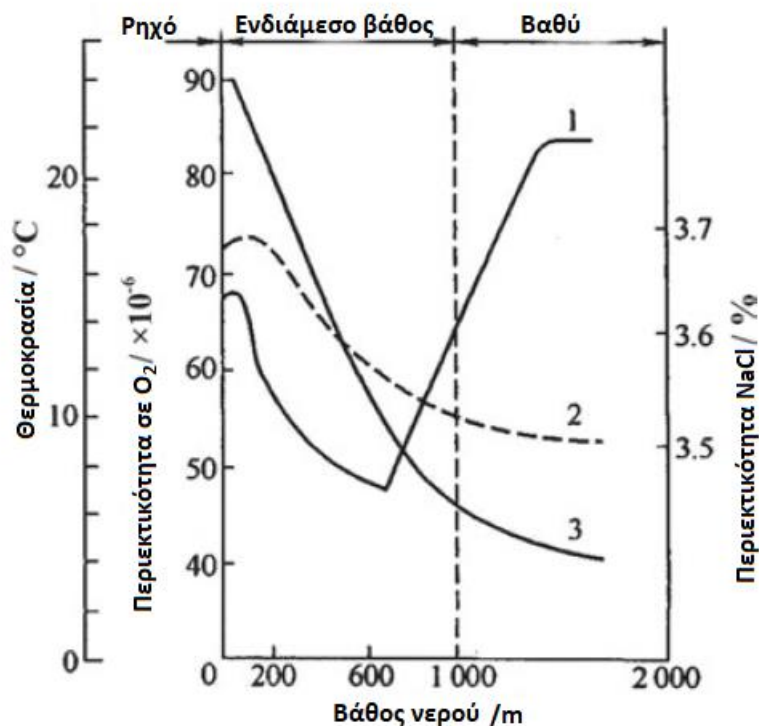
ΠΙΝΑΚΑΣ 6. διαλυτότητα οξυγόνου στο θαλασσινό νερό (σε $[cm^3/L]$), ανάλογα με την περιεκτικότητά του νερού σε $NaCl$ [1].

Θερμοκρασία ($^{\circ}C$)	Συγκέντρωση $NaCl$ (% w/v)					
	0.0	1.0	2.0	3.0	3.5	4.0
0	10.30	9.65	9.00	8.36	8.04	7.72
10	8.02	7.56	7.09	6.63	6.41	6.18
20	6.57	6.22	5.88	5.52	5.35	5.17
30	5.57	5.27	4.95	4.65	4.50	4.34

Η περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο ποικίλει ανάλογα με το βάθος της θάλασσας. Από την επιφάνεια έως και τα 800 μέτρα βάθος η περιεκτικότητα φτάνει στην ελάχιστη τιμή της, λόγω της κατανάλωσης του οξυγόνου από τα θαλάσσια ζώα. Από τα 800 έως τα 1000 μέτρα η περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου αυξάνεται ξανά και η τιμή της πλησιάζει αυτή της συγκέντρωσης του οξυγόνου στην επιφάνεια, κάτι που συμβαίνει λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών στο βάθος του ωκεανού και της υψηλής υδροστατικής πίεσης. Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του θαλασσινού νερού ποικίλει ανάλογα με το βάθος, τη θερμοκρασία και την περιεκτικότητα σε $NaCl$, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.

Εκτός από τα χαρακτηριστικά του θαλασσινού νερού που ευνοούν την εκδήλωση φαινομένων διάβρωσης, κάποιες επιπρόσθετες επιδράσεις ευνοούν τα φαινόμενα αυτά. Ορισμένες απ' αυτές συνοψίζονται παρακάτω [1]:

- Το θαλασσινό νερό και η θαλάσσια ατμόσφαιρα συνιστούν ένα έντονα διαβρωτικό περιβάλλον. Τα ιόντα Cl^- επηρεάζουν το ρυθμό διάβρωσης των μετάλλων που βρίσκονται στο περιβάλλον αυτό μέσω φαινομένων πόλωσης.
- Η διάβρωση στο θαλασσινό νερό επηρεάζεται έντονα από τη παρουσία έμβιων οργανισμών. Υπάρχει ποικιλία φυτών, ζώων και μικροοργανισμών που αναπτύσσονται κάτω από την επιφάνεια του νερού. Ορισμένοι τέτοιοι οργανισμοί εγκαθίστανται και αναπτύσσονται στις επιφάνειες των μεταλλικών στοιχείων των κατασκευών και συνεισφέρουν στη διαδικασία της διάβρωσης.
- Η καλή αγωγιμότητα που εμφανίζει το θαλασσινό νερό μπορεί εύκολα να προκαλέσει γαλβανική διάβρωση σε ανόμοια μέταλλα που βρίσκονται βυθισμένα σ' αυτό.



Σχήμα 2. Περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε οξυγόνο ανάλογα με το βάθος, τη θερμοκρασία και την περιεκτικότητα σε $NaCl$, 1- περιεκτικότητα σε οξυγόνο, 2- περιεκτικότητα σε $NaCl$, 3- θερμοκρασία [1].

2.5 Ατμοσφαιρική διάβρωση

Η ατμοσφαιρική διάβρωση είναι σύνηθες φαινόμενο στην καθημερινή ζωή όπως επίσης και στη βιομηχανική και γεωργική παραγωγή. Όταν ο χάλυβας εκτεθεί σε ατμοσφαιρικό περιβάλλον διαβρώνεται (σκουριάζει), σχηματίζοντας αρχικά ένα προστατευτικό στρώμα οξειδίων του δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου με πάχος μικρότερο από 0.1 mm , γνωστό ως καλαμίνα (*mill scale*), ενώ τελικά μετατρέπεται σε ένα σαθρό υλικό που αποτελείται από μίγματα οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου, κατά την έκθεση στον αέρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Έχει παρατηρηθεί ότι οι χάλυβες μιας κατασκευής διατηρούνται επιφανειακά στιλπνοί για δεκαετίες στο περιβάλλον της ερήμου όπου ο αέρας είναι ξηρός ενώ οι χάλυβες μιας γέφυρας ποταμού εμφανίζουν έντονη διάβρωση λόγω της αυξημένης υγρασίας της ατμόσφαιρας. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει τη σημασία της υγρασίας για τη διάβρωση των μετάλλων. Ο ρυθμός ατμοσφαιρικής διάβρωσης επηρεάζεται από τις μεταβολές θερμοκρασίας και υγρασίας, συνεπώς ο ρυθμός διάβρωσης που προκαλείται από την έκθεση στην ατμόσφαιρα ποικίλει από τόπο σε τόπο.

Τα βασικά συστατικά της ατμόσφαιρας είναι το άζωτο (N_2), το οξυγόνο (O_2) το αργό (Ar), οι υδρατμοί (H_2O) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Η περιεκτικότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στα συστατικά αυτά δίνεται στον πίνακα 7. Από τα συστατικά αυτά το οξυγόνο και οι υδρατμοί είναι τα πιο διαβρωτικά αέρια [1].

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Τα κυριότερα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας [1].

Συστατικά	Κατά βάρος προς όγκο (w/v) περιεκτικότητα (g/m^3)	% κατ' όγκο προς όγκο (% v/v) περιεκτικότητα
N_2	879	75
O_2	269	23
Ar	15	1.26

Η παρουσία ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως τα βιομηχανικά αέρια SO_2 , H_2S , NO_2 , NH_3 και σταγονιδίων νερού στη θαλάσσια ατμόσφαιρα, στα οποία βρίσκεται διαλυμένο $NaCl$, αυξάνουν τη διαβρωτική δράση της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να εμφανίζεται υψηλότερος ρυθμός διάβρωσης των μετάλλων στις συνθήκες αυτές [1]. Ωστόσο, ανάλογα με τις διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν μπορεί να γίνει διάκριση ως εξής:

- Βιομηχανική ατμόσφαιρα (*industrial*)
- Αγροτική ατμόσφαιρα (*rural*)
- Θαλάσσια ατμόσφαιρα (*marine*)

Σε γενικές γραμμές, η αγροτική ατμόσφαιρα είναι ο πιο καθαρός τύπος και προκαλεί μικρότερο ρυθμό διάβρωσης ενώ η θαλάσσια ατμόσφαιρα προκαλεί τον υψηλότερο ρυθμό διάβρωσης. Κατά την ατμοσφαιρική διάβρωση ενός μετάλλου, οι ηλεκτροχημικές δράσεις πραγματοποιούνται σε ένα λεπτό στρώμα (υμένα) νερού που σχηματίζεται στη μεταλλική επιφάνεια. Το πάχος του υμένα επηρεάζει το μηχανισμό της διάβρωσης.

Ανάλογα με τα επίπεδα υγρασίας του αέρα, η ατμοσφαιρική διάβρωση χαρακτηρίζεται ως διάβρωση σε ξηρή ατμόσφαιρα, διάβρωση σε μέτρια υγρασία και διάβρωση σε υγρή ατμόσφαιρα.

- **Διάβρωση σε ξηρή ατμόσφαιρα** έχουμε όταν η ατμόσφαιρα είναι ξηρή, δηλαδή έχει μικρή περιεκτικότητα σε υγρασία. Στη μεταλλική επιφάνεια δε δημιουργείται υμένας νερού, αλλά μόνο ένα πολύ λεπτό στρώμα από την προσρόφηση μορίων νερού. Η διάβρωση αυτού του είδους δε θεωρείται ηλεκτροχημική αλλά αποτελεί είδος χημικής διάβρωσης (οξειδωση).
- **Ατμοσφαιρική διάβρωση σε μέτρια υγρασία** εμφανίζεται σε σχετικά υψηλά επίπεδα υγρασίας. Παράγεται λεπτός υμένας νερού στη μεταλλική επιφάνεια με πάχος 0.01 έως 1 μm με τις ιδιότητες ηλεκτρολυτικού διαλύματος (αγωγιμότητα). Κατά συνέπεια, η διάβρωση αυτού του είδους θεωρείται ηλεκτροχημική. Η διάβρωση του σιδήρου είναι εφικτή σε συνθήκες σχετικά υψηλής υγρασίας, ακόμα και απουσία βροχής ή χιονιού.

- **Διάβρωση σε υγρή ατμόσφαιρα** έχουμε όταν η υγρασία του αέρα είναι κοντά στο 100% ή αν στη μεταλλική επιφάνεια, σχηματίζεται ορατό στρώμα νερού με πάχος από 1 μm έως 1 mm από την απευθείας απόθεση βροχής ή χιονιού. Η διάβρωση αυτού του είδους δεν παρουσιάζει διαφορά από τη διάβρωση σε υδατικό περιβάλλον, επομένως, αυτός ο τύπος διάβρωσης μπορεί να περιγραφεί από τους μηχανισμούς της διάβρωσης σε υδατικό περιβάλλον.

Ο ρυθμός διάβρωσης επηρεάζεται από το πάχος του λεπτού υμένα νερού στη μεταλλική επιφάνεια, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3. Σχέση μεταξύ του πάχους υμένα νερού με το ρυθμό διάβρωσης στην ατμόσφαιρα [1].

Συνήθως, η ατμοσφαιρική διάβρωση εμφανίζεται στις περιοχές II και III του διαγράμματος του σχήματος 3.

Σε ορισμένες περιπτώσεις η διάβρωση του μετάλλου μπορεί να εμφανιστεί ως συνδυασμός των παραπάνω τύπων όταν επιδρούν και άλλοι παράγοντες που αφορούν την ατμόσφαιρα (παρουσία ρύπων ή σταγονιδίων που περιέχουν NaCl) ή τη μεταλλική επιφάνεια (παρουσία οξειδίων ή άλλων ενώσεων). Η διάβρωση που προκαλείται από την υγρασία της ατμόσφαιρας είναι αποτέλεσμα κυρίως της ανοδικής δράσης του μετάλλου, ενώ η διάβρωση που προκαλείται σε υδατικό περιβάλλον καθορίζεται κυρίως από την καθοδική δράση του νερού [1].

Σύμφωνα με το ISO 12944 [10] γίνεται ταξινόμηση της προκαλούμενης ατμοσφαιρικής διάβρωσης στις παρακάτω κατηγορίες:

- C1 πολύ χαμηλή
- C2 χαμηλή
- C3 υψηλή
- C4 πολύ υψηλή (Βιομηχανική)
- C5 πολύ υψηλή (Θαλάσσια)

Επίσης, σύμφωνα με το ISO 12944-2 διακρίνονται τρεις κατηγορίες διάβρωσης για κατασκευές βυθισμένες σε νερό ή θαμμένες στο χώμα:

- Im1: βύθιση σε φρέσκο νερό ή σε υφάλμυρο νερό (κατασκευές σε ποτάμια, υδροηλεκτρικές μονάδες).
- Im2: βύθιση σε θάλασσα ή σε υφάλμυρο νερό (κατασκευές σε λιμάνια).
- Im3: ταφή σε έδαφος (υπόγεια δοχεία, δοκάρια χάλυβα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Αντιδιαβρωτική προστασία μεταλλικών κατασκευών

3.1 Προετοιμασία της μεταλλικής επιφάνειας

Η κατάλληλη προετοιμασία της μεταλλικής επιφάνειας είναι απαραίτητη γιατί επιτυγχάνεται η ορθή εφαρμογή της αντιδιαβρωτικής επίστρωσης. Αυτό αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη διάρκεια ζωής της επίστρωσης και της προστατευόμενης κατασκευής. Έχει μεγάλη σημασία, διότι εάν υπάρχουν ακαθαρσίες στη μεταλλική επιφάνεια, οδηγούν σε σχηματισμό γαλβανικών στοιχείων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διάβρωση με βελονισμούς που ακολουθεί τη ρήξη και την καταστροφή της επίστρωσης. Το επίπεδο προετοιμασίας της μεταλλικής επιφάνειας πρέπει να εξασφαλίζει τον καλό καθαρισμό και τις συνθήκες δημιουργίας ισχυρής πρόσφυσης μεταξύ της επίστρωσης και του μετάλλου. Ακαθαρσίες (*contaminations*) θεωρούνται τα διάφορα συστατικά που μπορεί να παραμείνουν σε μια μεταλλική επιφάνεια, ακόμα και μετά από καθαρισμό και μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στη κατάσταση του μετάλλου και της επίστρωσης. Διακρίνονται σε:

- Ακαθαρσίες που διαλύονται στο νερό (όπως χλωριούχα ή θειικά άλατα, οξέα, κ.λπ.).
- Ακαθαρσίες που είναι αδιάλυτες στο νερό (οξειδία, θειούχα άλατα, έλαια, λιπαρά οξέα κ.λπ.).

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι προετοιμασίας μιας μεταλλικής επιφάνειας για την εφαρμογή πολυμερούς επίστρωσης περιλαμβάνουν:

- Απολίπανση (*degreasing*).
- Καθαρισμό με υδροβολή (*water jetting, ultra-high-pressure water jetting*).
- Καθαρισμό με ψηγατοβολή (*blast cleaning*).
- Καθαρισμό με φλόγα (*flame cleaning*).
- Καθαρισμό με εμβάπτιση σε οξέα (*pickling*).

Στις πλωτές δεξαμενές οι ακαθαρσίες περιλαμβάνουν χλωριούχα άλατα, μικρής κλίμακας σκουριά, και/ή τμήματα επιστρώσεων που έχουν εφαρμοστεί στο παρελθόν. Ο καταλληλότερη μέθοδος αφαίρεσης είναι η υδροβολή με πίεση 3500 *psi*. Η αμμοβολή είναι επίσης αποτελεσματική μέθοδος ωστόσο, απαιτείται περιορισμός του χώρου στον οποίο γίνεται για να μην διασκορπίζονται στον περιβάλλοντα χώρο τα ψήγματα άμμου. Η πιο σύγχρονη μέθοδος καθαρισμού είναι η υδροβολή υψηλής πίεσης 35000-40000 *psi*, που καθαρίζει την επιφάνεια και την αφήνει στεγνή [2,11,12].

3.2 Αντιδιαβρωτικές επιστρώσεις

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος αντιδιαβρωτικής προστασίας των μετάλλων είναι να εφαρμόζεται κατάλληλη επίστρωση στην επιφάνειά τους ώστε να εμποδίζεται η διαβρωτική δράση του περιβάλλοντος. Η προστασία βασίζεται στο ότι η επίστρωση δημιουργεί ένα λεπτό στρώμα που διαχωρίζει το υπό προστασία μέταλλο από το περιβάλλον. Ανάλογα με το είδος της επίστρωσης, η απομόνωση επιτυγχάνεται είτε λόγω της αυξημένης ηλεκτρικής αντίστασης που εμφανίζει το υλικό της επίστρωσης, ή στη μεταβολή του ηλεκτροδιακού δυναμικού του μετάλλου, λόγω επαγόμενης πόλωσης. Η προστατευτική δράση εξαρτάται από το πάχος και τις ιδιότητες του υλικού επίστρωσης (αντοχή, πρόσφυση, διαπερατότητα κ.λπ).

Οι ναυπηγικές κατασκευές, είτε είναι πλοία είτε πλωτές δεξαμενές είτε υπεράκτιες κατασκευές, καλούνται να λειτουργήσουν σε ιδιαίτερες συνθήκες που περιλαμβάνουν κινδύνους προερχόμενους από το περιβάλλον, τις συνθήκες λειτουργίας και από το περιεχόμενό τους. Συγκεκριμένα στις ναυπηγικές δεξαμενές φορτίου τέτοιοι κίνδυνοι προέρχονται τόσο από το περιεχόμενο φορτίο, όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον. Οι κίνδυνοι αυτοί δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση μέσω επαφής με το περιβάλλον αλλά και από μηχανικές φορτίσεις και καταπονήσεις. Επομένως, επιλέγονται κάθε φορά επιστρώσεις που κρίνονται οι πλέον κατάλληλες για τη συγκεκριμένη κατασκευή, τις συνθήκες λειτουργίας της και το περιβάλλον της. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι υπεράκτιες πλατφόρμες στις οποίες, επειδή δεν δεξαμενίζονται τακτικά, εφαρμόζονται επιστρώσεις που μπορούν να αντέξουν τουλάχιστον 15 έτη και ταυτόχρονα να είναι ικανές να προστατεύουν από διάβρωση, από βιοσυσσώρευση, αλλά και να παρέχουν πυροπροστασία.

Οι οργανικές επιστρώσεις είναι σύνθετα ομογενή μείγματα πολλών συστατικών. Εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία φυσικών, χημικών, μηχανικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων. Η προστατευτική τους δράση προϋποθέτει τη δημιουργία στην επιφάνεια του μετάλλου ενός συνεκτικού υμένα με ισχυρή πρόσφυση [2,13,14].

Κατά κύριο λόγο σε ένα πλοίο οι επιστρώσεις έχουν αντιδιαβρωτική χρήση. Υπάρχουν πολλοί τύποι αντιδιαβρωτικών επιστρώσεων, όμως τα εποξειδικά χρώματα είναι αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο. Τα πιο κρίσιμα τμήματα του πλοίου που έχουν ανάγκη αντιδιαβρωτικής προστασίας και σ' αυτά εφαρμόζεται προστατευτική επίστρωση είναι τα παρακάτω [15]:

- **Γάστρα:** οι επιστρώσεις εφαρμόζονται για να προστατεύσουν από διάβρωση, μηχανική φθορά, τριβή και ρύπανση.
- **Δεξαμενές έρματος:** λόγω της έντονης διάβρωσης από το θαλασσινό νερό, εφαρμόζονται συνήθως ενισχυμένες στρώσεις εποξειδικών πολυμερών. Πριν από την εφαρμογή υπολογίζεται το απαιτούμενο πάχος της επίστρωσης ώστε να παρέχεται αντιδιαβρωτική προστασία συνήθως για 15 έτη. Κατά τις επιθεωρήσεις και τους ελέγχους, θεωρείται ότι η μεταλλική επιφάνεια δεν έχει

επηρεαστεί από τη διάβρωση, όταν το μέγιστο ποσοστό της επιστρωμένης επιφάνειας που εμφανίζει διάβρωση δεν ξεπερνά το 3%.

- **Δεξαμενές φορτίου και χώροι φορτίου (αμπάρια):** σε αυτά η επίστρωση που εφαρμόζεται παρέχει αντιδιαβρωτική προστασία, αλλά και προστασία από ουσίες που μπορεί να ελευθερώνονται κατά τη μεταφορά του φορτίου. Πρέπει επίσης η επίστρωση να μην επιδρά στο φορτίο αλλά και το φορτίο να μην επηρεάζει την καλή κατάσταση της επίστρωσης.
- **Έξαλα και υπερκατασκευές:** λόγω της έκθεσης στον ήλιο και στα καιρικά φαινόμενα συνήθως δεν εφαρμόζονται εποξειδικές επιστρώσεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις που οι συνθήκες επιτρέπουν, η τελική επίστρωση μπορεί να είναι εποξειδική.

Στην εικόνα 1 φαίνεται το αποτέλεσμα εφαρμογής αντιδιαβρωτικής επίστρωσης που έχει γίνει με ορθό (αριστερά) ή λανθασμένο (δεξιά) τρόπο, γεγονός που καταδεικνύει τη σπουδαιότητα της σωστής χρήσης και εφαρμογής των επιστρώσεων. Και οι δύο εικόνες έχουν ληφθεί μετά από 13 έτη λειτουργίας. Αριστερά η κατάσταση της δεξαμενής διατηρείται πολύ καλά, ενώ δεξιά φαίνεται πως η δεξαμενή έχει υποστεί έντονη διάβρωση.



Εικόνα 1. Αποτέλεσμα διάβρωσης δεξαμενής έρματος [11].

Κατά κανόνα μετά τον καθαρισμό της επιφάνειας του μετάλλου, ακολουθεί η εφαρμογή αντιδιαβρωτικής επίστρωσης (αστάρι) και στη συνέχεια εφαρμόζονται μια ενδιάμεση και η τελική στρώση [2, 11].

Το **αστάρι** (*primer*) είναι το πρώτο στρώμα του συστήματος βαφής. Η λειτουργία του είναι πολύ σημαντική γιατί διασφαλίζει τη σωστή πρόσφυση της επίστρωσης και παρέχει την απαιτούμενη αντιδιαβρωτική προστασία. Πρέπει οπωσδήποτε να εφαρμόζεται μετά από πολύ καλό καθαρισμό της επιφάνειας. Το αστάρι ανάλογα με τον κατασκευαστή έχει διαφορετικούς χρόνους εφαρμογής για κάθε στρώση.

Η **ενδιάμεση στρώση** (*undercoat*) λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος ανάμεσα στο αστάρι και στην τελική στρώση και μέσω αυτής μπορεί να αυξηθεί το πάχος της επίστρωσης σε επιθυμητά επίπεδα. Συμβάλει σημαντικά στη διάρκεια ζωής της

επίστρωσης περιορίζοντας τη διαπερατότητα του συστήματος όσον αφορά το οξυγόνο και την υγρασία.

Η **τελική στρώση** (*finishing*) πρέπει να παρουσιάζει πολύ καλή αντοχή έναντι της διάβρωσης και της ρύπανσης και να έχει καλές μηχανικές ιδιότητες. Για τη βελτιστοποίηση της αντιδιαβρωτικής προστασίας των δεξαμενών έρματος εφαρμόζονται περισσότερες από μία στρώσεις.

Οι επιστρώσεις ταξινομούνται σε:

- **Σκληρές επιστρώσεις** (*Hard coatings*): είναι όσες επιστρώσεις αποκτούν την τελική τους μορφή με χημική διαδικασία, συνήθως χρησιμοποιείται για νέες κατασκευές. Οι σκληρές επιστρώσεις μπορεί να είναι ανόργανες ή οργανικές. Περιλαμβάνουν όλα τα συμβατικά χρώματα (εποξειδικά, πολυουρεθάνης, πυριτικού ψευδαργύρου, βινυλικά κ.λπ).
- **Ημίσκληρες επιστρώσεις** (*Semi-hard coatings*): είναι επιστρώσεις οι οποίες, αφού στεγνώσουν, παραμένουν ευέλικτες και ταυτόχρονα τόσο σκληρές ώστε αν δεχτούν πίεση, να μην υποστούν ζημιά και να μην επηρεάζονται όταν πλένονται.
- **Μαλακές επιστρώσεις** (*Soft coatings*): είναι επιστρώσεις που δεν στεγνώνουν και παραμένουν μαλακές.

3.2.1 Βασικά συστατικά των οργανικών επιστρώσεων

Οι οργανικές επιστρώσεις διακρίνονται σε χρώματα, βερνίκια και λάκες. Τα χρώματα είναι οι πιο κοινές επιστρώσεις στη ναυπηγική [16]. Τα κυριότερα συστατικά των χρωμάτων είναι:

- Α. Χρωστικές ουσίες ή πιγμέντα** (*Pigments*): προσδίδουν απόχρωση και γυαλάδα, μηχανικές και αντιδιαβρωτικές ιδιότητες.
- Β. Συνδετικό μέσο** (*Binder*): είναι το μέσο που καθορίζει την τελική μορφή μεμβράνης.
- Γ. Διαλύτες** (*Solvents*): με τους διαλύτες ελέγχεται το ιξώδες της επίστρωσης και διαλυτοποιούνται τα στερεά συστατικά ώστε να προκύψει ομογενές ρευστό. Οι διαλύτες εξατμίζονται αφού εφαρμοστεί η επίστρωση και δεν έχουν καμία επίδραση στην τελική μορφή της.

A. Τα πιγμέντα

Τα πιγμέντα χρησιμοποιούνται σε χρώματα με τη μορφή λεπτόκοκκης σκόνης. Διασκορπίζονται στο συνδετικό υλικό και σχηματίζουν σωματίδια μεγέθους περίπου 5-10 μm για βαφές φινιρίσματος και περίπου 50 μm για αστάρια [16, 17]. Μπορούν να χωριστούν στους ακόλουθους τύπους:

- **Αντιδιαβρωτικά πιγμέντα** (*Anti-corrosive pigments*): χρησιμοποιούνται για να αποτραπεί η διάβρωση των μετάλλων από χημικά και ηλεκτροχημικά μέσα σε επιφάνειες που δεν είναι βυθισμένες.
- **Πιγμέντα φράγματος** (*Barrier pigments*): χρησιμοποιούνται για να αυξηθεί η στεγανότητα της μεμβράνης βαφής.
- **Χρωστικά πιγμέντα** (*Coloring pigments*): χρησιμοποιούνται για να δοθεί μόνιμο χρώμα στη βαφή.
- **Πιγμέντα επέκτασης** (*Extending pigments*): χρησιμοποιούνται για να αποκτήσει ο υμένας βαφής επιπλέον ιδιότητες.

B. Το Συνδετικό μέσο

Τα συνδετικά είναι τα συστατικά του χρώματος που σχηματίζουν μεμβράνη και καθορίζουν τα κύρια χαρακτηριστικά της επικάλυψης, τόσο από φυσικής όσο και από χημικής άποψης [2, 16, 17]. Τα χρώματα γενικά χαρακτηρίζονται από το συνδετικό συστατικό τους (π.χ. εποξειδικά χρώματα, χρώματα χλωριωμένου ελαστικού, αλκυδικά χρώματα κ.λπ.). Το συνδετικό σχηματίζει μια μόνιμη συνεκτική μεμβράνη με ισχυρή πρόσφυση στη μεταλλική επιφάνεια.

Τα συνδετικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή χρωμάτων ανήκουν στην κατηγορία των θερμοσκληρυνόμενων και των θερμοπλαστικών πολυμερών.

Θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες είναι:

- Οι εποξειδικές (*epoxy resins*).
- Οι πολουρεθανικές (*polyurethane resins*).
- Οι αλκυδικές (*alkyd resins*).
- Οι ανόργανες (*inorganic resins*).

Εποξειδικές ρητίνες (*Epoxy resins*)

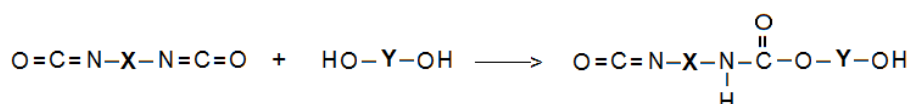
Ο ρυθμός διασύνδεσης των μακρομορίων ή ρυθμός σκλήρυνσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Για την απόκτηση βέλτιστων ιδιοτήτων του υμένα είναι απαραίτητη η πλήρης σκλήρυνση. Σε θερμοκρασίες μικρότερες από 5 °C, ο ρυθμός σκλήρυνσης των συμβατικών εποξειδικών ρητινών είναι μειωμένος ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες που φτάνουν τους -5 °C η σκλήρυνση μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την προσθήκη κατάλληλων χημικών ουσιών που χαρακτηρίζονται ως ειδικοί παράγοντες σκλήρυνσης. Η εποξειδική ρητίνη και ο παράγοντας σκλήρυνσης καθορίζουν τις ιδιότητες του προστατευτικού υμένα που σχηματίζεται με τη σκλήρυνση.

Οι εποξειδικές ρητίνες μπορεί να είναι συστήματα ενός ή δύο συστατικών, με ή χωρίς διαλύτες και συνδυάζονται με καθοδική προστασία. Χρησιμοποιούνται για την επικάλυψη μεταλλικών επιφανειών που είναι εκτεθειμένες στην ατμοσφαιρική διάβρωση ή είναι βυθισμένες στο νερό. Παρουσιάζουν καλή αντοχή στο θαλάσσιο περιβάλλον, στα χημικά και στους διαλύτες. Σημαντικό μειονέκτημά τους είναι ότι

υφίστανται φθορά και αποσύνθεση από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό συμβαίνει επειδή το συνδετικό μέσο επηρεάζεται από την υπεριώδη ακτινοβολία και προκύπτει χαλαρή και ψαθυρή επιφάνεια, με τα σωματίδια χρωστικής να παραμένουν στην επιφάνεια.

Ρητίνες πολουρεθάνης (*Polyurethane resins*)

Είναι πολυμερή που σχηματίζονται από αντίδραση μεταξύ οργανικών ενώσεων που διαθέτουν στη μοριακή δομή τους υδροξυλομάδα (-OH) με ενώσεις που περιέχουν ισοκυανική ομάδα (-N=C=O). Πραγματοποιείται αντίδραση προσθήκης στο διπλό δεσμό N=C, η οποία γενικά μπορεί να παρασταθεί ως εξής:



όπου X, Y είναι τμήματα της ανθρακικής αλυσίδας με ποικίλες μορφές.

Στα συστήματα δύο συστατικών, μια πολυαιθερική ή πολυεστερική ρητίνη που διαθέτει υδροξυλομάδες στη δομή της, αντιδρά με ισοκυανική ένωση υψηλού μοριακού βάρους, σύμφωνα με την παραπάνω αντίδραση. Τα υλικά που παράγονται είναι ευαίσθητα στην παρουσία νερού κατά την αποθήκευση και κατά την εφαρμογή τους. Για τον λόγο αυτό, πρέπει η επιφάνεια που θα βαφτεί με αυτά τα επιστρώματα να είναι στεγνή και η υγρασία του αέρα να είναι χαμηλή. Η εφαρμογή των επιστρωμάτων αυτών επιτρέπεται σε θερμοκρασίες άνω των 5 °C.

Οι ρητίνες πολουρεθάνης έχουν εξαιρετική αντοχή σε χημικά και διαλύτες και είναι καλύτερες από τυπικές εποξειδικές όσο αφορά την αντοχή σε οξέα. Οι εποξειδικές έχουν μεγαλύτερη αντοχή στα αλκαλικά διαλύματα απ' ό,τι οι πολουρεθάνες. Οι τελικές επιστρώσεις ρητινών πολουρεθάνης είναι πολύ σκληρές και έχουν εξαιρετική στιλπνότητα και πρόσφυση, ενώ μετά από κατάλληλη κατεργασία μπορούν να μην κίτρινίζουν με το πέρασμα του χρόνου. Λόγω των ισοκυανικών ενώσεων που περιέχουν είναι επικίνδυνες για την υγεία, γι' αυτό απαιτείται ειδικός προστατευτικός εξοπλισμός από την εκνέφωση, κατά την εφαρμογή τους.

Οι πολουρεθάνες που μορφοποιούνται παρουσία υγρασίας (*moisture-curing polyurethane coatings*) αποτελούν μια ειδική κατηγορία, καθώς η σκλήρυνσή τους επιταχύνεται από την υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ μπορούν να μορφοποιηθούν και σε θερμοκρασίες μικρότερες από 0 °C.

Αλκυδικές ρητίνες (*Alkyd resins*)

Οι αλκυδικές ρητίνες σχηματίζονται από την αντίδραση μεταξύ κατάλληλου οργανικού οξέος (π.χ φθαλικό οξύ), μιας πολυσθενούς αλκοόλης (π.χ γλυκερίνη) και ενός φυτικού ελαίου (π.χ λινέλαιο, σογιέλαιο, αφυδατωμένο ρητινέλαιο) ή των λιπαρών οξέων σε καθαρή μορφή. Οι ιδιότητες της αλκυδικής ρητίνης εξαρτώνται από το ποσοστό του λαδιού, της αλκοόλης και το οργανικό οξύ που χρησιμοποιείται. Μπορούν ωστόσο να συνδυαστούν με άλλες ρητίνες και να εφαρμοστούν για ειδικούς σκοπούς

όπως για παράδειγμα αλκυδικά ουρεθάνης. Το επίστρωμα αυτό έχει σύντομο χρόνο ξήρανσης και δε γλιστράει, οπότε είναι κατάλληλο να εφαρμοστεί σε ελάσματα δαπέδων και καταστρώματα. Οι αλκυδικές ρητίνες δεν έχουν αντοχή σε οξέα ή αλκαλικά συστατικά, λόγω της υδρόλυσης της εστερομάδας που περιέχουν. Τέλος, έχουν σχετικά μεγάλο χρόνο ξήρανσης. Ένα επίστρωμα μπορεί να επανεφαρμοσθεί μετά από 8 - 12 ώρες, ενώ αναλόγως της θερμοκρασίας, του εξαερισμού και της περιεκτικότητας σε διαλυτικό, χρειάζονται 24 - 28 ώρες για το σχηματισμό της ξηρής μεμβράνης (στέγνωμα). Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κλειστούς χώρους πλοίων, όπως το μηχανοστάσιο ή τα αμπάρια ξηρού φορτίου.

Ανόργανες ρητίνες (*Inorganic resins*)

Αυτού του τύπου οι ρητίνες περιλαμβάνουν τα πυριτικά άλατα που χρησιμοποιούνται μαζί με σκόνη ψευδαργύρου. Υπάρχουν ανόργανα πυριτικά άλατα διαλυτά στο νερό, όπως το πυριτικό νάτριο ή αντίστοιχα άλατα του λιθίου και του καλίου, ή ανόργανα πυριτικά άλατα με βάση τον πυριτικό μεθυλεστέρα, διαλυτά σε οργανικούς διαλύτες. Οι επιστρώσεις αυτού του τύπου έχουν μεγάλη σκληρότητα, ανθεκτικότητα στη διάβρωση και στις υψηλές θερμοκρασίες. Για να εφαρμοστούν χρειάζεται πολύ καλή προετοιμασία της επιφάνειας και μπορούν να επισκευαστούν χρησιμοποιώντας οργανικές επικαλύψεις. Ο ψευδάργυρος στις ανόργανες ρητίνες μπορεί να διαλυθεί υπό όξινες ή αλκαλικές συνθήκες, όμως τα επιστρώματα αυτά αποδίδουν καλά σε ουδέτερα διαλύματα και εφαρμόζονται συχνά σε δεξαμενές.

Θερμοπλαστικές ρητίνες (*Thermoplastic resins*)

Οι θερμοπλαστικές ρητίνες διακρίνονται σε:

- Ρητίνες χλωριωμένου ελαστικού (*Chlorinated rubber resins*).
- Βινυλικές ρητίνες (*Vinyl resins*).

Αυτοί οι τύποι συνδετικών χρωμάτων είναι διαλύματα διαφόρων ρητίνων ή πολυμερών διαλυμένων σε κατάλληλο διαλύτη/ες, ιδιαίτερα κατάλληλα για εργασίες συντήρησης. Τα χρώματα αυτά ξηραίνονται με φυσική ξήρανση, αμέσως μόλις εξατμιστεί ο διαλύτης χωρίς να πραγματοποιείται κάποια χημική αντίδραση σκλήρυνσης. Η προστατευτική μεμβράνη που προκύπτει παραμένει ευδιάλυτη στον αρχικό διαλύτη, ενώ ως θερμοπλαστική, μαλακώνει με θέρμανση.

Ρητίνες χλωριωμένου ελαστικού (*Chlorinated rubber resins*)

Οι ρητίνες αυτές παρέχουν καλή προστασία εφόσον εφαρμόζονται σε πολύ καλά προετοιμασμένη επιφάνεια. Δεν προσβάλλονται από οξέα και το νερό. Λόγω της ευαισθησίας στην θερμοκρασία σε πολύ ζεστά κλίματα μπορεί να προκληθούν βλάβες στην επίστρωση. Επίσης, η έκθεση στον ήλιο μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση του χρώματος με έντονο κιτρίνισμα. Οι επιστρώσεις χλωριωμένου ελαστικού μπορούν να

στεγνώσουν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, και προσφέρουν καλή πρόσφυση μεταξύ των διαφορετικών στρώσεων τόσο σε νέα όσο και σε ήδη υπάρχοντα συστήματα, κάτι που τα κάνει ιδανικά για χρήση σε εργασίες συντήρησης.

Βινυλικές ρητίνες (*Vinyl resins*)

Οι ρητίνες αυτές προκύπτουν από μείγμα πολυβινυλοχλωριδίου ($[-CH_2-CH(Cl)-]_n$), πολύ(οξικού βινυλεστέρα) ($[-CH_2-CH(-OOCCH_3)-]_n$), και πολυβινυλικής αλκοόλης ($[-CH_2-CH(OH)-]_n$) σε διάφορες αναλογίες. Για την παρασκευή τους χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα, πλαστικοποιητές όπως το φωσφορικό τρικρεζύλιο ($(p-CH_3-C_6H_4O-)_3PO$) ή το φθαλικό διοκτύλιο ($o-C_6H_4(COOC_8H_{17})_2$).

Με ανάμειξη βινυλικής ρητίνης με ακρυλικές ή άλλου είδους ρητίνες, παρασκευάζονται σύνθετες ρητίνες που μορφοποιούνται σε στερεές επιστρώσεις με βελτιωμένα χαρακτηριστικά όσον αφορά την ικανότητα να ξηραίνονται σε χαμηλές θερμοκρασίες και να έχουν καλή πρόσφυση. Σ' αυτά μπορεί να προστεθεί ανθρακόπισσα για αύξηση της αντοχής της επίστρωσης στο νερό.

Γ. Οι Διαλύτες

Οι διαλύτες χρησιμοποιούνται σε χρώματα κυρίως για τη διευκόλυνση της εφαρμογής [16]. Ο ρόλος τους είναι να διαλύουν το συνδετικό μέσο και να μειώνουν το ιξώδες του χρώματος σε επίπεδο που είναι κατάλληλο για τις διάφορες μεθόδους εφαρμογής (εφαρμογή με πινέλο, ρολό, συμβατικό ψεκασμό, ψεκασμό χωρίς αέρα κ.λπ.). Μετά την εφαρμογή, ο διαλύτης εξατμίζεται και δεν αποτελεί μέρος της επίστρωσης.

Οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται σε αντιδιαβρωτικά μέσα και χρώματα διακρίνονται σε:

- **Πραγματικός διαλύτης (*True solvent*):** είναι υγρό που χρησιμοποιείται για να διαλύσει το συνδετικό μέσο και είναι απόλυτα συμβατό με αυτό.
- **Λανθάνων διαλύτης (*Latent solvent*):** είναι υγρό που δεν είναι πραγματικός διαλύτης, αλλά αν αναμειχθεί με έναν τέτοιο, το μείγμα που προκύπτει έχει καλύτερα ρεολογικά χαρακτηριστικά από ότι αν χρησιμοποιούνταν πραγματικός.
- **Διαλύτης αραιώσης (*Diluent solvent*):** είναι υγρό που δεν είναι πραγματικός διαλύτης. Συνήθως χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με μείγμα πραγματικών ή/και λανθανόντων διαλυτών. Ωστόσο, τα συνδετικά μέσα μπορούν να ανεχθούν περιορισμένη ποσότητα διαλυτών αραιώσης.

Υπάρχουν πολλοί διαλύτες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία χρωμάτων με ποικίλες ιδιότητες ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις εφαρμογής ενός διαλύτη ή μείγματος διαλυτών. Εκτός από εμπορικούς παράγοντες όπως η τιμή και η

διαθεσιμότητα, οι ιδιότητες που λαμβάνονται υπόψη είναι και η τοξικότητα, η σταθερότητα, η αναφλεξιμότητα, η οσμή και η συμβατότητα.

3.2.2 Συνήθεις οργανικές αντιδιαβρωτικές επιστρώσεις

Καθαρές εποξειδικές επιστρώσεις (*Pure epoxy*)

Οι καθαρές εποξειδικές επιστρώσεις θεωρούνται γενικά χρώματα που περιέχουν μόνο εποξειδικά πολυμερή, συνδετικό παράγοντα, χρωστικές και διαλύτη. Ανήκουν στην κατηγορία επιστρωμάτων δύο συστατικών. Έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε ρητίνη και συνδετικό μέσο, οπότε σχηματίζουν μια πολύ συνεκτική μεμβράνη στην επιφάνεια του μετάλλου. Για τον λόγο παρέχουν πολύ καλή αντιδιαβρωτική προστασία, ενώ έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και μικρή ανάγκη συντήρησης. Επίσης, μια μέθοδος αύξησης της αντιδιαβρωτικής προστασίας των επιστρώσεων αυτών είναι η δυνατότητα προσθήκης επιπρόσθετων συστατικών, όπως αλουμίνιο σε λεπτόκοκκη σκόνη [16] ή σε μορφή νιφάδων (*flakes*).

Οι εποξυφαινολικές (*epoxy-phenolic*) επιστρώσεις, λόγω της υψηλής τους αντίστασης ακόμα και σε φορτίο, χρησιμοποιούνται σε δεξαμενές προϊόντων πετρελαίου και χημικών προϊόντων. Στις περιπτώσεις αυτές, απαιτείται θέρμανση της δεξαμενής για να επιτευχθεί η σκλήρυνση και η σωστή εφαρμογή της επίστρωσης.

Τροποποιημένες εποξειδικές επιστρώσεις (*Modified epoxy*)

Οι επιστρώσεις αυτές είναι γνωστές και ως εποξειδικές μαστίχες (*epoxy mastiques*), εποξειδικά χωρίς πίσσα (*bleached tar epoxy*). Ανάλογα με τη σύστασή τους, έχουν διαφορετικές ιδιότητες. Για τον λόγο αυτό, δεν είναι εφικτό να γίνει γενίκευση σχετική με την αντιδιαβρωτική τους δράση.

Στις τροποποιημένες εποξειδικές επιστρώσεις μπορεί να περιέχονται και μη εποξειδικές ενώσεις καθώς και στερεά ή υγρά πρόσθετα, που δε συμμετέχουν στο σχηματισμό της μεμβράνης, αλλά παραμένουν ως πιγμέντα στην τελική επίστρωση. Ορισμένες από τις ενώσεις αυτές, μπορεί να διαλύονται στο περιεχόμενο της δεξαμενής. Αυτό σημαίνει πως με την πάροδο του χρόνου μπορεί η επίστρωση να διαλύεται σταδιακά δημιουργώντας ένα πορώδες εύθραυστο στρώμα με μικρή μηχανική αντοχή και μειωμένες αντιδιαβρωτικές ιδιότητες [16].

Εποξειδικές επιστρώσεις που περιέχουν πίσσα (*Coal-tar epoxy*) [2, 16]

Είναι επιστρώσεις που προκύπτουν από συνδυασμό ανθρακόπισσας και εποξειδικών ρητίνων. Με την προσθήκη ανθρακόπισσας στα επιστρώματα επιτυγχάνεται μια σκουρόχρωμη (καφέ ή μαύρου χρώματος) επιφάνεια. Οι επιστρώσεις αυτές, είναι χαμηλού κόστους και έχουν καλύτερη αντοχή στο νερό απ' ό τι τα εποξειδικά που δεν περιέχουν πίσσα. Αποτελούν καλή επιλογή για επιφάνειες που βρίσκονται κάτω από το νερό, δεξαμενές φορτίου ή δεξαμενές ακατέργαστων ελαίων,

και δεξαμενές έρματος. Επίσης, εμφανίζουν ελαστικότητα, καλή πρόσφυση στις μεταλλικές επιφάνειες και ικανοποιητική αντοχή στις καιρικές συνθήκες. Όπως συμβαίνει με όλες τις εποξειδικές επιστρώσεις, και αυτές που περιέχουν πίσσα, χάνουν τη στιλπνότητα και αποκτούν ψαθυρότητα με τη διαρκή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να γίνει προσθήκη κατάλληλων προστατευτικών (*sealers*) πριν την σκλήρυνση της επιφάνειας. Χρησιμοποιούνται με καλά αποτελέσματα για πολλά χρόνια, ωστόσο η εφαρμογή τους σε δεξαμενές έρματος έχει σταματήσει από τη δεκαετία του 1990.

Οι εποξειδικές επιστρώσεις που περιέχουν πίσσα δε μπορούν να εφαρμοστούν σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 2 °C. Ο περιορισμός αυτός μπορεί να ξεπεραστεί εάν χρησιμοποιηθεί ως σκληρυντικό ένα ισοκυανικό άλας. Με την προσθήκη αυτή η επίστρωση μπορεί να εφαρμοστεί έως και τους -10 °C. Επιπλέον, υπάρχουν επιστρώσεις πίσσας-πολυουρεθάνης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χαμηλές θερμοκρασίες και σε συνθήκες έντονης υγρασίας, αντί των εποξειδικών επιστρώσεων που περιέχουν πίσσα.

Εποξειδικές επιστρώσεις χωρίς διαλύτες (*Solvent-free*)

Οι επιστρώσεις αυτές εφαρμόζονται χωρίς να χρειάζονται την προσθήκη διαλύτη. Στη σύστασή τους περιέχονται ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους προκειμένου η βαφή να έχει κατάλληλο ιξώδες και τα κατάλληλα ρεολογικά χαρακτηριστικά για να μπορεί να εφαρμοστεί με ψεκασμό. Οι επιστρώσεις αυτές είναι κατάλληλες για χρήση σε δεξαμενές έρματος και δεξαμενές φορτίου. Χρησιμοποιούνται επίσης σε περιπτώσεις όπου η απομάκρυνση πτητικών οργανικών συστατικών (*volatile organic components - VOC*) είναι δύσκολη λόγω κακού αερισμού. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται για την επίστρωση του εσωτερικού κλειστών δεξαμενών και στο εσωτερικό σωληνώσεων ή άλλων χώρων με ανεπαρκή αερισμό [16].

Εποξειδικές επιστρώσεις που περιέχουν κεραμικά συστατικά

Η προσθήκη κεραμικών υλικών σε εποξειδικές επιστρώσεις δύο συστατικών βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες της επίστρωσης. Σε σύγκριση με τις απλές εποξειδικές ρητίνες το σύστημα με την προσθήκη κεραμικών σωματιδίων έχει καλύτερη συνεκτικότητα και πρόσφυση, μεγαλύτερη αντίσταση σε πρόσκρουση, μεγαλύτερη αντίσταση στη τριβή, ευκαμψία και διηλεκτρική αντοχή ώστε να εμποδίζεται η γαλβανική διάβρωση. Οι επιστρώσεις αυτές εμφανίζουν επίσης αντοχή σε χημικές ουσίες και χαμηλή διαπερατότητα λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε κεραμικά σωματίδια [12].

Οι οργανικές αντιδιαβρωτικές επιστρώσεις εφαρμόζονται σε ρευστή μορφή, όπως τα υγρά χρώματα, κυρίως με ρολό ή πιστόλι ψεκασμού. Ο τελευταίος τρόπος εφαρμογής παρέχει καλύτερη και πιο ομοιόμορφη επίστρωση.

3.3 Πλαστικές επικαλύψεις

Θερμοπλαστικά πολυμερή (*Thermoplastics*)

Τα θερμοπλαστικά υλικά είναι μια κατηγορία των πολυμερών και κοινώς αναφέρονται ως πλαστικά. Έχουν την ιδιότητα να μαλακώνουν και να τήκονται κατά τη θέρμανση και στη συνέχεια όταν ψύχονται να στερεοποιούνται εκ νέου. Τα πλαστικά που χρησιμοποιούνται περισσότερο σε ναυπηγικές εφαρμογές είναι το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο, το πολυβινυλοχλωρίδιο (*PVC*), το πολυβινυλοδιφθορίδιο (*PVDF*) και άλλα παρόμοιας δομής και σύστασης. Τα πολυμερή αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως και ως προστατευτικά επιστρώματα σε κατασκευές στη στεριά και στη θάλασσα.

Ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά των θερμοπλαστικών παρατίθενται ακολούθως:

- Έχουν απλή μοριακή δομή. Οι δομικές μονάδες είναι μακρομόρια που αποτελούνται από ανθρακικές αλυσίδες.
- Με θέρμανση, μαλακώνουν και στη συνέχεια τήκονται ώστε να μορφοποιούνται και να συγκολλούνται, ενώ στερεοποιούνται όταν ψύχονται.
- Είναι δυνατή η επανεπεξεργασία και η ανακύκλωσή τους καθώς μπορούν να θερμανθούν και να ψυχθούν επανειλημμένα χωρίς να εφίστανται σοβαρές φθορές..
- Ορισμένα θερμοπλαστικά, όπως ο πολυαιθυλενεστέρας ή τα συμπολυμερή οξικού βινυλεστέρα–αιθυλενίου μπορούν με κατάλληλες κατεργασίες να εμφανίζουν συμπεριφορά θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διασύνδεση των αλυσίδων των μακρομορίων του πολυμερούς, ώστε να καταλαμβάνουν σταθερές θέσεις στο χώρο και να περιορίζεται η κινητικότητά τους.

Τα κρυσταλλικά θερμοπλαστικά συνήθως είναι ημιδιαφανή με κρυσταλλική διάταξη μοριακών αλυσίδων. Έχουν υψηλές και απότομες θερμοκρασίες τήξης. Σε σύγκριση με τα άμορφα θερμοπλαστικά έχουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή στην κρούση. Οι μηχανικές τους ιδιότητες μπορεί να βελτιωθούν σημαντικά με την προσθήκη ενίσχυσης ινών. Κατά την σκλήρυνση συρρικνώνονται περισσότερο από τα άμορφα θερμοπλαστικά. Τέτοια θερμοπλαστικά μπορούν να παραχθούν από το πολυαιθυλένιο (*PE*) και το πολυπροπυλένιο (*PP*). Άμορφα θερμοπλαστικά παράγονται από πολυανθρακικούς εστέρες, γνωστά και ως πολυκαρβονικά πλαστικά (*PC*), από πολυμεθακρυλικό μεθυλεστέρα (*PMMA*), από πολυστυρένιο (*PS*) και άλλα παρόμοιας δομής πολυμερή. Παράγονται από πρώτες ύλες που προέρχονται από την επεξεργασία του πετρελαίου ή του φυσικού αερίου με πολυμερισμό παρουσία κατάλληλου καταλύτη [18].

Πλεονεκτήματα θερμοπλαστικών:

- Μπορούν να συγκολληθούν και να μορφοποιηθούν εύκολα με θέρμανση.
- Δε πραγματοποιούνται χημικές αντιδράσεις κατά τη μορφοποίησή τους, αλλά γίνεται φυσικός μετασχηματισμός, με αντιστρεπτό τρόπο, της στερεάς σε κατάσταση ρευστού. Συνεπώς, οι διαδικασίες αυτές είναι απλές και σύντομες.
- Δεν απελευθερώνουν αέρια προϊόντα κατά τη μορφοποίησή τους.
- Είναι ανθεκτικά στην επίδραση πολλών χημικών διαλυτών.
- Δεν διαβρώνονται.

Μειονεκτήματα θερμοπλαστικών:

- Εμφανίζουν πλαστικότητα και μικρή αντοχή σε φαινόμενα ερπυσμού, ως συνέπεια της δομής τους. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η πλαστικότητά τους και μειώνεται η αντοχή τους στον ερπυσμό.
- Τα περισσότερα θερμοπλαστικά αναφλέγονται εύκολα.
- Υφίστανται γήρανση με την επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στη μείωση της αντοχής τους, τη φθορά και αποσύνθεσή τους.

Γενικά, τα θερμοπλαστικά υλικά χρησιμοποιούνται ως επικαλύψεις στις ναυπηγικές κατασκευές, ωστόσο σε κάποια είδη δεξαμενών έχουν κυριαρχήσει άλλου τύπου επικαλύψεις για οικονομικούς, πρακτικούς και λειτουργικούς λόγους. Για παράδειγμα στις δεξαμενές έρματος συνηθίζεται να εφαρμόζονται επικαλύψεις με εποξειδική βάση σε συνδυασμό με ανόδους που παρέχουν καθοδική προστασία στη μεταλλική κατασκευή. Επίσης, στις δεξαμενές φορτίου, πολλές φορές μπορεί να χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότεροι διαφορετικοί τύποι επιστρώσεων, ανάλογα με τη θέση, τις τοπικές ιδιαιτερότητες των κατασκευαστικών στοιχείων και τις ανάγκες προστασίας.

Τα θερμοπλαστικά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη μορφή τους και τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζονται ως εξής:

- **Θερμοπλαστικά φύλλα (*Linings*)**
- **Θερμοπλαστικά χρώματα (*Powder & Liquid*)**
- **Ενισχυμένα θερμοπλαστικά (*Reinforced plastics*)**

Θερμοπλαστικά φύλλα (*Linings*) [19].

Οι επικαλύψεις από θερμοπλαστικά φύλλα (θερμοπλαστικές επενδύσεις) αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα του πολυμερούς το οποίο συνήθως συγκολλάται ή στερεώνεται στην επιφάνεια που επιδιώκεται να προστατευτεί. Η θερμοπλαστική επένδυση χρησιμεύει ως προστατευτική επίστρωση έναντι της διάβρωσης και της φθοράς. Τα κυριότερα θερμοπλαστικά φύλλα που χρησιμοποιούνται σε ναυπηγικές

εφαρμογές είναι οι πολυολεφίνες (περιλαμβάνουν το πολυαιθυλένιο και το πολυπροπυλένιο), τα φθοροπολυμερή και τα πολυβινυλικά παράγωγα. Οι ιδιότητες που διαθέτουν οι θερμοπλαστικές επενδύσεις τις καθιστούν κατάλληλα υλικά για την προστασία έναντι της διάβρωσης. Τα βασικά χαρακτηριστικά των υλικών αυτών είναι το υψηλό μοριακό βάρος και οι μη διακλαδισμένες αλυσίδες μακρομορίων πολυμερούς που διασυνδέονται μεταξύ τους με διαμοριακές δυνάμεις.

Η διαδικασία εφαρμογής για τα περισσότερα από αυτά τα υλικά περιλαμβάνει:

- Προετοιμασία επιφάνειας μετάλλου με λείανση.
- Διαστασιολόγηση για σωστή διαμόρφωση του υλικού.
- Στεγανοποίηση και εφαρμογή κατάλληλου κολλητικού υλικού ανάμεσα στο υπόστρωμα και το υλικό της θερμοπλαστικής επένδυσης.
- Τοποθέτηση του θερμοπλαστικού φύλλου.
- Θερμική συγκόλληση ή χρήση άλλων μεθόδων για σωστή ένωση των ραφών των φύλλων.

Θερμοπλαστικά χρώματα (*Powder coating & Liquid coating*)

Τα επιστρώματα πούδρας (*powder coatings*) εφαρμόζονται ως ξηρά σωματίδια που λιώνουν και ρέουν σε λεία επικάλυψη όταν θερμαίνονται, αλλά συνεχίζουν να έχουν ίδια χημική σύνθεση όταν ψυχθούν και στερεοποιηθούν. Οι περισσότερες θερμοπλαστικές επικαλύψεις πούδρας χρειάζονται υγρό αστάρι στο υπόστρωμα της επιφάνειας που βάφεται προκειμένου να βελτιωθεί η πρόσφυση. Οι πούδρες είναι υλικά που προστατεύουν από τη διάβρωση, έχουν αντοχή στη ρύπανση, προσφέρουν ηλεκτρική μόνωση και αντιολισθηρότητα.

Οι θερμοπλαστικές επικαλύψεις πούδρας περιέχουν τα παρακάτω βασικά συστατικά:

- **Ρητίνες (*Resins*).**
- **Πρόσθετα (*Additives*).**
- **Χρωστικές ουσίες (*Pigments*).**
- **Επεκτατικά ή παράγοντες εξάπλωσης (*Extenders*).**

Επειδή στα περισσότερα από αυτά δεν χρησιμοποιούνται διαλύτες, δεν παράγονται πτητικές οργανικές ενώσεις (*VOCs*) κατά την εφαρμογή ή τη διαδικασία σκλήρυνσης. Οι ιδιότητες κάθε πούδρας καθορίζονται από τη ρητίνη που χρησιμοποιείται. Οι μέθοδοι εφαρμογής των επιστρώσεων πούδρας είναι οι εξής:

- Ρευστοποιημένη κλίνη (*Fluidized-Bed*).
- Ψεκασμός φλόγας (*Flame spraying*).
- Ηλεκτροστατικός ψεκασμός (*Electrostatic spraying*).

Η μέθοδος εφαρμογής με ρευστοποιημένη κλίνη μπορεί να εφαρμοστεί ως ηλεκτροστατική και μη ηλεκτροστατική. Συνήθως, στα θερμοπλαστικά επιστρώματα, χρησιμοποιούνται οι ηλεκτροστατικές μέθοδοι βαφής [20-22].

Τα χρώματα πούδρας εμφανίζουν σε γενικές γραμμές παρόμοιες ιδιότητες με τα κοινά υγρά χρώματα. Στον πίνακα 8 γίνεται σύγκριση κοινών υγρών χρωμάτων με τις επιστρώσεις πούδρας και σημειώνεται ως (-) αν μειονεκτεί ή (+) αν πλεονεκτεί ο κάθε τύπος επίστρωσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Σύγκριση ανάμεσα σε υγρές επιστρώσεις και σε επιστρώσεις πούδρας [23].

Χαρακτηριστικό	Υγρό επίστρωμα	Επίστρωμα πούδρας	Σχόλια
Εκπομπές πτητικών ουσιών	-	+	Πούδρα - Δεν περιέχει VOC. Υγρό - καίγεται και αφήνει τέφρα.
Μεταφορά αποβλήτων/υλικών	-	+	Πούδρα-95% αποδοτικότητα όταν ανακυκλώνεται.
Δομή φιλμ	+	-	Το υγρό φιλμ είναι πιο λεπτό και πιο ελεγχόμενο.
Σκληρότητα επιφάνειας	-	+	Η πούδρα γενικά δημιουργεί σκληρότερη επίστρωση.
Ομαλή εμφάνιση	+	-	Υγρό-ποικίλει ανάλογα της ποσότητας του διαλύτη.
Μεταλλικό χρώμα	++	-	Υγρό-Μπορεί να περιέχει νιφάδες σε μεγαλύτερο βαθμό.
Αντοχή στη διάβρωση	+	-	Πούδρα-η μιας στρώση είναι πιο ευαίσθητη.
Αποχρώσεις	+	-	Υγρό-μεγαλύτερο εύρος διαθέσιμων χρωμάτων.
Κόστος υλικού	+	-	Πούδρα-δίνει επίστρωση με τριπλάσιο πάχος από το υγρό.
Ευκολία εφαρμογής	-	+	Πούδρα-πιο απλή διαδικασία και λιγότερη συντήρηση.
Κίνδυνος πυρκαγιάς	-	+	Πούδρα-μικρότερος κίνδυνος φωτιάς και μικρότερο κόστος μέτρων πυρασφάλειας.
Μεταφορά	-	+	Πούδρα-πιο συμπαγές υλικό και δεν παγώνει.
Αλλαγή χρώματος	+	-	Υγρό-πιο εύκολη η αλλαγή χρώματος.
Κίνδυνος έκρηξης	+	-	Πούδρα-τα σωματίδια μπορεί να αναφλεχθούν στην αποθήκευση.
Οσμή	-	+	Υγρό-εκπέμπει αναθυμιάσεις από τα VOC των διαλυτών.

Στις επιστρώσεις πούδρας χρησιμοποιούνται επίσης θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή, όπως ο πολυεστέρας, τα εποξειδικά, οι πολυουρεθάνες ή τα ακρυλικά.

Τα θερμοπλαστικά ελαστομερή (TPE) αποτελούν μια κατηγορία θερμοπλαστικών που εμφανίζουν ιδιότητες ελαστομερών. Σ' αυτά περιλαμβάνονται εμπορικά προϊόντα [18, 24] όπως:

- Τα κατά συστάδες συμπολυμερή του στυρενίου (*Thermoplastic Styrene - TPS*).
- Θερμοπλαστικά βουλκανισμένου ελαστικού (*Thermoplastic vulcanisates - TPV*).
- Οι θερμοπλαστικοί συμπολυεστέρες (*Thermoplastic copolyester - TPC*).
- Οι θερμοπλαστικές πολυολεφίνες (*Thermoplastic polyolefins - TPO*).
- Οι θερμοπλαστικές πολουρεθάνες (*Thermoplastic polyurethanes - TPU*).
- Θερμοπλαστικά πολυαμίδια (*Thermoplastic polyamides - TPA*).

Πλεονεκτήματα θερμοπλαστικών ελαστομερών.

- Τα υλικά αυτά μπορούν να επεξεργαστούν γρήγορα και οικονομικά.
- Έχουν μικρό ειδικό βάρος.
- Εμφανίζουν ελαστική συμπεριφορά σε συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασίας.
- Έχουν πολύ καλές ιδιότητες ηλεκτρικής μόνωσης.
- Εμφανίζουν αντίσταση σε χημικούς διαλύτες και έλαια.
- Έχουν καλή πρόσφυση σε επιφάνειες διάφορων υλικών.
- Είναι ανθεκτικά στην απόσχιση.
- Έχουν χαμηλή διαπερατότητα στα υγρά.
- Μπορούν να αποκτήσουν ποικιλία χρωμάτων με τη προσθήκη χρωστικών.
- Η σκληρότητά τους μπορεί να καθορίζεται σε ένα μεγάλο εύρος τιμών.
- Μπορούν να αυτολιπαίνονται, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό τη τριβή και το θόρυβο.

Μειονεκτήματα θερμοπλαστικών ελαστομερών.

- Σε σύγκριση με τα θερμοσκληρυνόμενα ελαστικά, τα θερμοπλαστικά ελαστομερή έχουν μειωμένη χημική και περιβαλλοντική αντίσταση και θερμικές αντιστάσεις, καθώς λιώνουν ή μαλακώνουν σε υψηλές θερμοκρασίες και χάνουν τη ελαστική συμπεριφορά τους.
- Το κόστος των θερμοπλαστικών ελαστομερών είναι υψηλότερο από τα θερμοσκληρυνόμενα υλικά.
- Η υδροφοβικότητα τους μειώνεται όταν χρησιμοποιούνται σε εξωτερικό περιβάλλον και κυρίως σε περίπτωση που εφαρμόστούν για μόνωση υψηλής ηλεκτρικής τάσης.

Οι λειτουργικές επιστρώσεις πολυολεφινών (*Functionalised Polyolefin Coatings*) αποτελούν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα θερμοπλαστικών ελαστομερών

που χρησιμοποιούνται για τη μόνωση επιφανειών. Τα βασικά χαρακτηριστικά τους παρατίθενται ακολούθως:

- Έχουν μακροχρόνια πρόσφυση χωρίς ανάγκη ασταριού στο υπόστρωμα.
- Έχουν αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία.
- Λόγω της χημικής τους σύστασης είναι κατάλληλα για τρόφιμα και νερό.
- Από την καύση τους δεν παράγονται τοξικά προϊόντα.
- Εμφανίζουν ελαστικότητα, αντοχή στη κρούση και στη θραύση χωρίς να εμφανίζουν ρωγμές.
- Λειτουργικότητα σε εύρος θερμοκρασιών $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Καλή αντίσταση στην επίδραση χημικών παραγόντων.
- Αντοχή στην ώσμωση.
- Καλές μονωτικές ιδιότητες. Ως μονωτικά υλικά παρέχουν προστασία έναντι της ηλεκτροχημικής και θαλάσσιας διάβρωσης.

Το ελάχιστο προτεινόμενο πάχος εφαρμογής αυτών των επιστρώσεων είναι $300\text{ }\mu\text{m}$ [18, 24].

Γενικότερα οι θερμοπλαστικές επιστρώσεις έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Είναι σύστημα προστασίας μιας στρώσης.
- Ελάχιστος πάχος τα $300\text{ }\mu\text{m}$.
- Εξαιρετικά ανθεκτικά σε μηχανική καταπόνηση και χημική προσβολή.
- Παρέχουν καλή ηλεκτρική μόνωση.
- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον.
- Παρέχουν πολύ καλή αντιδιαβρωτική προστασία σε οποιοδήποτε περιβάλλον.
- Έχουν χαμηλό κόστος.
- Κατεργάζονται και μορφοποιούνται εύκολα.

Το ελάχιστο προτεινόμενο πάχος εφαρμογής αυτών των επιστρώσεων είναι επίσης $300\text{ }\mu\text{m}$.

3.3.1 Πολυαιθυλένιο (PE)

Το πολυαιθυλένιο και το πολυπροπυλένιο είναι γνωστά ως πολυολεφίνες επειδή παράγονται από τον πολυμερισμό ακόρεστων υδρογονανθράκων (ολεφίνες). Τα πολυμερή αυτά παράγονται με πολυμερισμό προσθήκης του αιθυλενίου και του προπυλενίου αντίστοιχα. Οι πολυολεφίνες είναι υδρόφοβα υλικά, δηλαδή απωθούν τα

μόρια του νερού και μ' αυτόν τον τρόπο εμποδίζουν την υγρασία να διαπεράσει το σύστημα προστασίας. Κατά συνέπεια αποτελούν κατάλληλα υλικά αντιδιαβρωτικής προστασίας για χρήση σε θαλάσσιο και βιομηχανικό περιβάλλον.

Το πολυαιθυλένιο χρησιμοποιείται ως το τελικό στρώμα σε αντιδιαβρωτικά συστήματα τριών στρώσεων. Ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από ένα στρώμα εποξειδικού πολυμερούς, που εφαρμόζεται στη μεταλλική επιφάνεια (*fusion bonded epoxy*), πάνω στο οποίο εφαρμόζεται ένα δεύτερο συγκολλητικό στρώμα κατάλληλου συμπολυμερούς και έπειτα εφαρμόζεται η επικάλυψη πολυαιθυλενίου ή πολυπροπυλενίου μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό πάχος. Οι επιστρώσεις αυτές έχουν ομαλό φινίρισμα και κηρώδη υφή.

Ανάλογα με τον βαθμό πολυμερισμού (ο οποίος καθορίζει το μέσο μοριακό βάρος του πολυμερούς) και το ποσοστό κρυσταλλικότητας (ποσοστό των μακρομορίων που διατάσσονται έτσι ώστε τοπικά να προκύπτει κρυσταλλική δομή), το παραγόμενο πολυαιθυλένιο αποκτά διαφορετική πυκνότητα. Διακρίνονται έτσι οι παρακάτω τύποι πολυαιθυλενίου [25, 26]:

- Υψηλής πυκνότητας (*High density polyethylene-HDPE*) με πυκνότητα 0.940 - 0.965 g/cm³.
- Χαμηλής πυκνότητας (*Low density polyethylene-LDPE*) με πυκνότητα μικρότερη από 0.930 g/cm³.
- Γραμμικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (*Linear low density polyethylene-LLDPE*) με πυκνότητα 0.915 - 0.940 g/cm³.

Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)

Λόγω της υψηλής πυκνότητας (0.940 - 0.965 g/cm³) έχει μικρό βαθμό διακλαδώσεων με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται ισχυρές διαμοριακές δυνάμεις van der Waals ανάμεσα στις αλυσίδες των μακρομορίων. Η αντοχή του σε εφελκυσμό είναι περίπου 31.7 Mpa. Το σημείο τήξης του είναι 126 - 131 °C και ο βαθμός κρυσταλλικότητας 70 - 90%. Χρησιμοποιείται σε θερμοκρασίες -40 °C έως 85 °C.

Σαν υλικό είναι ημιδιαφανές στην εμφάνιση, σκληρό σε θερμοκρασίες κοντά στο σημείο υαλώδους μετάπτωσης (T_g), καλής αντοχής στα χημικά και χαμηλού κόστους.

Για την παραγωγή του χρησιμοποιείται πίεση 10 έως 80 atm και η παρουσία καταλύτη Ziegler-Natta (τριγλωριούχο τιτάνιο μαζί με τριαλκυλοαργίλιο) [26, 27].

Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE)

Το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (0.910 - 0.940 g/cm³) έχει πολλές μικρές διακλαδώσεις, σε ποσοστό περίπου 20 διακλαδώσεις ανά 1000 άτομα άνθρακα. Ο βαθμός των διακλαδώσεων και η σχετική μοριακή μάζα επηρεάζουν τις ιδιότητες του πολυμερούς. Έχει μικρή αντοχή σε εφελκυσμό και αυξημένη ελαστικότητα.

Σαν υλικό είναι ημι-άκαμπτο, ημι-διαφανές σκληρό και ανθεκτικό στα χημικά και επίσης εμφανίζει μικρή διαπερατότητα από το νερό. Έχει αντοχή σε εφελκυσμό 12.4 - 15.2 *Mpa*, σημείο τήξης 105 - 120 °C, θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης -125 °C και βαθμό κρυσταλλικότητας περίπου 50%. Έχει χαμηλό κόστος παραγωγής, παράγεται με ποικίλες μεθόδους που χρησιμοποιούν υψηλές πιέσεις (1000 - 3000 *atm*) και μέτριες θερμοκρασίες (147 - 297 °C) [25-27].

Γραμμικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (*LLDPE*)

Το γραμμικό πολυαιθυλένιο είναι υλικό το οποίο μπορεί να έχει πολλές εφαρμογές ωστόσο είναι υλικό με υψηλό κόστος γιατί απαιτείται υψηλή πίεση για την παραγωγή του. Η πυκνότητα του πολυμερούς μειώνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό των μικρού μεγέθους μακρομορίων (χαμηλού μοριακού βάρους). Λόγω της γραμμικής δομής του το πολυμερές έχει πολύ καλή ελαστικότητα και αντοχή, χωρίς να απαιτείται η χρήση πρόσθετων πλαστικοποιητών. Το χαρακτηριστικό αυτό καθιστά το *LLDPE* ιδανικό υλικό για παραγωγή λεπτών υμένων. Σε σύγκριση με το *LDPE*, έχει υψηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό και μεγαλύτερη αντίσταση στη δημιουργία ρωγμών. Επιπλέον, είναι εύκαμπτο, με καλές ηλεκτρικές ιδιότητες και καλή αντίσταση στη προσβολή από χημικά. Παράγεται με βαθμό κρυσταλλικότητας 30 - 45% και τήκεται σε θερμοκρασία 112 - 124 °C.

Συνήθως παράγεται με αντιδράσεις σε αέρια φάση (*gas phase reaction*), και με συμπολυμερισμό αιθυλενίου με ένα ή περισσότερα *α*-ολεφινικά μονομερή, σε θερμοκρασίες μέχρι 250 °C, παρουσία κατάλληλου καταλύτη [25-27].

3.3.1.1 Φύλλα πολυαιθυλενίου (*Linings*)

Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενδεικτικό της καταλληλότητας του πολυαιθυλενίου είναι η προστασία που παρέχει σε σωληνώσεις ναυπηγικών κατασκευών (σωληνώσεις εισροής και εκροής θαλασσινού νερού για ψύξη ή έρμα) και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Τα χαρακτηριστικά των σωληνώσεων που έχουν επενδυθεί με φύλλα πολυαιθυλενίου είναι [28]:

- **Υψηλή αντίσταση σε χημικά:** το πολυαιθυλένιο είναι χημικά σταθερό σε οξέα και καυστικά αλκάλια.
- **Καλές μηχανικές ιδιότητες:** έχει μεγάλη αντίσταση στο σχηματισμό ρωγμών και σε απόσχιση, λόγω της καλής αντοχής του στον εφελκυσμό. Επίσης εμφανίζει αρκετά υψηλή σκληρότητα, ολκιμότητα, καλή πρόσφυση και χαμηλό συντελεστή τριβής.
- **Υψηλή ηλεκτρική μόνωση.**
- **Σταθερότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες:** εμφανίζει σταθερότητα μέχρι τους -40 °C.

- **Αντοχή σε πολλούς χημικούς διαλύτες και αντιδραστήρια:** με τον τρόπο αυτό μπορεί να εξασφαλίζει την καθαρότητα του περιεχομένου ενός δοχείου ή μιας δεξαμενής.
- **Στεγανότητα:** τα φύλλα πολυαιθυλενίου λειτουργούν ως φράγμα ανάμεσα στη μεταλλική επιφάνεια και το περιβάλλον, ώστε να μην είναι δυνατή η επαφή συστατικών του περιβάλλοντος με το μέταλλο.

Στον πίνακα 9 παρατίθενται στοιχεία σχετικά με τη συμπεριφορά του πολυαιθυλενίου σε διάφορα ανόργανα και οργανικά χημικά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Ανθεκτικότητα του πολυαιθυλενίου (PE) στην επίδραση χημικών αντιδραστηρίων [28].

Χημικό αντιδραστήριο	Περιεκτικότητα % κ.ο	20 °C	60 °C	Χημικό αντιδραστήριο	Περιεκτικότητα % κ.ο	20 °C	60 °C
χλωρικό οξύ	διάφορες συγκ.	○	○	φορμικό οξύ	≤80	○	○
θειικό οξύ	≤60	○	○	φορμικό οξύ	80 έως 100	△	△
θειικό οξύ	70	○	△	οξικό οξύ	≤10	○	○
θειικό οξύ	80	○	Χ	οξικό οξύ	10 έως 60	○	△
θειικό οξύ	≥95	△	Χ	οξικό οξύ	60 έως 100	△	Χ
νιτρικό οξύ	≤5	○	○	οξαλικό οξύ	διάφορες συγκ.	○	○
νιτρικό οξύ	5 έως 25	○	△	μεθυλική αλκοόλη	≤50	○	○
νιτρικό οξύ	30 έως 60	△	Χ	μεθυλική αλκοόλη	100	△	△
νιτρικό οξύ	≥70	Χ	Χ	αιθυλική αλκοόλη	≤96	○	○
φωσφορικό οξύ	≤90	○	○	αιθυλική αλκοόλη	100	△	△
φωσφορικό οξύ	≥95	△	Χ	βουτανόλη	100	○	Χ
χρωμικό οξύ		○	○	βενζυλική αλκοόλη		Χ	
χρωμικό οξύ	≤10	○	△	κρεσόλη		Χ	
χρωμικό οξύ	10 έως 25	△	Χ	φαινόλη		Χ	
χρωμικό οξύ	25 έως 50	Χ	Χ	βενζόλιο	100	Χ	Χ
υδροφθορικό οξύ	≤60	○	○	τολουόλη	100	Χ	Χ
υδροφθορικό οξύ	≥75	○	△	ξυλένιο	100	Χ	Χ
υδροφθορικό οξύ	διάφορες συγκ.	○	○	φορμόλη	40	○	○
υδροχλωρικό οξύ	10	○	○	αιθανάλη	100	△	Χ
αμμωνία	ξηρό αέριο	○	○	βενζαλδεΐδη	100	Χ	
αμμωνία	υδατικό δ/μα	○	○	ακετόνη	100	△	Χ
οξυγόνο	100	○	Χ	μεθυλοαιθυλοκετόνη	100	△	Χ
υδρογόνο	100	○	○	κυκλοεξαλίνη	100	Χ	
αέριο ανθρακικό οξύ	100	○	○	ανιλίνη	100	△	Χ
μονοξειδίο του άνθρακα		○	○	νιτροβενζόλιο		△	Χ
διοξειδίο του θείου	ξηρό	○	○	οξικός μεθυλεστέρας		Χ	Χ
διοξειδίο του θείου	υγρό αέριο	○	△	οξικός αιθυλεστέρας		△	Χ
θείο	κολλοειδές	○	△	οξικός αμυλεστέρας		Χ	
χλωρισμένο νερό	2	○	○	πετρέλαιο		Χ	Χ
χλωρισμένο νερό	κορεσμένο	○	△	πετρελαϊκός αιθέρας		Χ	Χ
υπεροξειδίου υδρογόνου		○	○	βενζίνη		△	Χ
χλωριούχο νάτριο		○	○	παραφίνη		△	Χ

○: χρησιμοποιήσιμο △ : χρησιμοποιήσιμο με προσθήκες

Χ: μη χρήσιμο

Όπως προκύπτει από τα δεδομένα του πίνακα 9, τα φύλλα πολυαιθυλενίου μπορούν να παρέχουν υψηλή αντοχή σε πλήθος χημικών παραγόντων και σε σημαντικό εύρος θερμοκρασιών, ώστε να θεωρούνται κατάλληλα για προστατευτικές επιστρώσεις.

3.3.1.2 Χρώματα πολυαιθυλενίου

Οι επικαλύψεις πούδρας πολυαιθυλενίου είναι γενικά ανθεκτικές στα περισσότερα οξέα, σε καυστικά αλκάλια, σε άλατα και αλκοόλες σε θερμοκρασίες που

φτάνουν έως τους 94 °C. Επίσης εμφανίζουν αντοχή στη προσβολή από πλήθος διαλυτών σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ παρέχουν πολύ καλή ηλεκτρική μόνωση. Μπορεί να μαλακώσουν αν έρθουν σε επαφή με διάφορα λάδια και γράσα. Για βέλτιστη πρόσφυση είναι ιδανικό οι μεταλλικές επιφάνειες να καθαρίζονται και να τραχύνονται πριν την επίστρωση. Δημιουργούν λείες και στιλπνές επιφάνειες, από τις οποίες εύκολα απομακρύνονται με έκπλυση οι κολλώδεις ουσίες και άλλοι ρύποι [22, 29].

Οι επιστρώσεις πολυαιθυλενίου είναι κατάλληλες για εφαρμογή με ψεκασμό, παρέχοντας αντιδιαβρωτική προστασία, προστασία σε τριβή, σε ηλιακή ακτινοβολία και σε χημικά μέσα. Ακολουθώς παρατίθενται τα βασικότερα χαρακτηριστικά μιας επίστρωσης πούδρας *HDPE* για αντιδιαβρωτική προστασία σε χαλύβδινες, σιδερένιες και τσιμεντένιες κατασκευές [30]:

- Υψηλή αντοχή και μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Καλή πρόσφυση και συγκολλητότητα.
- Εξαιρετική αντοχή σε οξέα και χημικά.
- Καλή μηχανική συμπεριφορά.
- Αντοχή σε ρωγμές που προκαλούνται από δονήσεις και κραδασμούς.
- Δεν περιέχει πτητικές οργανικές ουσίες.
- Δεν απαιτείται επίστρωση της επιφάνειας του μετάλλου με αστάρι αν προστεθεί κατάλληλο συγκολλητικό μέσο.
- Δεν απαιτείται καθαρισμός της επιφάνειας του υποστρώματος.

Όσον αφορά τα επιστρώματα υγρής μορφής, πολλές φορές γίνεται συνδυασμός υγρών ρητινών με πούδρες ώστε, με τις κατάλληλες αναλογίες και προσθήκες, το προϊόν να αποκτήσει τις απαιτούμενες ιδιότητες.

3.3.2 Πολυπροπυλένιο (*PP*)

Το πολυπροπυλένιο είναι θερμοπλαστικό πολυμερές που προκύπτει από τον πολυμερισμό του προπυλενίου ($CH_3-CH=CH_2$), το οποίο είναι αέριο με σημείο βρασμού -47.7 °C. Ο πολυμερισμός γίνεται με την ίδια διαδικασία που ακολουθείται για το αιθυλένιο. Από τον πολυμερισμό προκύπτει διαφανές ημικρυσταλλικό στερεό που έχει καλές μηχανικές και θερμικές ιδιότητες. Είναι σχετικά σκληρό με καλή αντοχή στην κρούση, έχει σημείο τήξης 160 °C και μικρή πυκνότητα. Παρουσιάζει σχετική ακαμψία και καλή αντοχή σε κόπωση και σε θερμική καταπόνηση. Γενικά, το πολυπροπυλένιο έχει ομοιότητες με το πολυαιθυλένιο, ωστόσο διαφέρει από αυτό, καθώς έχει χαμηλότερη πυκνότητα (0.905 g/cm^3), υψηλότερο σημείο τήξης (160 °C)

και μεγαλύτερη σκληρότητα και ακαμψία. Το μειονέκτημα του ωστόσο είναι πως δεν έχει καλή πρόσφυση στις μεταλλικές επιφάνειες.

Οι ιδιότητες του πολυμερούς μπορούν να τροποποιηθούν αλλάζοντας το μέσο μοριακό βάρος των μακρομορίων, με την προσθήκη άλλων μονομερών και με έλεγχο των συνθηκών ώστε να ευνοείται συγκεκριμένη στερεοδιάταξη (τακτικότητα) της αλυσίδας των μακρομορίων. Ανάλογα με τη διευθέτηση των μεθυλομάδων (CH_3 -) στην αλυσίδα των μακρομορίων, διακρίνονται 3 διαφορετικές μορφές πολυπροπυλενίου: ισοστακτικό, συνδυοτακτικό και ατακτικό, με δομές που απεικονίζονται στο σχήμα 4. Στην ισοστακτική μορφή η μεθυλομάδα διατάσσεται πάντα σε θέσεις που βρίσκονται προς την ίδια πλευρά της ανθρακικής αλυσίδας, στην συνδυοτακτική μορφή η μεθυλομάδα διατάσσεται σε θέσεις που βρίσκονται εναλλάξ στις δύο πλευρές της ανθρακικής αλυσίδας, ενώ στην ατακτική μορφή η μεθυλομάδα διατάσσεται με τυχαίο τρόπο σε θέσεις που βρίσκονται κατά περίπτωση εναλλάξ στις δύο πλευρές της ανθρακικής αλυσίδας.



Σχήμα 4. Μορφές πολυπροπυλενίου [31].

Το πολυπροπυλένιο είναι ανθεκτικό στα οξέα και στα καυστικά αλκάλια και στην προσβολή από πολλές οργανικές και ανόργανες ενώσεις, αλλά διαλύεται σε υγρούς υδρογονάνθρακες και σε χλωριωμένες οργανικές ενώσεις [26, 32].

3.3.2.1 Φύλλα πολυπροπυλενίου (*Linings*)

Το πολυπροπυλένιο χρησιμοποιείται σε μορφή λεπτών φύλλων για την επικάλυψη επιφανειών, κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους παραγωγής και της σχετικά καλής αντοχής του στη θερμότητα και στην επίδραση λιπαρών ουσιών. Επειδή δεν έχει καλή πρόσφυση στην επιφάνεια μετάλλων, συνήθως εφαρμόζεται μια ενδιάμεση στρώση εποξειδικής κόλλας μεταξύ του μετάλλου και του πολυμερούς [33].

Από τα δεδομένα του πίνακα **10**, φαίνεται η συμπεριφορά του πολυπροπυλενίου και του πολυαιθυλενίου σε διάφορους χημικούς διαλύτες και σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10. Χημική αντίσταση πολυπροπυλενίου και πολυαιθυλενίου [33].

Χημικό στοιχείο	Συγκέντρωση %	Πολυπροπυλένιο				Πολυαιθυλένιο		
		40°C	60°C	80°C	100°C	40°C	60°C	100°C
θειικό οξύ	98	X	X	X	X	X	X	X
θειικό οξύ	94	Δ	Δ	Δ	X			
θειικό οξύ	90	○	Δ	Δ	X			
θειικό οξύ	70	○	○	Δ	X			
θειικό οξύ	60	○	○	○	Δ	○	Δ	X
θειικό οξύ	50	○	○	○	○			
υδροχλωρικό οξύ	10	○	○	○	○	○	○	X
νιτρικό οξύ	30	○	Δ	Δ	X			
νιτρικό οξύ	10	○	○	Δ	Δ	○	○	X
φωσφορικό οξύ	50	○	○	X	X	○	○	X
αλκάλια & άλατα	-	○	○	○	○	○	○	X
○: Χρησιμοποιήσιμο		Δ: χρησιμοποιήσιμο υπό συνθήκες			X: μη χρήσιμο			

Τα φύλλα πολυπροπυλενίου παρέχουν ικανοποιητικό επίπεδο αντοχής σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, γι' αυτό αποτελούν κατάλληλη επένδυση για τα τοιχώματα δεξαμενών, δοχείων, σωληνώσεων, εναλλακτών θερμότητας, δεξαμενών ψύξης και άλλων κατασκευών [33, 34].

3.3.2.2 Χρώματα πολυπροπυλενίου

Τα χρώματα πολυπροπυλενίου εφαρμόζονται σε μεταλλικές επιφάνειες αφού πρώτα χρησιμοποιηθεί ένα ενδιάμεσο στρώμα πολυμερούς, κατάλληλης σύστασης (αστάρι) ή κάποιος παράγοντας προσκόλλησης ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη πρόσφυση. Οι επικαλύψεις πολυπροπυλενίου είναι ανθεκτικές στο νερό, σε άλατα, σε απορρυπαντικά και στα περισσότερα οξέα και βάσεις. Προσβάλλονται από το νιτρικό οξύ σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, από οργανικούς διαλύτες που περιέχουν αλειφατικούς ή αρωματικούς υδρογονάνθρακες και από χλωροπαράγωγα αυτών. Εφαρμόζονται ως προστατευτική επίστρωση σε αγωγούς μεταφοράς, σε σωλήνες χημικής επεξεργασίας, για την επένδυση δεξαμενών και άλλων κατασκευών, αλλά και προϊόντων καθημερινής χρήσης.

Συμπολυμερή του προπυλενίου με άλλες ολεφίνες έχουν βελτιωμένη μηχανική συμπεριφορά, π.χ μεγαλύτερη αντοχή στη κρούση. Τα συνήθη εμπορικά σκευάσματα πολυπροπυλενίου είναι συμπολυμερή που περιέχουν 2 - 5% πολυαιθυλένιο. Τα συμπολυμερή αυτά έχουν αυξημένη ευκαμψία, αντοχή στον εφελκυσμό και στην κρούση, οπτική διαύγεια, και λίγο χαμηλότερο σημείο τήξης [21] από το καθαρό πολυπροπυλένιο.

3.3.3 Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Το πολυβινυλοχλωρίδιο παράγεται ως ομοπολυμερές από τον πολυμερισμό του βινυλοχλωριδίου ($CH_2=CH-Cl$) και ως συμπολυμερές όταν στην αντίδραση πολυμερισμού συμμετέχουν και άλλα διαφορετικά μονομερή. Είναι ένα

ημικρυσταλλικό, εύκαμπτο ή άκαμπτο υλικό ανθεκτικό στην επίδραση πολλών χημικών ουσιών. Το πολυβινυλοχλωρίδιο είναι ένα από τα φθηνότερα πολυμερή. Οι βασικές ιδιότητες του είναι:

- Αντοχή στη διάβρωση και στην επίδραση χημικών.
- Μηχανική αντοχή.
- Αντοχή σε κρούσεις και τριβή.
- Καλή ηλεκτρική μόνωση.
- Είναι ηχομονωτικό και θερμομονωτικό.
- Καλή εμφάνιση (ομαλή, στιλπνή και ανθεκτική επιφάνεια).
- Χαμηλό κόστος.
- Μεγάλη αντοχή στο χρόνο.

Το άκαμπτο πολυβινυλοχλωρίδιο επεξεργάζεται εύκολα, μπορεί να μορφοποιηθεί με θέρμανση και μπορεί να συγκολληθεί. Υπάρχουν τρεις τύποι άκαμπτου *PVC*. Ο τύπος *I*, ο τύπος *II* και το *CPVC*. Ο τύπος *I* με τον τύπο *II* διαφέρουν ως προς το εύρος αντοχής σε κρούσεις και χημικά. Το *PVC* τύπου *II* έχει καλή αντοχή στη κρούση. Το *CPVC* έχει μεγαλύτερη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες [32, 35, 36].

Το *PVC* βρίσκει πολλές εφαρμογές, σε κατασκευαστικά στοιχεία, σε μονώσεις και σε επιστρώσεις. Στη διαδικασία παραγωγής του χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα, πλαστικοποιητές, οι οποίοι βελτιώνουν την αντοχή στην κρούση αλλά μειώνουν τη σκληρότητα και την αντοχή σε εφελκυσμό. Για το λόγο αυτό, η επιλογή της ποσότητας του πλαστικοποιητή είναι σημαντική για τη σκληρότητα και πλαστικότητα του τελικού προϊόντος. Το πολυβινυλοχλωρίδιο υφίσταται γήρανση και αποικοδόμηση από την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας, γι' αυτό δεν αποτελεί κατάλληλο επικαλυπτικό υλικό για κατασκευές που είναι εκτεθειμένες στην ηλιακή ακτινοβολία [36].

Οι πολυβινυλικές ρητίνες αναμειγνύονται με διάφορους τροποποιητές και σταθεροποιητές για να παραχθούν εκατοντάδες διαφορετικά υλικά που εμφανίζουν ποικιλία μηχανικών ιδιοτήτων.

3.3.3.1 Φύλλα πολυβινυλοχλωριδίου (*PVC linings*)

Τα εύκαμπτα φύλλα *PVC* έχουν καλή πρόσφυση και παρέχουν μακροχρόνια προστασία. Το άκαμπτο *PVC* δεν καίγεται εύκολα. Αναφλέγεται αργά και κατά την καύση του παράγεται όξινος λευκός καπνός (λόγω σχηματισμού *HCl*), ενώ σταματά να καίγεται όταν απομακρυνθεί από τη φλόγα [39].

Φύλλα *PVC* χρησιμοποιούνται ευρέως ως προστατευτική επένδυση πισινών. Με κατάλληλη επεξεργασία και εφαρμογή, παρέχουν:

- Μεγάλη διάρκεια ζωής.
- 100% στεγανότητα για τουλάχιστον 10 έτη.
- Ελάχιστες ανάγκες συντήρησης.

- Προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία.

3.3.3.2 Χρώματα PVC

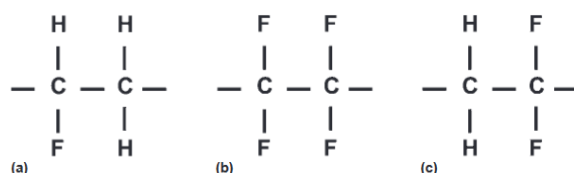
Οι επιστρώσεις πούδρας πολυβινυλοχλωριδίου έχουν πολύ καλή αντίσταση σε πολλούς διαλύτες, στο νερό και στα οξέα. Δίνουν μια ομαλή επίστρωση που είναι εξαιρετικά ανθεκτική στη διάβρωση και ταυτόχρονα μαλακή για να αντέχει σε ισχυρές κρούσεις. Εφαρμόζονται σε μεταλλική επιφάνεια που έχει επιστρωθεί με ενδιάμεσο στεγανωτικό στρώμα (αστάρι) για να επιτυγχάνεται καλή πρόσφυση [21, 38].

3.3.4 Φθοροπολυμερή (*Fluoropolymers*)

Οι πολυφθοράνθρακες ως πολυμερή υλικά επίστρωσης, πλεονεκτούν σε σχέση με τις πολυολεφίνες και το PVC, λόγω εξαιρετικής αντοχής στις χημικές ουσίες και στη θερμοκρασία (μέχρι 180 °C), αλλά έχουν υψηλότερο κόστος παραγωγής. Τα κυριότερα φθοροπολυμερή που χρησιμοποιούνται ως υλικά προστατευτικών επιστρώσεων είναι:

- Επιστρώματα πολυβινυλοφθοριδίου (*Polyvinyl fluoride-PVF*).
- Επιστρώματα πολυβινυλοδιφθοριδίου (*Polyvinyl difluoride-PVDF*).
- Επιστρώματα πολυτετραφθοροαιθυλενίου (*Polytetrafluoroethylene-PTFE*).

Τα επιστρώματα αυτά έχουν παρόμοιες ιδιότητες και χαρακτηριστικά, ωστόσο, ο παράγοντας που προκαλεί διαφορές μεταξύ τους είναι ο αριθμός ατόμων φθορίου που περιέχονται στη δομική μονάδα του πολυμερούς, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.



Σχήμα 5. Δομικές μονάδες φθοροπολυμερών: *PVF* (a), *PTFE* (b) και *PVDF* (c) [39].

Το **πολυβινυλοφθορίδιο (PVF)** περιέχει ένα άτομο φθορίου ανά δομική μονάδα. Επειδή αποσυντίθεται σε θερμοκρασίες κοντά στο σημείο τήξης του δε χρησιμοποιείται για την παραγωγή επιστρώσεων.

Το **πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE)** περιέχει 4 άτομα φθορίου στη δομική μονάδα και στο εμπόριο είναι γνωστό ως *Teflon*. Είναι υλικό με μεγάλη αντοχή στις χημικές ουσίες, καλή συμπεριφορά σε υψηλές και σε χαμηλές θερμοκρασίες (-73 - 204 °C), αντοχή στις καιρικές συνθήκες, χαμηλό συντελεστή τριβής, καλή ηλεκτρική και θερμική μόνωση και αντιολισθηρότητα. Οι μηχανικές ιδιότητες του *PTFE* είναι χαμηλές σε σύγκριση με άλλα πλαστικά, ωστόσο μπορούν να βελτιωθούν με προσθήκη πληρωτικών ουσιών, όπως ίνες γυαλιού, άνθρακα, γραφίτη ή χαλκό [40].

Το **πολυβινυλοδιφθορίδιο (PVDF)**, στο εμπόριο είναι γνωστό ως Kynar ή Hylar. Η μοριακή δομή του χαρακτηρίζεται από εναλλαγή ατόμων υδρογόνου και φθορίου, ενωμένων ομοιοπολικά στα άτομα άνθρακα της αλυσίδας των μακρομορίων, γεγονός που προσδίδει πολικότητα. Χρησιμοποιείται για τη παραγωγή επικαλύψεων που έχουν αντοχή στη περιβαλλοντική υποβάθμιση, κατακράτηση ρύπων, οξειδωση, φωτοχημική φθορά, ξεθώριασμα, κιμωλίαση, ρωγμές και σε ατμοσφαιρικούς ρύπους. Διατηρεί τις ιδιότητες του σε θερμοκρασίες μέχρι 149 °C.

Το πολυβινυλοδιφθορίδιο είναι ένα ημικρυσταλλικό πολυμερές με τις παρακάτω ιδιότητες [41]:

- Εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες.
- Αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία.
- Υψηλή θερμική και χημική αντοχή.
- Υψηλή μηχανική αντοχή.
- Αντοχή σε υγρασία και στην επίδραση μικροοργανισμών.
- Υψηλή ηλεκτρική αντίσταση.
- Χαμηλή αναφλεξιμότητα.

Το ποσοστό κρυσταλλικότητας μπορεί να ποικίλει από 35% έως 70% ανάλογα τη κατεργασία που έχει υποστεί. Η κρυσταλλικότητα επηρεάζει την σκληρότητα και τη μηχανική αντοχή του.

Οι επιστρώσεις *PVDF* είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές σε διαλύτες, οξέα και έχουν πολύ χαμηλή πυκνότητα σε σύγκριση με παρόμοια φθοροπολυμερή. Χρησιμοποιούνται για τη προστασία μεταλλικών επιφανειών από τα καιρικά φαινόμενα και τη διάβρωση σε έντονα διαβρωτικές συνθήκες, όπως αυτές του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Έχει την ικανότητα να μη συντηρεί την καύση και να παράγει ελάχιστες ποσότητες καπνού.

Επιστρώσεις πολυβινυλοδιφθορίδιου

Οι επικαλύψεις με βάση το πολυβινυλοδιφθορίδιο μπορούν να διαμορφωθούν σε μορφή διαλύματος, ως επικαλύψεις διασποράς, επικαλύψεις υδατικού διαλύτη ή επικαλύψεις σκόνης. Οι ρητίνες *PVDF* μπορούν να τροποποιηθούν με τη προσθήκη ακρυλικών συστατικών, χρωστικών ουσιών, οργανικών διαλυτών και άλλων πρόσθετων ουσιών [39].

Ζητήματα υγείας και ασφάλειας από το πολυβινυλοδιφθορίδιο

Το πολυβινυλοδιφθορίδιο είναι αδρανές και δεν είναι επικίνδυνο υπό τυπικές συνθήκες επεξεργασίας και χρήσης, εφόσον δεν περιέχει υπολείμματα μονομερούς. Κατά τη θερμική αποσύνθεσή του σε υψηλές θερμοκρασίες εκλύεται υδροφθόριο που είναι τοξικό αέριο. Σε τέτοια περίπτωση πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις γιατί το

παραγόμενο υδροφθόριο είναι δηλητήριο βραδείας δράσης χωρίς άμεσα εμφανή συμπτώματα [39].

3.3.4.1 Φύλλα φθοροπολυμερών (*Linings*)

Το *PVDF* χρησιμοποιείται ως φύλλο επένδυσης σε δεξαμενές λόγω της πολύ καλής αντοχής του, της χημικής αδράνειας και της αδιαπερατότητας από αέρια μέσω φαινομένων διάχυσης. Τα συμπολυμερή *PVDF* εμφανίζουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες και ευρύ φάσμα αντοχής σε χημικούς παράγοντες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον υψηλής οξύτητας ($pH < 1$) ή αλκαλικότητας ($pH= 13$).

Συμπερασματικά, τα φύλλα *PVDF* έχουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες και αντοχή στα περισσότερα χημικά, βελτιωμένες ιδιότητες συγκόλλησης και μορφοποίησης. Ωστόσο είναι υλικά υψηλού κόστους.

Μια άλλη κατηγορία χρησιμοποιούμενων φύλλων είναι τα φύλλα *PTFE*. Τα φύλλα αυτά έχουν επίσης εξαιρετική αντοχή στην επίδραση χημικών. Εμφανίζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά [34]:

- Σχεδόν καθολική χημική αντοχή και αδιαλυτότητα.
- Υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας (έως 260 °C).
- Αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες έως -79 °C.
- Υψηλή αντοχή σε κόπωση.
- Δεν υποβαθμίζονται από θερμότητα και υπεριώδη ακτινοβολία.
- Πολύ καλή ηλεκτρική μόνωση.
- Αντικολλητική επιφάνεια.
- Χαμηλό συντελεστή τριβής.
- Εξαιρετική σταθερότητα διαστάσεων.
- Πολύ χαμηλή απορρόφηση νερού.
- Μη αναφλέξιμο υλικό.

Ένας εξελιγμένος τύπος πλήρως φθοριωμένου συμπολυμερούς είναι το *PFA* (*tetrafluoroethylene-perfluoroalkylvinylether*) που χρησιμοποιείται σε μορφή φύλλων επένδυσης για αντιδιαβρωτική προστασία σε έντονα διαβρωτικό περιβάλλον [42].

Το *PFA* έχει βελτιωμένες ιδιότητες συγκόλλησης, θερμομόρφωσης και εφαρμογής, επειδή ρευστοποιείται εύκολα και σχηματίζει μια πολύ συνεκτική επιφάνεια χωρίς πόρους όταν στερεοποιείται. Χρησιμοποιείται ως κατασκευαστικό υλικό ή ως συνεχής φάση σε σύνθετα ενισχυμένα υλικά για την επένδυση των

εσωτερικών τοιχωμάτων δεξαμενών και σωληνώσεων. Το *PFA* έχει εξαιρετική αντοχή στην προσβολή από χημικά και παρέχει δομική σταθερότητα [43].

3.3.4.2 Χρώματα φθοροπολυμερών

Οι επικαλύψεις σκόνης πολυβινυλοδιφθοριδίου (*PVDF*) είναι υλικά με εξαιρετικές ιδιότητες όπως χαμηλό συντελεστή τριβής, υδροφοβικότητα, αντοχή στη διάβρωση και στην προσβολή από χημικές ουσίες και ατμοσφαιρική ρύπανση. Το *PVDF* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνδετικό υλικό για την κατασκευή επικαλύψεων σε σκόνη, ειδικά όταν απαιτείται υψηλή αντοχή στις καιρικές συνθήκες. Τα επιστρώματα αυτά είναι υλικά υψηλού κόστους, έχουν υψηλό ιξώδες που δυσχεραίνει το σχηματισμό λεπτής μεμβράνης, ενώ δεν έχουν καλή πρόσφυση σε μεταλλικά υποστρώματα. Η πρόσφυση μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση συστήματος δύο στρώσεων με βάση το πολυβινυλοδιφθοριδίο. Η πρώτη επίστρωση λειτουργεί ως ενδιάμεσο (αστάρι) και παράγεται με φυσική ανάμειξη φθοριούχου πολυβινυλιδενίου (με σωματίδια μεγέθους 74 - 250 μm) και πυριτικής άμμου (με σωματίδια μεγέθους 44 - 100 μm). Στον πίνακα **11** γίνεται σύγκριση ορισμένων χαρακτηριστικών του *PVDF* σε επίστρωμα πούδρας και σε μορφή υγρού επιστρώματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11. Σύγκριση συστημάτων επίστρωσης *PVDF* [44].

Επίστρωση πούδρας	Υγρή επίστρωση
Μέση αποδοτικότητα εφαρμοζόμενου υλικού έως και 95%.	Μέση αποδοτικότητα εφαρμοζόμενου υλικού 35%.
Η πούδρα που χάνεται κατά τον ψεκασμό μπορεί να ανακτηθεί.	Το υλικό που χάνεται κατά τον ψεκασμό δεν μπορεί να ανακτηθεί.
Τυπικά μια επίστρωση. Σε παραλιακές περιοχές χρειάζεται και αστάρι.	Τυπικά χρειάζονται 3 με 4 στρώσεις.
Μικρότερες θερμοκρασίες για σκλήρυνση.	Υψηλότερες θερμοκρασίες για σκλήρυνση.
Μικρότερο κόστος εφαρμογής ανά m^2 επιφάνειας.	Υψηλότερο εφαρμοστέο κόστος ανά m^2 επιφάνειας.
Ευκολότερος χειρισμός, λιγότερος χρόνος.	Δυσκολότερος χειρισμός, περισσότερος χρόνος.
Ένα στρώμα πούδρας έχει πάχος 50-100 μm .	Ένα υγρό επίστρωμα δίνει πάχος ξηρής μεμβράνης $\leq 30 \mu\text{m}$.

Στεγνό φιλμ με πάχος > 64 μm έχει εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες.	Στεγνό φιλμ με πάχος > 64 μm εμφανίζει μείωση μηχανικών ιδιοτήτων.
Βέλτιστα αποτελέσματα με την εφαρμογή ενός στρώματος.	Απαιτούνται πολλά στρώματα για τη βέλτιστη απόδοση.
Εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες λόγω της διαδικασίας διασύνδεσης κατά τον πολυμερισμό.	Κατώτερες μηχανικές ιδιότητες.
Επαρκής κάλυψη άκρων. Μικρότερο κόστος.	Ανεπαρκής κάλυψη άκρων.

3.3.5 Ενισχυμένα πλαστικά (*Reinforced plastics*)

Τα ενισχυμένα πλαστικά με ίνες (*FRP*), γνωστά και με την εμπορική ονομασία fiberglass, προκύπτουν από την προσθήκη ινών γυαλιού ή άλλων συνθετικών ινών σε ρητίνη χημικής σκλήρυνσης. Τα υλικά αυτά, πέρα από τη μορφή επενδύσεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξ' ολοκλήρου και ως κατασκευαστικά υλικά (π.χ σε πολυεστερικά σκάφη αναψυχής). Στα ενισχυμένα πλαστικά θερμοσκληρυνόμενης ρητίνης ανήκουν τα εποξειδικά, οι πολυεστέρες και τα ακρυλικά.

Ανάλογα με τη σύσταση και τη μορφή της ενίσχυσης, το είδος της πολυμερούς ρητίνης και την αναλογία των δύο συστατικών, προκύπτουν σύνθετα υλικά με διαφορετικές μηχανικές, φυσικές και θερμικές ιδιότητες. Το βασικό χαρακτηριστικό των ενισχυμένων πλαστικών είναι η υψηλή μηχανική αντοχή. Ένα ενισχυμένο επίστρωμα έχει καλύτερη αντοχή σε κρούσεις και τριβή από ένα απλό [19]. Επιπλέον τα υλικά αυτά δε διαβρώνονται, αλλά εμφανίζουν προβλήματα που προκαλούνται από την προσρόφιση νερού λόγω του φαινομένου της ώσμωσης.

Οι ιδιότητες του άκαμπτου *FRP* είναι:

- Μικρή πυκνότητα.
- Υψηλή αναλογία αντοχής προς βάρος.
- Σχεδιαστική ευελιξία.
- Υψηλά επίπεδα ακαμψίας.
- Αντοχή στη χημική προσβολή.
- Ηλεκτρική μονωτικότητα.
- Σταθερότητα διαστάσεων σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών.

Οι πιο κοινές ίνες που χρησιμοποιούνται για ενίσχυση είναι [45]:

- Ίνες αραμιδίου.
- Ίνες γυαλιού.
- Ίνες άνθρακα, (υλικό υψηλού κόστους).

Οι ίνες γυαλιού χρησιμοποιούνται συνήθως ως ενίσχυση σε μεγάλες και σύνθετες κατασκευές. Ανάλογα με τον τύπο του γυαλιού, τη διάμετρο και το μέγεθος των ινών, μπορεί να επιτευχθεί ένα ευρύ φάσμα ιδιοτήτων και επιδόσεων.

Το πιο συνηθισμένο υλικό ενίσχυσης στις θαλάσσιες εφαρμογές είναι οι ίνες γυαλιού τύπου *E*, οι οποίες έχουν καλή αντοχή στον εφελκυσμό (2200 MPa) και ικανοποιητική αντοχή στην υγρασία και τη προσβολή από χημικά. Το γυαλί τύπου *E*, λόγω της χημικής του σύνθεσης έχει πολύ καλές ηλεκτρικές ιδιότητες μόνωσης. Οι ίνες γυαλιού υψηλής αντοχής είναι γενικά γνωστές ως γυαλί τύπου *S* ή γυαλί τύπου *R*, ή γυαλί τύπου *T*. Οι ίνες γυαλιού τύπου *S* έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε SiO_2 , Al_2O_3 και MgO από το γυαλί τύπου *E* κατά 40% έως 70%. Τόσο το γυαλί *E* όσο και το γυαλί *S* χάνουν έως και το ήμισυ της αντοχής τους όταν η θερμοκρασία αυξάνεται στους 540 °C, ακόμα και όταν οι ίνες διατηρούνται σε καλή κατάσταση.

Οι ίνες άνθρακα έχουν μεγαλύτερη αντοχή και ακαμψία από το γυαλί. Οι ίνες αυτές έχουν μέγιστη αντοχή εφελκυσμού περίπου 4000 MPa και επιμήκυνση στη θραύση 0.9 – 2 %, ανάλογα με τον τύπο ινών άνθρακα. Ωστόσο, το κόστος αυτών των ινών υπερβαίνει κατά πολύ το κόστος των ινών γυαλιού, γι' αυτό δεν ανεγείρονται κατασκευές εξ ολοκλήρου από ανθρακονήματα. Μια ενδιαμέση λύση είναι η χρήση υβριδικών υλικών ενίσχυσης, που συνδυάζουν ίνες γυαλιού και άνθρακα. Στον πίνακα 12 δίνονται ορισμένες ιδιότητες των διάφορων τύπων ινών ενίσχυσης [46].

ΠΙΝΑΚΑΣ 12. Ιδιότητες ινών ενίσχυσης [46].

Υλικό	Πυκνότητα (g/cm ³)	Διάμετρος ίνας (μm)	Συντελεστής Young (GPa)	Εφελκυστική αντοχή (GPa)
Άνθρακας HM	1.8	7–10	400	20–2.8
Άνθρακας A	1.9	7–10	220	3.2
Βόριο	2.6	130	400	3.4
E-Glass	2.5	10	70	1.5–2.0
S-Glass	2.6	10	90	4.6
KEVLAR 49	1.45	12	130	3.6
Πολυαιθυλένιο	0.97	12	117	2.6

Τα ενισχυμένα πλαστικά, είτε αυτά είναι θερμοσκληρυνόμενης είτε θερμοπλαστικής ρητίνης, έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

Πλεονεκτήματα:

- Καλή μηχανική αντοχή.
- Υψηλή αντοχή στη διάβρωση και τις χημικές ουσίες.
- Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα.
- Υψηλή διηλεκτρική αντοχή.
- Υψηλή αντοχή στην τριβή.
- Σταθερότητα διαστάσεων.
- Υψηλή σκληρότητα και ακαμψία.
- Αντοχή στην κόπωση.
- Μικρό ειδικό βάρος.

- Ευκολία στην κατασκευή, μορφοποίηση και χειρισμό.
- Αντοχή στις καιρικές συνθήκες.
- Αντοχή στο χρόνο.
- Εξαιρετική αναλογία αντοχής προς βάρος.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό αρχικό κόστος.
- Χαμηλή αντοχή σε ερπυσμό.
- Χαμηλή αντοχή σε ορισμένους παράγοντες περιβαλλοντικής υποβάθμισης (αλκαλική προσβολή, έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία, απορρόφηση υγρασίας κ.λπ).
- Αυξημένη αεροδυναμική αστάθεια σε μικρό βάρος.
- Περιορισμένη τεχνολογία ένωσης και σύνδεσης (κολλητικοί σύνδεσμοι, συνδετήρες).

Τα ενισχυμένα πλαστικά όταν χρησιμοποιούνται σε κατασκευές έχουν αρκετά μεγάλη διάρκεια ζωής χωρίς ιδιαίτερη ανάγκη συντήρησης. Ωστόσο, πρέπει να επιλέγεται με προσοχή το είδος της πολυμερούς ρητίνης που θα επιλεγεί για τη συνεχή φάση, ώστε να διασφαλίζεται η στεγανότητα της κατασκευής. Ορισμένες ρητίνες εμφανίζουν σε κάποιο βαθμό υδροπερατότητα με αποτέλεσμα να είναι αναποτελεσματικές παρουσία υγρασίας. Σε περιπτώσεις σύνθετων κατασκευών είναι δυνατή η απορρόφηση υγρασίας μέσω της ρητίνης με αποτέλεσμα τη φθορά και τη μείωση της αντοχής της κατασκευής.

3.3.5.1 Φύλλα ενισχυμένων πλαστικών (*Linings*)

Είναι δυνατή η χρήση φύλλων ενισχυμένων πλαστικών ως επικάλυψη για την προστασία της μεταλλικής επιφάνειας δεξαμενών. Ρητίνες κάθε είδους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνεχής φάση στην κατασκευή τέτοιων σύνθετων φύλλων επικάλυψης, ενώ οι ενισχυτικές ίνες μπορούν να επιλεγούν με κριτήριο την απαιτούμενη αντοχή της κατασκευής. Σύνθετα υλικά πολυμερών με ενίσχυση ινών γυαλιού (*GRP*), χρησιμοποιούνται για την εξ ολοκλήρου κατασκευή δεξαμενών ή για την κατασκευή επενδύσεων μεταλλικών δεξαμενών [47]. Τα σύνθετα υλικά παρέχουν προστασία από την επίδραση πετρελαιοειδών, καυσίμων και γενικότερα χημικών καθώς και προστασία από το νερό και υδατικά διαλύματα χημικών ουσιών. Μπορεί να εφαρμοστούν με τη μέθοδο της επίστρωσης σε κατάλληλο εκμαγείο χωρίς περιορισμούς στο σχήμα και μέγεθος της κατασκευής. Τα σύνθετα υλικά έχουν αντοχή σε σημαντικό εύρος θερμοκρασιών και πιέσεων, χαμηλό κόστος και μεγάλη διάρκεια ζωής.

Οι σπουδαιότερες ιδιότητες των σύνθετων με ενίσχυση γυαλιού (*GRP*) είναι:

- Υψηλή μηχανική αντοχή.
- Υψηλή αναλογία αντοχής προς βάρος.
- Ευελιξία σχεδιασμού.
- Σταθερότητα διαστάσεων σε ποικίλες συνθήκες.
- Υψηλή διηλεκτρική αντοχή.
- Ευκολία επισκευής.
- Σχετικά χαμηλό κόστος.
- Αντοχή στη διάβρωση.
- Αντοχή στην επίδραση χημικών.

Σε μορφή φύλλων επένδυσης σε δεξαμενές, τα υλικά *GRP* αποτελούν μια καλή επιλογή χαμηλού κόστους και υψηλής ανθεκτικότητας και διάρκειας στο χρόνο. Με την κατάλληλη επιλογή ρητίνης και πρόσθετων μπορούν να παρέχουν προστασία της δεξαμενής σχεδόν σε οποιοδήποτε συνθήκες και για οποιοδήποτε περιεχόμενο για χρονική διάρκεια μεγαλύτερη των 20 ετών.

Οι επενδύσεις με φύλλα σύνθετων υλικών *GRP* δίνουν επίστρωση μεγαλύτερου πάχους σε σχέση με τα κοινά εποξειδικά επιστρώματα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τοπικές επισκευές, να καλυφθούν ρωγμές ή σημεία που έχουν διαβρωθεί στα τοιχώματα μιας δεξαμενής [48].

3.4 Καθοδική προστασία

Αν δύο μεταλλικά ελάσματα από διαφορετικά μέταλλα (ηλεκτρόδια) τοποθετηθούν σε ηλεκτρικά αγώγιμο υγρό (ηλεκτρολύτης) έρθουν σε επαφή τα άκρα τους που βρίσκονται εκτός του υγρού, με μεταλλικό αγωγό, το μέταλλο που δρα ως άνοδος (*anode*) του σχηματιζόμενου ηλεκτροχημικού στοιχείου, θα υποστεί διάβρωση ενώ το άλλο μέταλλο που δρα ως κάθοδος (*cathode*) δεν θα επηρεαστεί. Εάν αντιστρέψουμε το ρεύμα, τότε η διάβρωση της ανόδου μπορεί να αποφευχθεί με τη διαβίβαση ηλεκτρικού ρεύματος κατάλληλης πολικότητας και τιμής ώστε να μειωθεί το ηλεκτροδιακό δυναμικό του μετάλλου που θέλουμε να προστατευτεί, ώστε να δρα ως κάθοδος. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους μπορεί αυτό να επιτευχθεί:

- Με γαλβανική καθοδική προστασία.
- Με καθοδική προστασία με επιβαλλόμενο ρεύμα.

3.4.1 Γαλβανική καθοδική προστασία (ή μέθοδος θυσιαζόμενης ανόδου)

Χρησιμοποιείται κατάλληλο μέταλλο με χαμηλή τιμή ηλεκτροδιακού δυναμικού (δραστικό μέταλλο) κοντά στο μέταλλο που θέλουμε να προστατεύσουμε. Τα δύο μέταλλα πρέπει να συνδέονται μέσω ηλεκτρικά αγώγιμης οδού (μεταλλικός αγωγός) και να βρίσκονται βυθισμένα σε ηλεκτρολυτικό υγρό, ώστε να σχηματίζεται ένα κλειστό κύκλωμα. Με τον τρόπο αυτό, το δραστικότερο μέταλλο λειτουργεί ως άνοδος και διαβρώνεται, ενώ προστατεύει το μέταλλο της καθόδου.

Η απαιτούμενη συνολική μάζα θυσιαζομένων ανόδων υπολογίζεται βάση της αρχής διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου από το ισοζύγιο:

$$Q = Q'_{pr} \cdot m = Q'' \cdot V$$

όπου

Q: απαιτούμενο ηλεκτρικό φορτίο (Ah)

Q'_{pr} : ηλεκτρικό φορτίο ανά μονάδα μάζας ανόδου (Ah/kg)

Q'' : ηλεκτρικό φορτίο ανά μονάδα όγκου ανόδου (Ah/dm³)

V: όγκος ανόδων (dm³)

m: μάζα ανόδων (kg)

Η μέθοδος υπολογισμού της μάζας ανόδων χρησιμοποιείται για βυθισμένες μεταλλικές επιφάνειες όπως είναι τα ύφαλα των πλοίων και των πλωτών δεξαμενών ή οι εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου. Χρησιμοποιούνται άνοδοι ψευδαργύρου ή αλουμινίου για καθοδική προστασία σε θαλασσινό νερό, ενώ άνοδοι μαγνησίου χρησιμοποιούνται όταν το μέταλλο είναι βυθισμένο σε γλυκό νερό. Οι θυσιαζόμενες άνοδοι συνδέονται με το υπό προστασία μέταλλο με συγκόλληση ή με κοχλίες [2].

3.5.2 Καθοδική προστασία με επιβαλλόμενο ρεύμα

Σε αυτή τη μέθοδο παρέχεται συνεχές ρεύμα μέσω των ανόδων στην κατασκευή που θέλουμε να προστατευτεί. Η προστασία με επιβαλλόμενο ρεύμα μπορεί να αντικαταστήσει την προστασία με συμβατικές γαλβανικές ανόδους όταν αυτές προκειμένου να λειτουργήσουν σωστά πρέπει να είναι σε μεγάλο αριθμό και επομένως θα είναι μεγάλο το κόστος εγκατάστασης. Ο αριθμός των γαλβανικών ανόδων είναι ανάλογος του εμβαδού της επιφάνειας που θέλουμε να προστατευτεί ενώ στην προστασία με επιβαλλόμενο ρεύμα το κόστος αυξάνεται μόνο για πολύ μεγάλα μεγέθη μεταλλικής κατασκευής, όπως π.χ. σε πλοία μήκους 100 μέτρων και πάνω. Στην προστασία με επιβαλλόμενο ρεύμα έχουμε ως πλεονέκτημα τη δυνατότητα μεταβολής του παρεχόμενου ρεύματος και τη δυνατότητα χρήσης ανόδων με μεγάλη διάρκεια ζωής.

Στα πλοία είναι απαραίτητη η τοποθέτηση συσκευής ελέγχου και ρύθμισης της ηλεκτρικής τάσης καθώς το περιβάλλον λειτουργίας είναι μεταβλητό και είναι διαφορετικές οι λειτουργικές ανάγκες και οι απαιτήσεις προστασίας.

Η συσκευή παροχής του ηλεκτρικού ρεύματος πρέπει να είναι ανθεκτική και να περιέχει όργανα μέτρησης της έντασης του ρεύματος και της τάσης για κάθε άνοδο προστασίας. Οι συσκευές αυτές έχουν κυρίως ανορθωτές πυριτίου οι οποίοι παρέχουν υψηλότερη ισχύ. Σε περιοχές όπου το θαλασσινό νερό δεν έχει υψηλή ηλεκτρική αντίσταση (τέτοια περιοχή είναι τα λιμάνια) πρέπει να παρέχεται ρυθμιστής που ελέγχει την πιθανή υπερφόρτωση. Επίσης, είναι απαραίτητο να υπάρχει ειδοποίηση σε περίπτωση διακοπής στο δίκτυο παροχής. Σε πλοία μικρότερου μεγέθους η συσκευή

που παρέχει ρεύμα στις ανόδους τοποθετείται κατευθείαν στο μηχανοστάσιο ή στο κέντρο ελέγχου της κύριας μηχανής. Στα πλοία μεγάλου μεγέθους, ο ανορθωτής τοποθετείται κοντά στις ανόδους γιατί διαφορετικά θα έπρεπε να τοποθετηθούν καλώδια με μεγάλη διάμετρο. Η πτώση δυναμικού στα καλώδια μεταφοράς του ρεύματος καθοδικής προστασίας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 2 V.

3.5.3 Καθοδική προστασία δεξαμενών

Για λόγους ασφαλείας στο εσωτερικό των δεξαμενών δεν τοποθετούνται συστήματα προστασίας με χρήση επιβαλλόμενου ρεύματος (μπορεί να παραχθεί σπινθήρας ή να βραχυκυκλώσει το σύστημα).

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

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

Στο εσωτερικό των δεξαμενών επιτρέπονται οι άνοδοι αλουμινίου (σύμφωνα με τον IACS) όπου και υπάρχουν περιορισμοί για να αποφευχθεί η περίπτωση δημιουργίας σπινθήρα.

Συνήθως οι άνοδοι παρέχουν καθοδική προστασία για διάστημα 4 ετών. Για να γίνει αυτό η άνοδος πρέπει να έχει συγκεκριμένο βάρος το οποίο υπολογίζεται ανάλογα με το εμβαδόν επιφανείας που πρέπει να καλυφθεί. Το βάρος των ανόδων προσαυξάνεται κατά 20% (συντελεστής ασφαλείας 1.2) για να παραμένει λειτουργική η άνοδος με το πέρας των 4 ετών.

Στις άνω περιοχές των δεξαμενών (δηλαδή μέχρι και 1.5 m κάτω από το κατάστρωμα) χρησιμοποιείται προστατευτική επίστρωση, καθώς και οριζόντιες επιφάνειες, προκειμένου να μη συσσωρεύεται μείγμα νερού και πετρελαίου που προκαλεί έντονη διάβρωση. Στις κάτω περιοχές χρησιμοποιείται συνδυασμός προστατευτικής επίστρωσης και καθοδικής προστασίας διότι η καθοδική προστασία

δεν μπορεί να λειτουργήσει στο βέλτιστο παρουσία μειγμάτων νερού και πετρελαίου που λιμνάζουν σε συγκεκριμένα σημεία.

Υπάρχουν διάφορες μορφές ανόδων που μπορούν να τοποθετηθούν στο εσωτερικό μιας δεξαμενής, όπως για παράδειγμα μακριές και επίπεδες που αποσκοπούν στην καλύτερη προστασία ακόμα και σε λιμνάζοντα νερά. Ωστόσο, ο σημαντικότερος παράγοντας επιλογής του τύπου των ανόδων, είναι το μέγεθος της δεξαμενής που θα τοποθετηθούν και η μορφολογία της. Αν στις δεξαμενές μεταφέρονται χημικά προϊόντα για να αποφευχθεί τυχόν ρύπανση του φορτίου με ακαθαρσίες δεν επιτρέπεται να τοποθετηθεί σύστημα καθοδικής προστασίας.

Καθοδική προστασία σε δεξαμενές ακάθαρτων νερών

Σε αυτές καταλήγουν τα ακάθαρτα νερά τα οποία ακολούθως δημιουργούν στρώμα στην επιφάνεια της δεξαμενής εσωτερικά, αλλά αυτό δεν αρκεί για να λειτουργήσει σωστά ένα σύστημα καθοδικής προστασίας. Στις σεντίνες ως άνοδοι χρησιμοποιούνται σύρματα από αλουμίνιο ή ψευδάργυρο, τα οποία έχουν, στον πυρήνα τους, χάλυβα διαμέτρου 6 - 10 mm. Τα σύρματα έχουν διάρκεια ζωής περίπου 2 έτη, ενώ αν χρησιμοποιηθεί επιπλέον ψευδάργυρος σε μορφή ρινισμάτων, αυτά απαιτούν συχνή ανανέωση, συνήθως ανά 3 - 6 μήνες.

Καθοδική προστασία σε πλωτές δεξαμενές

Για την προστασία των πλωτών δεξαμενών χρησιμοποιούνται γαλβανικές άνοδοι σε συνδυασμό με σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος. Οι πλωτές δεξαμενές εμφανίζουν πιο έντονη διάβρωση στις εξωτερικές επιφάνειες, στις πύλες και στον πυθμένα τους. Για τις εξωτερικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται άνοδοι που αιωρούνται σε κατάλληλη απόσταση κάτω από την ίσαλο γραμμή και με αυτό τον τρόπο δημιουργείται σταθερό ηλεκτρικό πεδίο. Επειδή οι πλωτές δεξαμενές είναι ακίνητες κατασκευές, τοποθετούνται άνοδοι επίπεδες ή σε σχήμα κυλινδρικής ράβδου, χωρίς να χρειάζονται μέτρα προστασίας τους από κτυπήματα.

Το σύστημα καθοδικής προστασίας στις πλωτές δεξαμενές ελέγχεται με τρόπο αντίστοιχο αυτού που χρησιμοποιείται για τα πλοία. Κάθε πλευρά της δεξαμενής έχει εγκατεστημένο σύστημα προστασίας με ελεγχόμενη τάση ή προστατευτικό ανορθωτή ο οποίος συνδέεται μέσω κατάλληλου καλωδίου, με το σύστημα προστασίας στην άλλη πλευρά της δεξαμενής. Οι εσωτερικοί χώροι των πλωτών δεξαμενών, δεν είναι απαραίτητο να έχουν καθοδικό σύστημα προστασίας επειδή παραμένουν για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, επομένως, είναι εφικτή η συντήρησή τους με την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων αντιδιαβρωτικής προστασίας [2, 49].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Συντήρηση ναυπηγικών κατασκευών

4.1 Γενικά

Η συντήρηση των ναυπηγικών κατασκευών είναι πολύ σημαντική για την καλή λειτουργία τους. Για να είναι αποτελεσματική, απαιτείται προγραμματισμός, εφαρμογή κατάλληλου χρονοδιαγράμματος και έλεγχος του κόστους. Ο πρωταρχικός ρόλος της συντήρησης είναι να ελέγχεται και να επιβραδύνεται ο ρυθμός διάβρωσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της σημασίας της συντήρησης αποτελούν οι δεξαμενές έρματος. Στις δεξαμενές έρματος εάν το προστατευτικό επίστρωμα δεν συντηρηθεί κατάλληλα, τότε η διάρκεια ζωής του λόγω φθοράς, αναμένεται να είναι 5 - 10 έτη. Αυτό σημαίνει πως περίπου στην τρίτη ειδική επιθεώρηση (δηλαδή το πλοίο θα είναι ήδη στη δεκαπενταετία), η μοναδική λύση θα είναι η αντικατάσταση των μεταλλικών επιφανείων που έχουν υποστεί φθορά, κάτι που είναι ιδιαίτερα χρονοβόρο και με υψηλότατο κόστος. Με σωστή συντήρηση ωστόσο, το προστατευτικό επίστρωμα μπορεί να είναι αποδοτικό έως και 25 χρόνια με τη μεταλλική επιφάνεια να έχει φθορές σε μικρό και ελεγχόμενο βαθμό [2].

4.2 Τύποι και διάρκεια επιθεωρήσεων σε πλωτή δεξαμενή

Σύμφωνα με τον κινέζικο νηογνώμονα (*China Classification Society-CCS*) [50] για τις πλωτές δεξαμενές ισχύουν οι παρακάτω επιθεωρήσεις.

Ετήσια / Διετής επιθεώρηση: για πλωτές δεξαμενές που λειτουργούν σε θαλασσινό νερό, απαιτείται ετήσια επιθεώρηση με χρονικό περιθώριο να διεξαχθεί 3 μήνες πριν ή μετά από την ημερομηνία που εκδόθηκε το προηγούμενο πιστοποιητικό. Για πλωτές δεξαμενές που λειτουργούν σε φρέσκο νερό, απαιτείται επιθεώρηση ανά 2 χρόνια. Η διετής επιθεώρηση πρέπει να διενεργείται εντός 6 μηνών πριν την δεύτερη επέτειο έκδοσης του πιστοποιητικού.

Ειδική επιθεώρηση: για πλωτές δεξαμενές που λειτουργούν σε θαλασσινό νερό, η πρώτη ειδική επιθεώρηση πρέπει να ολοκληρωθεί εντός 5 ετών από την αρχική επιθεώρηση κλάσης και έπειτα εντός 5 χρόνων από την προηγούμενη πιστωμένη ειδική επιθεώρηση. Για πλωτές δεξαμενές που λειτουργούν σε φρέσκο νερό, η πρώτη ειδική επιθεώρηση πρέπει να ολοκληρωθεί εντός 6 ετών από την αρχική επιθεώρηση κλάσης και έπειτα εντός 6 ετών από την προηγούμενη πιστωμένη ειδική επιθεώρηση. Το διάστημα μεταξύ των ειδικών επιθεωρήσεων μπορεί να μειωθεί από τον *CCS* ανάλογα με την πραγματική τεχνική κατάσταση της πλωτής δεξαμενής.

Συνεχής επιθεώρηση: για πλωτές δεξαμενές μπορεί να διενεργείται συνεχής επιθεώρηση αντί της ειδικής, όπως ζητά ο ιδιοκτήτης. Ο ιδιοκτήτης πρέπει να προετοιμάσει το σχέδιο για τη συνεχή επιθεώρηση και να το υποβάλει στον *CCS* για έγκριση.

Επιθεώρηση του εξωτερικού του πυθμένα της πλωτής δεξαμενής: (γίνεται είτε με drydocking της δεξαμενής είτε υποβρύχια) για πλωτή δεξαμενή που λειτουργεί πάνω από 10 έτη, μια τέτοια επιθεώρηση πρέπει να γίνεται τουλάχιστον μια φορά μεταξύ των ειδικών επιθεωρήσεων. Αν γίνει υποβρύχια η επιθεώρηση, εφαρμόζονται οι παρακάτω μέθοδοι:

- Υποβρύχια φωτογράφιση.
- Υποβρύχια βιντεοσκόπηση.
- Αναφορά δύτη.
- Έκθεση υπερηχητικής μέτρησης των μεταλλικών επιφανειών.
- Μερική εξέταση των επιφανειών του πυθμένα, πάνω από την επιφάνεια του νερού.

Η υποβρύχια επιθεώρηση πρέπει να είναι αλληλένδετη με την ειδική επιθεώρηση. Η έκταση της εξέτασης πρέπει να συμφωνηθεί αλλά ο αριθμός, το μέγεθος και η τοποθεσία των περιοχών υπο επιθεώρηση καθορίζονται από τον επιθεωρητή. Οι περιοχές που θα επιθεωρηθούν πρέπει πριν την επιθεώρηση να καθαριστούν. Πριν από την υποβρύχια επιθεώρηση πρέπει να υποβληθεί αναφορά, σχετικά με τις συνθήκες στις οποίες λειτουργεί η δεξαμενή, που συμπεριλαμβάνει [50]:

- Τύπο εφαρμοσμένου επιστρώματος.
- Εάν υιοθετείται ή όχι έλεγχος διάβρωσης.
- Τύπο νερού λειτουργίας (φρέσκο, θαλασσινό, καθαρό ή βρώμικο νερό).
- Άλλους σχετικούς παράγοντες.

Όσον αφορά τον έλεγχο της κατάστασης των ελασμάτων και λοιπών δομικών στοιχείων για διάβρωση, το ποσοστό διάβρωσης καταγράφεται και κατηγοριοποιείται σε κλίμακα. Έτσι, έχουμε:

- Ελαφριάς κλίμακας σκουριά.
- Μέτριας κλίμακας σκουριά.
- Βαριάς κλίμακας σκουριά.
- Σκουριά από οπές σε μοτίβο ‘κουρτίνας’.
- Μεμονωμένες οπές.
- Σκουριές στις άκρες.
- Πλήρης απώλεια κομματιών.

Γίνεται παχυμέτρηση των ελασμάτων, συνήθως με τη χρήση συσκευών υπερήχου ή δαγκανών. Εξετάζονται οι περιοχές που το προστατευτικό επίστρωμα έχει καταρρεύσει. Οπουδήποτε ο χάλυβας φαίνεται οπτικά να μην έχει υποστεί διάβρωση, δεν απαιτείται παχυμέτρηση [51].

4.3 Τύποι και διάρκεια επιθεωρήσεων σε πλοία

Στα πλοία υπάρχουν αντίστοιχα οι υποχρεωτικές, βάση κανονισμού επιθεωρήσεις. Πέραν των υποχρεωτικών αυτών επιθεωρήσεων, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου ή την ηλικία του οι επιθεωρήσεις διαφοροποιούνται είτε σε βαθμό έκτασης είτε και σε αριθμό. Το θέμα αυτό δεν εντάσσεται στο πλαίσιο της παρούσης εργασίας, επομένως θα αναφερθούν μόνο οι υποχρεωτικές επιθεωρήσεις.

Ετήσια επιθεώρηση γάστρας και μηχανολογικού εξοπλισμού: η ετήσια επιθεώρηση πραγματοποιείται μια φορά ετησίως, τρεις μήνες πριν ή μετά την ημερομηνία έκδοσης του πιστοποιητικού της ειδικής επιθεώρησης. Κατά την ετήσια επιθεώρηση εξετάζονται τα εξής:

- Στοιχεία της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, όπως: τα ελάσματα του κύριου καταστρώματος και των υπερκατασκευών κ.λπ.
- Δίκτυα σωληνώσεων και αντλιών σε δεξαμενές ή δίκτυα συγκεκριμένης χρήσης (π.χ δίκτυο υγιεινής).
- Μέσα με τα οποία εξασφαλίζεται η στεγανότητα καλυμμάτων.
- Εξοπλισμός πλοίου στο μηχανοστάσιο, στη γέφυρα και στο κατάστρωμα.
- Εξακρίβωση των σημαδιών γραμμών φόρτωσης.

Ενδιάμεση επιθεώρηση: πραγματοποιείται σε αντικατάσταση της δεύτερης ή της τρίτης ετήσιας επιθεώρησης. Έχει τις ίδιες απαιτήσεις με αυτές της ετήσιας επιθεώρησης όμως υπάρχουν επιπρόσθετοι έλεγχοι που καθορίζονται ανάλογα με την ηλικία του πλοίου. Οι έλεγχοι αυτοί αναφέρονται παρακάτω:

- Σε πλοία ηλικίας άνω των πέντε και μέχρι δέκα ετών απαιτείται μια εσωτερική γενική επιθεώρηση ορισμένων δεξαμενών έρματος. Εάν κατά την επιθεώρηση δεν υπάρχουν ορατά σφάλματα, δεν απαιτείται επιπλέον έλεγχος. Εάν ωστόσο, διακριθεί καταστροφή της επίστρωσης, εκτεταμένη διάβρωση ή κάποιο άλλο σφάλμα, τότε η επιθεώρηση θα επεκταθεί και στους υπόλοιπους χώρους ερματισμού του ίδιου τύπου. Σε σοβαρής έκτασης διάβρωσης απαιτείται παχυμέτρηση.
- Στα πλοία ηλικίας άνω των δέκα ετών απαιτείται επίσης εσωτερικός έλεγχος των προαναφερθέντων δεξαμενών θαλάσσιου έρματος. Στην περίπτωση που η κατάσταση της μεταλλικής κατασκευής ή του συστήματος προστασίας της από τη διάβρωση δεν είναι ικανοποιητική, απαιτείται παχυμέτρηση και λεπτομερής εσωτερικός έλεγχος.
- Σε πλοία ξηρού φορτίου άνω των πέντε ετών απαιτείται επιπλέον εκτεταμένη λεπτομερής επιθεώρηση σε δύο αμπάρια, ένα από τα οποία να είναι το πρωαίο. Σε πλοία ξηρού φορτίου άνω των 15 ετών απαιτείται ολική επιθεώρηση όλων των αμπαριών.
- Σε δεξαμενόπλοια μεταξύ πέντε και δέκα ετών απαιτείται επιθεώρηση των σωληνώσεων φορτίου, καυσίμων, έρματος και εξαερισμού των αμπαριών καθώς επίσης και γενική επιθεώρηση του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Σε

δεξαμενόπλοια άνω των 15 ετών απαιτείται έλεγχος των μηχανισμών αγκυροβολίας και των αγκυρών, εσωτερική επιθεώρηση μιας πρυμναίας και μιας πρωραίας δεξαμενής και επιθεώρηση σε μηχανολογικό εξοπλισμό, κενές δεξαμενές και των συστημάτων πρόωσης και προστασίας από πυρκαγιά.

Επιθεώρηση δεξαμενισμού: διεξάγεται σε διάστημα που δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 36 μήνες. Όταν το πλοίο βρίσκεται στη δεξαμενή, θα πρέπει να είναι ευδιάκριτα τα ελάσματα πυθμένα, της πρόρας και της πρύμνης, το πηδάλιο, η έλικα καθώς και οι αναρροφήσεις θαλάσσης (*sea chests*). Κατά το δεξαμενισμό απαιτείται να γίνεται:

- Επιθεώρηση των ελασμάτων της γάστρας για υπερβολική διάβρωση ή αλλοίωση.
- Επιθεώρηση των αναρροφήσεων θαλάσσης και των επιστομιών απόρριψης.
- Έλεγχος των αγκυρών και των αλυσίδων. Τα κλειδιά αλυσίδων που είναι φθαρμένα πάνω από τα επιτρεπτά όρια πρέπει να αντικαθίστανται.
- Έλεγχος του πηδαλίου, του άξονά του και των σχετικών εξαρτημάτων. Μέτρηση και καταγραφή των ανοχών του άξονα του πηδαλίου.
- Έλεγχος των ορατών τμημάτων της έλικας και του τελικού άξονα (*tailshaft*) και καταγραφή των σχετικών ανοχών.
- Επιθεώρηση των ορατών τμημάτων των πλευρικών προωθητήρων (*side thrusters*).

Ειδικές επιθεωρήσεις γάστρας: οι επιθεωρήσεις αυτές διεξάγονται ανά 4 ή 5 έτη και είναι διαφορετικές ανά πενταετία. Όσο περνάνε τα χρόνια γίνεται και πιο αυστηρός έλεγχος στο πλοίο προκειμένου να πλέει με ασφάλεια. Υπάρχουν τέσσερεις ειδικές επιθεωρήσεις γάστρας ανάλογα με τον τύπο του πλοίου.

4.4 Διαδικασία συντήρησης

Σε πρώτο στάδιο, για τη συντήρηση των μεταλλικών επιφανειών των κατασκευών υπάρχουν ζητήματα που πρέπει να καλύπτονται τα οποία περιγραφικά είναι τα παρακάτω [11]:

- Ασφάλεια.
- Απομάκρυνση αλάτων από τις επιφάνειες προς επεξεργασία.
- Αφαίρεση σκουριάς.
- Σε επιφάνεια με σκουριά με κρατήρες (βαθουλώματα), αν χρειάζεται, γίνεται συγκόλληση και στη συνέχεια επίστρωση των κρατήρων.
- Εάν είναι εφικτό, προγραμματισμός της συντήρησης σε περιόδους ή περιοχές πιο ζεστών νερών. Οι περιοχές πάνω από την επιφάνεια του νερού μπορούν να ζεσταθούν με τεχνητούς τρόπους.
- Επαρκής εξαερισμός για ασφάλεια και ποιοτική εφαρμογή.
- Έλεγχος υγρασίας για αποφυγή φαινομένου υγροποίησης υδρατμών στην επιφάνεια του μετάλλου.

- Προσεχτική επιλογή του συστήματος επίστρωσης ώστε τα συστατικά του να είναι συμβατά μεταξύ τους, αλλά και με την επιφάνεια του μετάλλου.
- Επιμελής προετοιμασία της μεταλλικής επιφάνειας και με έμφαση στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της (π.χ ραφές, γωνίες, άκρες).

Για συντήρηση δεξαμενών έρματος, πόσιμο νερού καυσίμων και αποβλήτων ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Αφαίρεση λάσπης και ιζημάτων.
- Αφαίρεση λαδιών και γράσων.
- Μηχανική αφαίρεση της επιφανειακής σκουριάς.
- Ομαλοποίηση όλων των τραχιών ακρών του υπάρχοντος επιστρώματος.
- Αφαίρεση υπολειμμάτων και κάθε είδους ρύπων.
- Πλύσιμο με φρέσκο νερό σε υψηλή πίεση.
- Έλεγχος όλων των διαμερισμάτων πριν από την εφαρμογή της επίστρωσης.
- Έλεγχος και εκτίμηση για τις επιφάνειες που πρέπει να επικαλυφθούν.
- Ανάμειξη μόνο των απαιτούμενων ποσοτήτων επίστρωσης για κάθε πέρασμα.
- Διπλό πέρασμα λωρίδας σε όλες τις περιοχές με σκουριά, τις συγκολλήσεις και τις αιχμηρές άκρες.
- Σε μεγάλες επιφάνειες, εφαρμογή της επίστρωσης με ψεκασμό.

Σύμφωνα με τον *IACS* στις δεξαμενές έρματος για τη συντήρηση και επισκευή, η αφαίρεση της λάσπης γίνεται εφόσον πρώτα ‘πολτοποιηθεί’ και έπειτα αντλείται. Τα άλατα αφαιρούνται με απόξεση. Έπειτα από το πλύσιμο με γλυκό νερό απαιτείται ξήρανση και προετοιμασία της επιφάνειας ώστε να εφαρμοστούν προστατευτικές άνοδοι και η νέα επίστρωση [11].

Για τη συντήρηση του καταστρώματος ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Μηχανική αφαίρεση της επιφανειακής σκουριάς.
- Ομαλοποίηση όλων των τραχιών ακρών του υπάρχοντος επιστρώματος.
- Αφαίρεση ρύπων και υπολειμμάτων ξένων υλικών.
- Για μεγάλες περιοχές πλύση με φρέσκο νερό σε υψηλή πίεση. Για μικρές περιοχές μηχανική προετοιμασία.
- Έλεγχος της επιφάνειας προς επίστρωση και εκτίμηση της ποσότητας υλικών επίστρωσης.
- Ανάμειξη των συστατικών μόνο για την απαιτούμενη ποσότητα επίστρωσης.
- Αποφυγή της χρήσης αραιωτικού μέσου ή διαλύτη που δεν ακολουθεί τις οδηγίες του κατασκευαστή της επίστρωσης.
- Εφαρμογή με ψεκασμό σε μεγάλες επιφάνειες και με ρολό σε μικρές.

Στους χώρους φορτίου (αμπάρια), χρησιμοποιείται υδροβολή με φρέσκο νερό υπό πίεση μεγαλύτερη των 500 bar, για την αφαίρεση της επιφανειακής σκουριάς, του κατεστραμμένου επιστρώματος και διάφορων ρύπων. Σε πιο μικρές περιοχές γίνεται

αφαίρεση των ξένων σωμάτων με μηχανικό τρόπο. Επιπλέον, για διαβρωτικό φορτίο χρησιμοποιούνται βαρέα μηχανήματα για πιο ποιοτικό καθαρισμό της επιφάνειας, ώστε να παρατείνεται η διάρκεια ζωής της επίστρωσης [52].

Σε περίπτωση που είναι απαραίτητο να γίνει κάποια συντήρηση εν πλω τότε ακολουθείται αντίστοιχη διαδικασία, με ορισμένες διαφορές ωστόσο γιατί στο πλοίο πάνω υπάρχουν συγκεκριμένα μηχανήματα. Επομένως, ισχύουν τα εξής [53]:

- Πλύσιμο με φρέσκο νερό, κατά προτίμηση με χρήση πιεστικού μηχανήματος.
- Αφαίρεση λαδιών και γράσων που συνήθως γίνεται με τη χρήση κάποιου υφάσματος εμποτισμένου με κατάλληλο διαλύτη. Απαιτείται προσοχή στην επιλογή του διαλύτη, ώστε αυτός να μην επηρεάζει την υπάρχουσα επίστρωση.

Η προετοιμασία χαλύβδινης επιφάνειας γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους:

- Απόξεση ή θραύση προσκολλημένων, στη μεταλλική επιφάνεια, ξένων σωμάτων, με ξύστρες διαφόρων τύπων.
- Απομάκρυνση προσκολλημένων ξένων σωμάτων με σφυρί και καλέμι και στη συνέχεια με συρματόβουρτσα.
- Βούρτσισμα με σύρμα. Με τη μέθοδο αυτή αφαιρείται η επιφανειακή σκουριά αλλά δεν είναι αποδοτική για μεγάλης κλίμακας σκουριά.

Μέθοδοι προετοιμασίας επιφάνειας με ηλεκτρικά εργαλεία:

- Περιτροφικό βούρτσισμα με τροχό και πτυχωτό σύρμα, χρήσιμο για γωνίες και ραφές συγκόλλησης.
- Περιτροφικός δίσκος. Γίνεται καθαρισμός με λειαντικούς δίσκους σε γωνιακούς τροχούς ή προσαρτημένους σε ευθεία.

Εφόσον γίνουν τα παραπάνω απαιτείται καθαρισμός από τα υπολείμματα και τους ρύπους, ώστε να ακολουθήσει το συντομότερο δυνατόν η εφαρμογή του συστήματος επίστρωσης.

Οι επιστρώσεις στις μεταλλικές επιφάνειες των πλοίων εφαρμόζονται χωρίς προσθήκη αραιωτικού διαλύτη και με ιδιαίτερη προσοχή στο πάχος της ξηρής μεμβράνης. Η εφαρμογή του συστήματος επίστρωσης γίνεται με ψεκασμό ή με τη χρήση ρολού (για μεγάλες επιφάνειες) ή με πινέλα διαφόρων τύπων (για μικρές επιφάνειες).

B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Αντιδιαβρωτική προστασία της εργαστηριακής ναυπηγικής δεξαμενής του τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών του ΠΑ.Δ.Α

5.1 Περιγραφή εργαστηριακής ναυπηγικής δεξαμενής

Η δεξαμενή κατασκευάστηκε το 2008 προκειμένου να διεξάγονται πειράματα σε αυτή με μοντέλα πλοίων ή πλωτών κατασκευών (π.χ. πλωτή ανεμογεννήτρια) που να αφορούν τη μελέτη της συμπεριφοράς τους σε κυματισμούς. Οι κυματισμοί δημιουργούνται από ειδικό μηχανισμό τοποθετημένο στη μια άκρη της δεξαμενής, ο οποίος, μπορεί να παράγει κύματα με τρεις διαφορετικές ταχύτητες. Στην άλλη άκρη της δεξαμενής είναι τοποθετημένος ένας αποσβεστήρας κυμάτων για να μην γίνεται αντανάκλαση του κύματος προς τα πίσω ώστε να επηρεάζεται το πείραμα.

Η δεξαμενή έχει κατασκευαστεί από κοινό ναυπηγικό χάλυβα πάχους 7 mm και παραδόθηκε σε εξαιρετική κατάσταση.

Όσον αφορά το περιβάλλον και τις συνθήκες, η δεξαμενή είναι τοποθετημένη σε εσωτερικό χώρο και δεν εκτεθείται άμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία. Λειτουργεί σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος και συνήθως είναι καλυμμένη με προστατευτικό κάλυμμα. Πληρώνεται με γλυκό νερό του δικτύου ύδρευσης, στο οποίο προστίθεται 1 έως 2 λίτρα χλωρίνης (υδατικό διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου) και ανανεώνεται τουλάχιστον μια φορά το χρόνο, ενώ αδειάζει κατά τη θερινή περίοδο.

Για την προστασία από τη διάβρωση η δεξαμενή φέρει από την κατασκευή της επίστρωση από εποξειδικό χρώμα δύο συστατικών, έχει γκρι απόχρωση εξωτερικά και ανοιχτή μπλε εσωτερικά. Η εφαρμογή της επίστρωσης έχει γίνει με ρολό. Το πάχος της επίστρωσης (ξηρή μεμβράνη) της δεξαμενής μετρήθηκε και βρέθηκε ότι είναι κατά μέσο όρο 200 μm.

Στην εικόνα 2 φαίνεται η δεξαμενή που είναι εγκατεστημένη στον κλειστό χώρο του εργαστηρίου. Διακρίνεται ο μηχανισμός που δημιουργεί τα κύματα για τα πειράματα (κυματιστήρας). Όπως φαίνεται και στη φωτογραφία, δεν υπάρχει απευθείας έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Στην εικόνα 3 φαίνεται η νεόδμητη δεξαμενή κατά την άφιξή της στο τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών το 2008.

Στη συνέχεια, στα σχήματα 6,7 και 8 παρατίθενται σχέδια στα οποία φαίνεται η κάτοψη, η πλάγια όψη και η μπροστινή όψη της δεξαμενής, ενώ στις εικόνες 4 και 5 δίνεται μια τριδιάστατη απεικόνιση. Τα σχέδια και οι απεικονίσεις έγιναν με τη χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος *Rhinoceros 5* [54], οι διαστάσεις δίνονται σε μέτρα (m).



Εικόνα 2. Η εργαστηριακή δεξαμενή στον χώρο που είναι εγκατεστημένη.



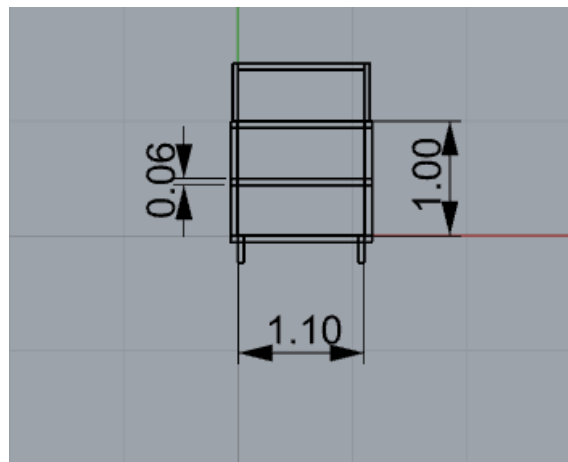
Εικόνα 3. Η δεξαμενή όταν παραδόθηκε στο τμήμα το 2008.



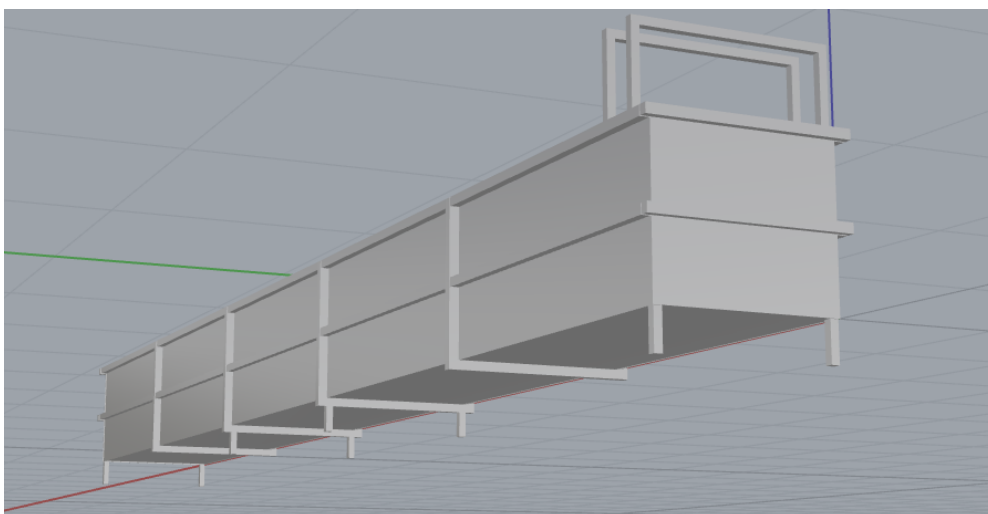
Σχήμα 6. Κάτοψη της δεξαμενής.



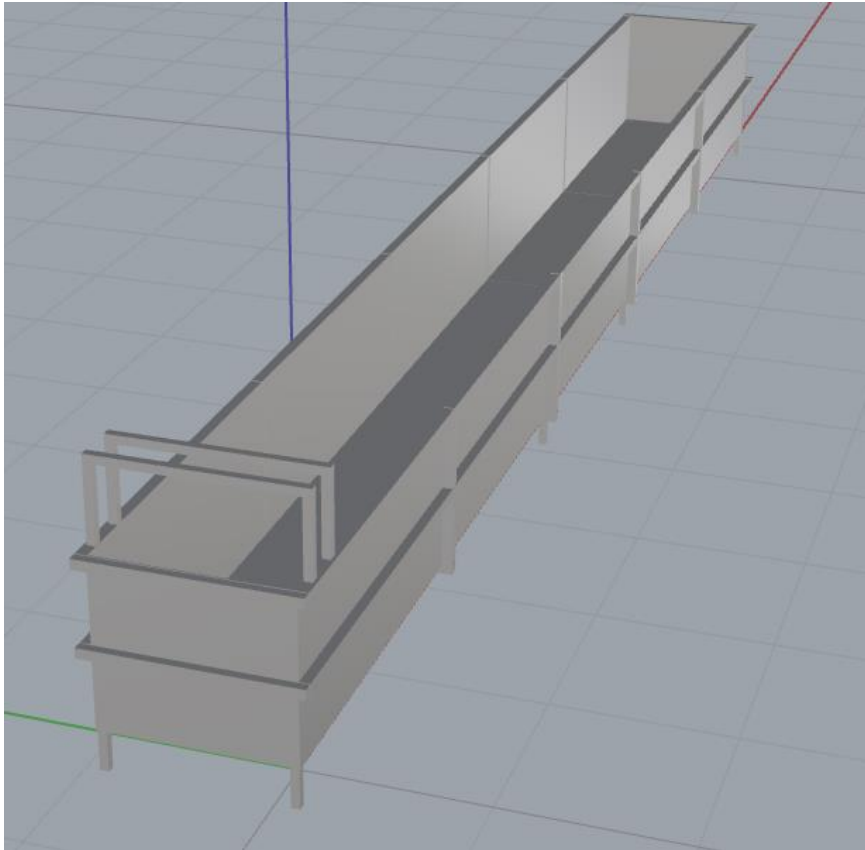
Σχήμα 7. Μπροστινή όψη της δεξαμενής.



Σχήμα 8. Πλάγια όψη της δεξαμενής.



Εικόνα 4. Τρισδιάστατη απεικόνιση της δεξαμενής.



Εικόνα 5. Τρισδιάστατη απεικόνιση της δεξαμενής.

Στον πίνακα 13 δίνονται τα γεωμετρικά μεγέθη των κατασκευαστικών στοιχείων της δεξαμενής και υπολογίζονται ο όγκος και η μάζα του χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή.

Όπως προκύπτει από τα δεδομένα του πίνακα 13, το βάρος της μεταλλικής κατασκευής είναι **2.6 tn**, ενώ ο όγκος του εσωτερικού της δεξαμενής είναι **12.7 m³**. Κατά τη χρήση της πληρώνεται με νερό μέχρι ύψους 60 cm, οπότε ο όγκος του νερού που απαιτείται είναι **7.6 m³** ή **76000 L**.

Η εσωτερική επιφάνεια έχει εμβαδόν **37.85 m²**. Η εξωτερική επιφάνεια που απαιτείται να επιστρωθεί έχει εμβαδόν **46.85 m²**, όπως προκύπτει από τα δεδομένα των επιμέρους στοιχείων που δίνονται στους παρακάτω πίνακες 14 και 15.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13. Κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη των κατασκευαστικών στοιχείων της δεξαμενής.

Κατασκευαστικό στοιχείο	Μήκος, a, (m)	Πλάτος, b, (m)	Ύψος, c, (m)	Πάχος, d, (m)	Όγκος στοιχείου × αριθμό στοιχείων	Όγκος, V, (m ³)	Μάζα, m, (kg)
Πλευρική επιφάνεια (x2)	11.5	-	1	0.007	(a×c×d)×2	0.161	1271.9
Μικρή πλευρ. Επιφάνεια (x2)	-	1.1	1	0.007	(b×c×d)×2	0.0154	121.7
Πυθμένας	11.5	1.1	-	0.007	(a×b×d)	0.08855	699.5
Κουπαστή μεγ. (x2)	11.5	0.06	-	0.007	(a×b×d)×4	0.01932	152.6
Κουπαστή μικρή (x2)	1	0.06	-	0.007	(a×b×d)×4	0.00168	13.3
Μικρό οριζόντιο εν. (x2)	1	0.06	-	0.007	(a×b×d)×4	0.00168	13.3
Μεγάλο οριζόντιο εν. (x2)	11.5	0.06	-	0.007	(a×b×d)×4	0.01932	152.6
Κάθετα ενισχυτικά (x4)	-	0.06	1.06	0.007	(a×b×d)×16	0.0071232	56.3
Ενισχυτικά πυθμένα (x4)	0.98	0.06	-	0.007	(a×b×d)×16	0.0065856	52.0
Πόδια (x8)	-	0.05	0.24	0.007	(b×c×d)x32	0.002688	21.2
Κάθετο μέλος στήριξης	-	0.05	0.45	0.007	(b×c×d)x8	0.00126	10.0
Οριζόντιο μέλος στήριξης	1.2	0.05	-	0.007	(a×b×d)x8	0.00336	26.5
					SUM	0,3206588	2591

ΠΙΝΑΚΑΣ 14. Εμβαδόν εσωτερικής επιφάνειας.

Επιφάνειες	a, (m)	b, (m)	c, (m)	Επιφάνεια στοιχείου × αριθμό στοιχείων	Επιφάνεια, m ²
Μεγάλη εσωτερική επιφάνεια (x2)	11.5	1		(axb)x2	23
Μικρή εσωτερική επιφάνεια (x2)	1.1	-	1	(axc)x2	2.2
Πυθμένας	11.5	1.1		(axb)x2	12.65
				SUM =	37.85

ΠΙΝΑΚΑΣ 15. Εμβαδόν επιφάνειας των ενισχυτικών και λοιπών στοιχείων της κατασκευής.

Κατασκευαστικό στοιχείο	Μήκος, a, (m)	Πλάτος, b, (m)	Ύψος, c, (m)	Επιφάνεια στοιχείου × αριθμό στοιχείων	Επιφάνεια, m ²
Κουπαστή μεγ. (x2)	11.5	0.06	-	(a×b)×4	2.76
Κουπαστή μικρή (x2)	1	0.06	-	(a×b)×4	0.24
Μικρό οριζόντιο εν. (x2)	1	0.06	-	(a×b)×4	0.24
Μεγάλο οριζόντιο εν. (x2)	11.5	0.06	-	(a×b)×4	2.76
Κάθετα ενισχυτικά (x4)	-	0.06	1.06	(b×c)×16	1.018
Ενισχυτικά πυθμένα (x4)	0.98	0.06	-	(a×b)×16	0.9408
Πόδια (x8)	-	0.05	0.24	(b×c)x32	0.384
Κάθετο μέλος στήριξης	-	0.05	0.45	(b×c)x8	0.18
Οριζόντιο μέλος στήριξης	1.2	0.05	-	(a×b)x8	048
				SUM=	9.002

5.2 Αξιολόγηση της τρέχουσας κατάστασης της δεξαμενής

Η δεξαμενή λειτουργεί σε ευνοϊκές συνθήκες και ελεγχόμενο περιβάλλον. Από τότε που κατασκευάστηκε δεν έχει υποβληθεί σε κάποια συντήρηση, με εξαίρεση ένα περιορισμένο εξωτερικό τμήμα στην περιοχή που είναι τοποθετημένος ο αποσβεστήρας, το οποίο είχε εμφανίσει φθορά λόγω διάβρωσης. Στο τμήμα αυτό έγινε καθαρισμός της επιφάνειας και εφαρμογή εποξειδικής επίστρωσης.

Στις εικόνες 6, 7 και 8 δίνονται χαρακτηριστικές φωτογραφίες στις οποίες απεικονίζεται η τρέχουσα κατάσταση της δεξαμενής.

Στην εικόνα 6 φαίνονται χαρακτηριστικές ραφές συγκόλλησης που υπάρχουν ανάμεσα στο οριζόντιο ενισχυτικό με τα ελάσματα των τοιχωμάτων της δεξαμενής. Είναι εμφανές ότι τα ελάσματα βρίσκονται σε πολύ καλή κατάσταση, χωρίς να παρουσιάζουν σημαντική διάβρωση, παρόλο που οι ραφές θεωρούνται ευαίσθητες και περιοχές υψηλού κινδύνου ως προς τη φθορά λόγω διάβρωσης.



Εικόνα 6. Ενδεικτικές ραφές συγκόλλησης από το οριζόντιο ενισχυτικό, όπου δεν εμφανίζεται διάβρωση σε σημαντικό βαθμό. Η γωνία των ενισχυτικών εμφανίζει σημάδια διάβρωσης μικρής κλίμακας.

Στην εικόνα 7 φαίνεται μια ενδεικτική κάθετη ραφή που ενώνει τα κατακόρυφα ελάσματα του τοιχώματος της δεξαμενής και φαίνεται να είναι σε πολύ καλή κατάσταση.



Εικόνα 7. Κάθετη ραφή μεταξύ των λαμαρίνων.

Στην εικόνα 8 φαίνεται (αριστερά) η διάβρωση που έχει δημιουργηθεί από την επαφή της μεταλλικής επιφάνειας με χαλύβδινη βάση που χρησιμοποιείται σε πειράματα αγκύρωσης μοντέλων πλωτών κατασκευών, καθώς και σημάδια βιορύπανσης στον πυθμένα, ενώ στην ίδια εικόνα (δεξιά), φαίνεται επιφανειακή οξείδωση του μετάλλου που έχει προκληθεί από την ατμοσφαιρική διάβρωση. Η διάβρωση αυτή εκτείνεται σε μικρό βαθμό και μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά αμελητέα, δεδομένου ότι δεν έχουν γίνει εργασίες συντήρησης από την κατασκευή της.

Στην εικόνα 9 φαίνονται οι δύο βάσεις που εγκαθίστανται στον πυθμένα της δεξαμενής και χρησιμοποιούνται για την αγκύρωση μοντέλων στατικών κατασκευών στα πειράματα που πραγματοποιούνται στη δεξαμενή. Η τετράγωνη βάση έχει υποστεί παρόμοιου τύπου γαλβανική διάβρωση, η οποία εκτιμάται ότι προκαλείται από το σχηματισμό τοπικών γαλβανικών στοιχείων κατά τη σύνδεση των μετάλλων.



Εικόνα 8. Αριστερά: Σημάδια σκουριάς από τη διάβρωση που προκαλείται με την τοποθέτηση βάσης στήριξης για τη διεξαγωγή πειραμάτων. Δεξιά: μικρής έκτασης επιφανειακή σκουριά στην κουπαστή της δεξαμενής από ατμοσφαιρική διάβρωση.



Εικόνα 9. Οι δύο βάσεις που χρησιμοποιούνται σε πειράματα με πλωτές κατασκευές. Στα σημεία που έρχονται σε επαφή τα πόδια της βάσης με τον πυθμένα της δεξαμενής έχει παρουσιαστεί διάβρωση σε σημαντικό βαθμό.

Στην εικόνα 10 παρουσιάζεται μια άποψη του εσωτερικού της δεξαμενής, όπου φαίνεται η σε γενικές γραμμές καλή της κατάσταση. Στο κεντρικό κάτω μέρος της φωτογραφίας φαίνεται η μεταλλική άνοδος (ανόδιο) που έχει τοποθετηθεί για την καθοδική προστασία της κατασκευής. Η επιφάνεια της ανόδου καλύπτεται από τα προϊόντα της ανοδικής δράσης και από τη ρύπανση που υπάρχει στο εσωτερικό της δεξαμενής. Κοντά στη μεταλλική άνοδο (δεν εικονίζεται) είναι τοποθετημένος ο κυματιστήρας, κατασκευασμένος από αλουμίνιο.



Εικόνα 10. Κατάσταση ανοδίου και παρουσία βιορύπανσης στην επιφάνεια και στον πυθμένα της δεξαμενής.

Στην εικόνα 11 φαίνεται ο κυματιστήρας που έχει εγκατασταθεί στο άκρο της δεξαμενής, ενώ είναι εμφανής η ύπαρξη βιορύπανσης στο περιεχόμενο και στον πυθμένα της δεξαμενής.

Στην εικόνα 12 φαίνεται η ειδική κατασκευή (αποσβεστήρας) η οποία βοηθάει στο να μην αντανακλώνται τα κύματα που φτάνουν στο άκρο της δεξαμενής.



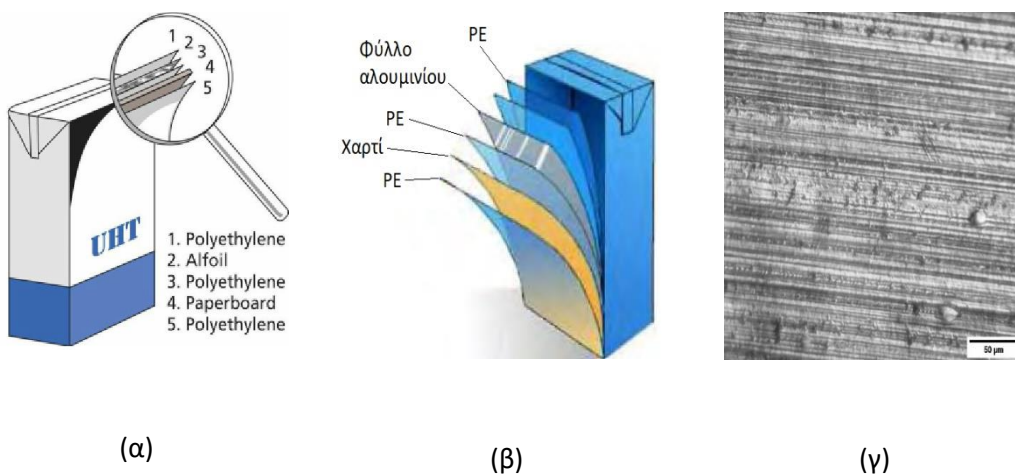
Εικόνα 11. Βιορύπανση στην επιφάνεια και στον πυθμένα της δεξαμενής και στο βάθος ο μηχανισμός του κυματιστήρα.



Εικόνα 12. Ο αποσβεστήρας κυμάτων της δεξαμενής και η βιορύπανση στον πυθμένα.

5.3 Αντιδιαβρωτική επίστρωση και θερμοπλαστική επένδυση σε δοκίμια χάλυβα

Πραγματοποιήθηκαν ορισμένες εργαστηριακές δοκιμές εφαρμογής υγρής αντιδιαβρωτικής επίστρωσης και θερμοπλαστικής επένδυσης σε δοκίμια κοινού χάλυβα, με σκοπό τη διερεύνηση μεθόδων συντήρησης της χαλύβδινης επιφάνειας ναυπηγικών δεξαμενών κάθε τύπου. Αυτές περιλαμβάνουν εμπορικό αστάρι *Underwater Primer 26030 (Hempel)* που προορίζεται για υποβρύχια χρήση, αστάρι σε συνδυασμό με θερμοπλαστική επένδυση από φύλλο πολυαιθυλενίου και συγκόλληση φύλλων πολυαιθυλενίου με θερμική μέθοδο (θερμόκολλα). Η ιδέα της χρήσης θερμοπλαστικής επένδυσης για την αντιδιαβρωτική προστασία προήλθε από μεθόδους που εφαρμόζονται στη βιομηχανία για τη παραγωγή δοχείων τροφίμων και ποτών και τα τελευταία χρόνια επεκτείνονται σε άλλους χώρους όπως η προστασία σωληνώσεων και δεξαμενών. Η βασική ιδέα της μεθόδου φαίνεται στην εικόνα 13.



(α)

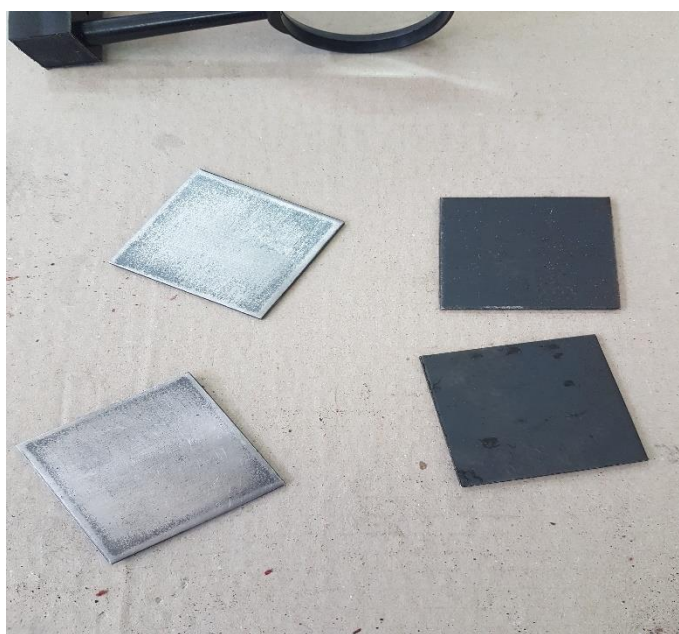
(β)

(γ)

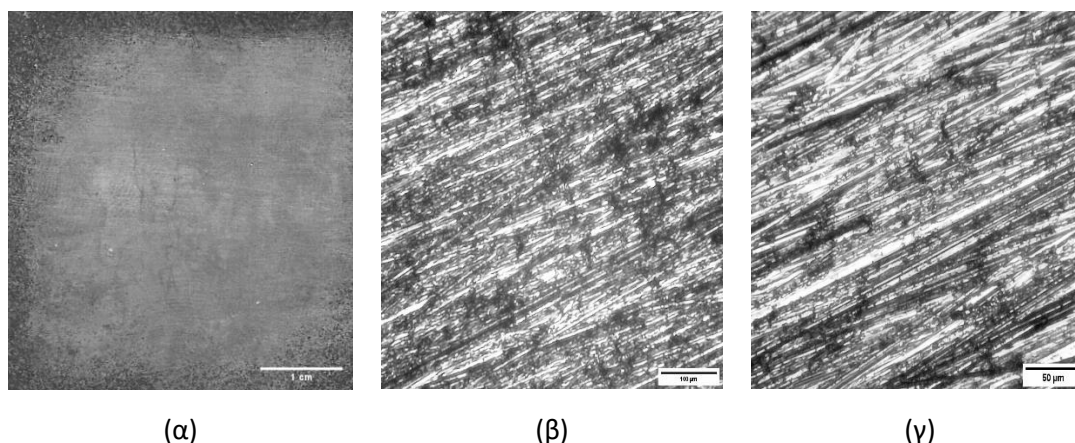
Εικόνα 13. Θερμοπλαστική επένδυση συσκευασίας τροφίμων και ποτών (α). Η συσκευασία αποτελείται από διαφορετικά στρώματα συγκολλημένα μεταξύ τους: πλαστικοποιημένο χαρτί, φύλλο αλουμινίου και φύλλο πολυαιθυλενίου (β). Η επιφάνεια της θερμοπλαστικής επένδυσης πάνω από το αλουμίνιο, υπό μεγέθυνση X100 (γ).

Σε όλα τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν, διαστάσεων $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ και πάχους 2 mm , έγινε αρχικά μηχανική λείανση της επιφάνειας με γυαλόχαρτο $N\ 120$ και στη συνέχεια με γυαλόχαρτο $N\ 180$ ώστε να αποκτήσουν την απαιτούμενη τραχύτητα. Στη συνέχεια, η επιφάνεια των δοκιμίων καθαρίστηκε με ασετόν προκειμένου να απομακρυνθούν οι ακαθαρσίες. Στην εικόνα 14 φαίνονται τα δοκίμια στο στάδιο της προετοιμασίας. Τα δύο δοκίμια στο αριστερό τμήμα της εικόνας έχουν λειανθεί.

Στην εικόνα 15 φαίνεται σε διαφορετικές μεγεθύνσεις η επιφάνεια του χάλυβα μετά τη λείανση. Η επιφάνεια πρέπει να εμφανίζει κάποιο βαθμό τραχύτητας και να μην είναι τελείως στιλπνή, ώστε να επιτυγχάνεται καλή πρόσφυση της επίστρωσης. Παρατηρείται σαφής ομοιότητα της επιφάνειας του χάλυβα με την επιφάνεια του φύλλου αλουμινίου που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή της θερμοπλαστικής επένδυσης πολυαιθυλενίου σε εμπορικές συσκευασίες (εικόνα 13γ).



Εικόνα 14. Δοκίμια χάλυβα κατά το στάδιο της προετοιμασίας της επιφάνειας, πριν από τη λείανση (δεξιά) και μετά τη λείανση (αριστερά).

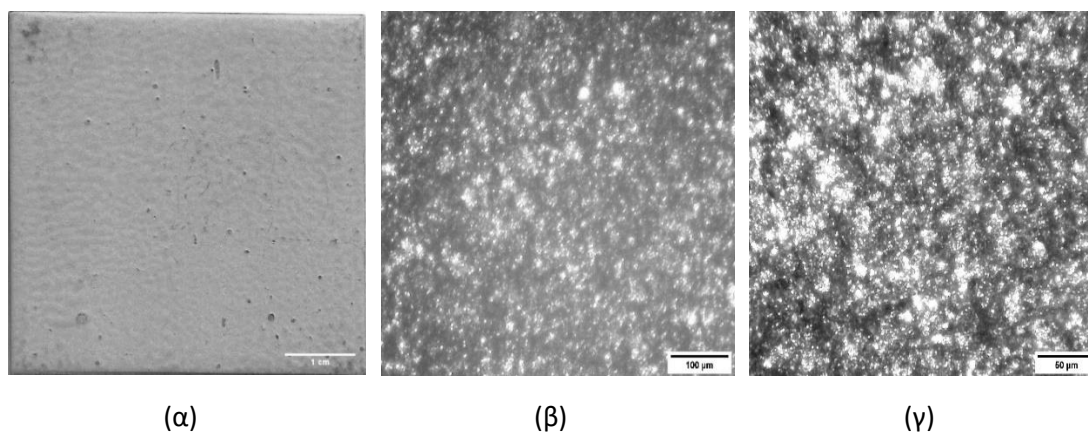


Εικόνα 15. Επιφάνεια κοινού χάλυβα μετά το στάδιο της προετοιμασίας: χωρίς μεγέθυνση (α), υπό μεγέθυνση X50 (β), υπό μεγέθυνση X100 (γ).

Ακολούθως παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που έγιναν για την εφαρμογή εποξειδικής υγρής αντιδιαβρωτικής επίστρωσης (αστάρι) και θερμοπλαστικής επικάλυψης πολυαιθυλενίου στην επιφάνεια των μεταλλικών δοκιμίων.

Δοκίμιο Νο 1.

Μετά τη λείανση, εφαρμόστηκε με ειδικό ρολό αντιδιαβρωτική επίστρωση (αστάρι) *Underwater Primer 26030 (Hempel)*, το οποίο αφέθηκε να στεγνώσει με φυσικό τρόπο σε συνθήκες περιβάλλοντος. Η αρχική ξήρανση της επίστρωσης έγινε σε 3 ώρες, ενώ το δοκίμιο παρέμεινε σε συνθήκες περιβάλλοντος για 1 εβδομάδα, για την τελική ξήρανση. Το πάχος της ξηρής μεμβράνης μετά την τελική ξήρανση ήταν 0.12 mm (120 μm). Η επιφάνεια του δοκιμίου μετά την εφαρμογή της επίστρωσης φαίνεται σε διαφορετικές μεγεθύνσεις στην εικόνα 16. Η τραχύτητα της επιφάνειας οφείλεται στις νιφάδες αλουμινίου που περιέχει η επίστρωση και διασφαλίζει επαρκή τραχύτητα για την καλή πρόσφυση του επόμενου στρώματος.

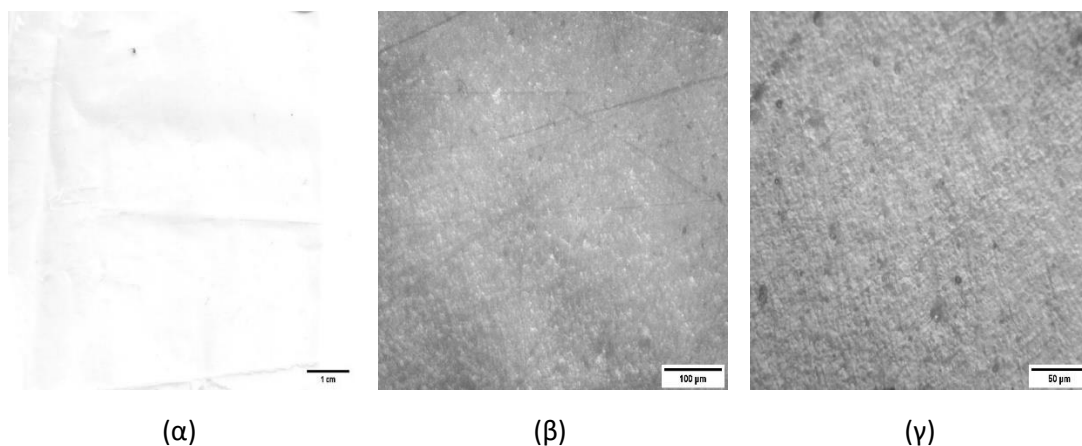


Εικόνα 16. Αντιδιαβρωτική επίστρωση (αστάρι) σε χαλύβδινη επιφάνεια: χωρίς μεγέθυνση (α), υπό μεγέθυνση X50 (β), υπό μεγέθυνση X100.

Δοκίμιο Νο 2.

Στο δοκίμιο αυτό εφαρμόστηκε αστάρι όπως και στο δοκίμιο 1 και στη συνέχεια (σε περίπου 15 λεπτά) τοποθετήθηκε θερμοπλαστική επένδυση από φύλλο πολυαιθυλενίου πριν την αρχική ξήρανση της αντιδιαβρωτικής επίστρωσης. Η επένδυση θερμάνθηκε στους 90 °C και εφαρμόστηκε συμπίεση ώστε να απομακρυνθούν φυσαλίδες εγκλωβισμένου αέρα και να επιτευχθεί καλύτερη πρόσφυση. Στη θερμοπλαστική επένδυση ασκήθηκε πίεση 2.2 KPa (με την τοποθέτηση κατάλληλου βάρους) μέχρι την τελική ξήρανση της επίστρωσης (1 εβδομάδα). Αυτό έγινε για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή πρόσφυση ανάμεσα στα δύο υλικά.

Το φύλλο PE είχε πάχος 0.045 mm (45 μm). Στην εικόνα 17 φαίνεται σε διαφορετικές μεγεθύνσεις η επιφάνεια του φύλλου πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιήθηκε ως θερμοπλαστική επένδυση. Το συνολικό πάχος επίστρωσης και θερμοπλαστικής επένδυσης ήταν 0.110 mm (110 μm). Το γεγονός πως είναι μικρότερο το πάχος από αυτό του δοκιμίου 1 οφείλεται στο ότι στο δοκίμιο αυτό εφαρμόστηκε πίεση όσο το αστάρι ήταν υγρό και έτσι μειώθηκε το συνολικό πάχος.



Εικόνα 17. Φύλλο πολυαιθυλενίου (PE) που χρησιμοποιήθηκε ως θερμοπλαστική επένδυση της επιφάνειας του χάλυβα μετά την αντιδιαβρωτική επίστρωση: χωρίς μεγέθυνση (α), υπό μεγέθυνση X50 (β), υπό μεγέθυνση X100 (γ).

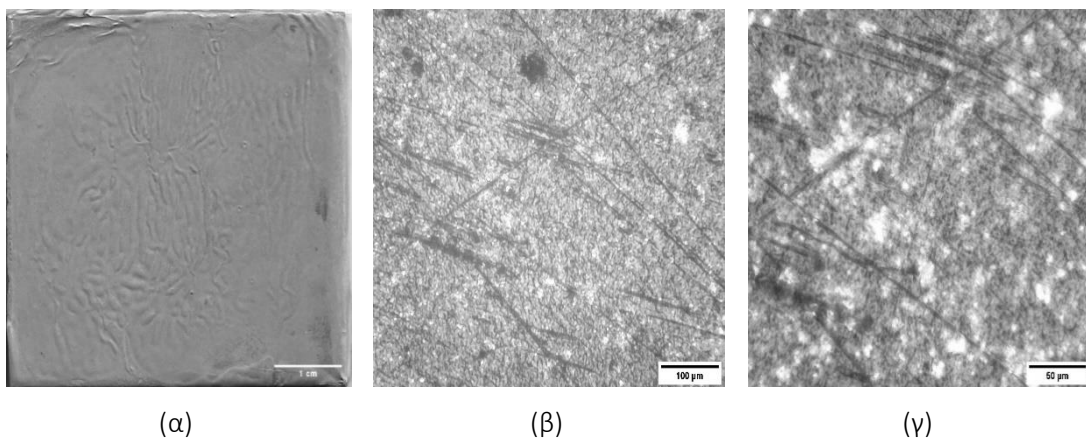
Στην εικόνα 18 φαίνεται το δοκίμιο Νο 2, μετά το πέρας της κατεργασίας.



Εικόνα 18. Δοκίμιο Νο 2 μετά την εφαρμογή των αντιδιαβρωτικής επίστρωσης και θερμοπλαστικής επένδυσης, όπως περιγράφεται στο κείμενο.

Η σκληρότητα της επικάλυψης μετρήθηκε με τη μέθοδο *Vickers*, (με φορτίο 30 *Kgf*) και βρέθηκε να είναι μειωμένη κατά 84% σε σχέση με τη σκληρότητα του χαλύβδινου λειασμένου δοκιμίου (18 Kgf/mm^2 έναντι 110 Kgf/mm^2 της αρχικής).

Η επιφάνεια του δοκιμίου μετά την εφαρμογή της αντιδιαβρωτικής επίστρωσης και την εφαρμογή της θερμοπλαστικής επένδυσης, φαίνεται σε διαφορετικές μεγεθύνσεις στην εικόνα 19. Το φύλλο της θερμοπλαστικής επένδυσης σχηματίζει ένα συμπαγές αδιαπέραστο από την υγρασία στρώμα με καλή πρόσφυση στην αντιδιαβρωτική επίστρωση.



Εικόνα 19. Θερμοπλαστική επένδυση αντιδιαβρωτικής επίστρωσης σε χαλύβδινη επιφάνεια: χωρίς μεγέθυνση (α), υπό μεγέθυνση X50 (β), υπό μεγέθυνση X100. Η εφαρμογή της επένδυσης έγινε πάνω σε υγρή αντιδιαβρωτική επίστρωση.

Δοκίμιο Νο 3.

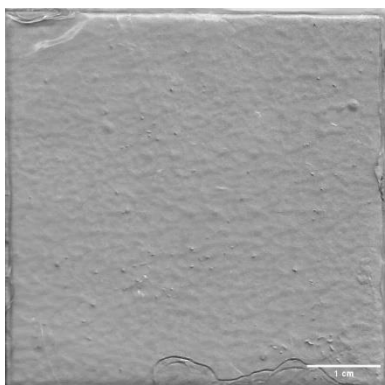
Στο δοκίμιο αυτό εφαρμόστηκε μετά τη λείανση επίστρωση από υγρό *Teflon* απευθείας στη μεταλλική επιφάνεια και στη συνέχεια πάνω στο υγρό *Teflon* εφαρμόστηκε φύλλο *PE*. Το δοκίμιο αφέθηκε να στεγνώσει σε συνθήκες περιβάλλοντος, ωστόσο μετά την πάροδο 1 εβδομάδας δεν επετεύχθη πλήρης ξήρανση

ούτε δημιουργήθηκε καλή πρόσφυση μεταξύ των υλικών και της επιφάνειας. Επομένως, η συγκεκριμένη μέθοδος δεν έδωσε το αναμενόμενο αποτέλεσμα.

Δοκίμιο Νο 4.

Στο δοκίμιο αυτό εφαρμόστηκε αντιδιαβρωτική επίστρωση (αστάρι) όπως και στο δοκίμιο Νο 1 και μετά την τελική ξήρανση τοποθετήθηκε φύλλο πολυαιθυλενίου στην επιστρωμένη επιφάνεια του μετάλλου, το οποίο συγκολλήθηκε με ραφές θερμοκόλλησης στα άκρα. Επειδή δε χρησιμοποιήθηκε κάποιο υλικό ενδιάμεσα για να δημιουργηθεί πρόσφυση, υπήρχε εγκλωβισμένο στρώμα αέρα ανάμεσα στη ξηρή μεμβράνη της επίστρωσης και το φύλλο της θερμοπλαστικής επένδυσης. Το συνολικό πάχος επίστρωσης και επένδυσης βρέθηκε κατά μέσο όρο 0.170 mm ($170\text{ }\mu\text{m}$).

Το αποτέλεσμα της συγκόλλησης της θερμοπλαστικής επένδυσης στην επιφάνεια του χαλύβδινου δοκιμίου μετά τη ξήρανση της αντιδιαβρωτικής επίστρωσης φαίνεται στην εικόνα 20.



Εικόνα 20. Θερμοπλαστική επένδυση αντιδιαβρωτικής επίστρωσης σε χαλύβδινη επιφάνεια. Η εφαρμογή της επένδυσης έγινε με συγκόλληση σε στεγνή αντιδιαβρωτική επίστρωση. Διακρίνονται οι ραφές της συγκόλλησης στα άκρα της μεταλλικής επιφάνειας.

5.4 Προτάσεις αντιδιαβρωτικής προστασίας για τη συντήρηση της δεξαμενής του εργαστηρίου

Προτείνονται τρία διαφορετικά σενάρια, που συνδυάζουν αποδοτικότητα και μακροχρόνια προστασία, για τη συντήρηση της δεξαμενής.

Πρόταση 1.

Λόγω της πολύ καλής κατάστασης στην οποία βρίσκεται η δεξαμενή του τμήματος μετά την πάροδο 12 ετών, μια πολύ καλή λύση είναι να γίνει ανανέωση της ήδη υπάρχουσας αντιδιαβρωτικής προστασίας, δηλαδή να εφαρμοσθεί πάλι εποξειδικό χρώμα. Ωστόσο, για βέλτιστα αποτελέσματα απαιτείται να προηγηθεί απομάκρυνση

της παλιάς επίστρωσης, καθαρισμός και προετοιμασία της χαλύβδινης επιφάνειας, να εφαρμοστεί αντιδιαβρωτική επίστρωση (αστάρι) και έπειτα το εποξειδικό χρώμα να εφαρμοστεί με πιστόλι εκνέφωσης. Το πιστόλι αυτό παρέχει λεία και ομαλή βαφή σε όλη την επιφάνεια και ελάχιστο πάχος φιλμ 300 μm .

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλές μηχανικές ιδιότητες.
- Υψηλή αντοχή σε χημικά.
- Ευκολότερη εφαρμογή - δεν απαιτείται υψηλά εκπαιδευμένος τεχνικός.
- Μεγάλη ποικιλία επιλογών τόσο σε αποχρώσεις όσο και συνδυασμό συστατικών.
- Μικρό κόστος χρωμάτων.
- Ποικιλία μεθόδων εφαρμογής.

Μειονεκτήματα:

- Περιέχουν πτητικές οργανικές ενώσεις (κάποιοι συνδυασμοί ωστόσο δεν έχουν, π.χ εποξειδικά επιστρώματα χωρίς διαλύτες).
- Εάν δεν εφαρμοστεί σωστά η επίστρωση θα εμφανιστούν τοπικές αστοχίες που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα, ειδικά εφόσον δε χρησιμοποιηθεί πιστόλι εκνέφωσης για την εφαρμογή.
- Απαραίτητη κρίνεται η συντήρηση, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή των υλικών επίστρωσης, προκειμένου να εξασφαλιστεί η αντοχή στο χρόνο.
- Κάποιοι συνδυασμοί εποξειδικού επιστρώματος υποβαθμίζονται εάν εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία.

Πρόταση 2.

Στην περίπτωση αυτή, προκειμένου να συνδυαστεί υψηλή προστασία και χαμηλό κόστος, προτείνεται η εφαρμογή εποξειδικού χρώματος μόνο στο εξωτερικό της δεξαμενής και στο εσωτερικό επένδυση θερμοπλαστικών φύλλων πολυαιθυλενίου.

Πλεονεκτήματα:

- Δεν περιέχουν καθόλου πτητικές οργανικές ενώσεις.
- Υψηλές μηχανικές ιδιότητες.
- Υψηλή αντοχή σε χημικά.
- Λεία επιφάνεια – δεν προσκολλώνται εύκολα μικροοργανισμοί και δεν υπάρχει τόση τριβή.
- Ηλεκτρική μόνωση.
- Αντίσταση σε καιρικές συνθήκες – δεν υποβαθμίζεται εάν εκτεθεί στον ήλιο.
- Σε σχέση με άλλα θερμοπλαστικά πιο οικονομικό.
- Πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής (εγγύηση 10 ετών).

Μειονεκτήματα:

- Υψηλότερο κόστος σε σύγκριση με το εποξειδικό χρώμα.
- Απαραίτητη υψηλή εμπειρία τεχνικού.
- Απαραίτητη η χρήση θερμικών συγκολλητικών εργαλείων.
- Το κομμάτι που θα επενδυθεί, προτιμάται να είναι λείο και χωρίς εμπόδια προκειμένου να μην υπάρχουν δυσκολίες στις συγκολλήσεις μεταξύ των φύλλων.

Η μέθοδος αυτή εγγυάται αντιδιαβρωτική προστασία του εσωτερικού της δεξαμενής για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 10 ετών. Ο χρόνος αυτός μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερος εφόσον η θερμοπλαστική επένδυση διατηρηθεί σε καλή κατάσταση και δεν υποστεί ρωγμές λόγω γήρανσης, μηχανικής καταπόνησης ή χτυπημάτων.

Πρόταση 3.

Στην περίπτωση αυτή προτείνεται η τοποθέτηση ενισχυμένου πλαστικού στο εσωτερικό της δεξαμενής, που ουσιαστικά θα είναι σαν ένα ενιαίο πρόσθετο τμήμα που θα εφαρμοστεί πάνω στη μεταλλική επιφάνεια εντός της δεξαμενής. Με τον τρόπο αυτό θα απομονώνονται οι μεταλλικές επιφάνειες από το νερό που περιέχεται. Εξωτερικά ενδείκνυται η επιστροφή εποξειδικού χρώματος. Είναι πολύ σημαντικό να επιλεγεί η κατάλληλη ρητίνη για να αποφευχθούν φαινόμενα ώσμωσης.

Τα ενισχυμένα πλαστικά, είτε αυτά είναι θερμοσκληρυνόμενης είτε θερμοπλαστικής ρητίνης, έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

Πλεονεκτήματα:

- Καλή μηχανική αντοχή.
- Υψηλή αντοχή στη διάβρωση και τις χημικές ουσίες.
- Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα.
- Υψηλή διηλεκτρική αντοχή.
- Υψηλή αντοχή στην τριβή.
- Σταθερότητα διαστάσεων.
- Υψηλή σκληρότητα και ακαμψία.
- Αντοχή στην κόπωση.
- Μικρό ειδικό βάρος.
- Ευκολία στην κατασκευή, μορφοποίηση και χειρισμό.
- Αντοχή στις καιρικές συνθήκες.
- Αντοχή στο χρόνο.
- Εξαιρετική αναλογία αντοχής προς βάρος.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό αρχικό κόστος.
- Χαμηλή αντοχή σε ερπυσμό.
- Χαμηλή αντοχή σε ορισμένους παράγοντες περιβαλλοντικής υποβάθμισης (αλκαλική προσβολή, έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία, απορρόφηση υγρασίας κ.λπ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα

Οι τύποι των δεξαμενών που συναντώνται στα πλοία είναι πολλοί και ποικίλοι. Επιπλέον, διάφοροι τύποι στατικών δεξαμενών χρησιμοποιούνται στα ναυπηγεία και στις παράκτιες ναυπηγικές κατασκευές. Κοινό χαρακτηριστικό όλων είναι ότι βρίσκονται εκτεθειμένες σε διαβρωτικό περιβάλλον, το οποίο διαφοροποιείται ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας και του περιεχομένου. Όλες οι δεξαμενές επομένως πρέπει να λαμβάνουν τη σωστή φροντίδα για να αντέξουν στο χρόνο, κυρίως στη περίπτωση δεξαμενών όπως είναι οι δεξαμενές έρματος, που είναι πολύ σημαντικές για τη λειτουργία του πλοίου. Οι μεταλλικές επιφάνειες των δεξαμενών αυτών λόγω των συνεχών εναλλαγών ερματισμού, των υψηλών επιπέδων υγρασίας και των υψηλών θερμοκρασιών, επιδέχονται διάβρωση με μεγαλύτερο ρυθμό από ότι σε κάποια άλλη δεξαμενή. Μοναδική εξαίρεση, αποτελεί η δεξαμενή λυμάτων των πλοίων που εμφανίζει εξίσου υψηλό ρυθμό διάβρωσης.

Μέχρι σήμερα, τόσο στις δεξαμενές όσο και στην υπόλοιπη κατασκευή, εφαρμόζονται κατά κύριο λόγο συστήματα επικαλύψεων διαφόρων τύπων εποξειδικών πολυμερών. Συγκεκριμένα στις δεξαμενές έρματος εφαρμόζονται εποξειδικές επιστρώσεις σε συνδυασμό με καθοδική προστασία. Μια καλώς εφαρμοσμένη επιστρωση αυτού του τύπου, παρέχει στη δεξαμενή ικανοποιητική προστασία για τουλάχιστον 15 έτη. Δεδομένου ότι οι δεξαμενές έρματος δεν είναι εύκολα προσβάσιμες και ότι η συντήρησή τους είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και χρονοβόρα, είναι σημαντικό να εφαρμόζονται συστήματα αντιδιαβρωτικής προστασίας που θα παρέχουν τη μέγιστη δυνατή προστασία τόσο σε βάθος χρόνου όσο και σε ποιότητα.

Οι εποξειδικές επιστρώσεις είναι αποδεδειγμένα αξιόπιστες και μάλιστα χωρίς να έχουν υψηλό κόστος. Έχουν ωστόσο ως μειονέκτημα, η ξηρή μεμβράνη που σχηματίζουν να έχει μειωμένη ελαστικότητα λόγω της μοριακής τους δομής. Οι εποξειδικές επιστρώσεις εμφανίζουν επίσης προβλήματα από τη διείσδυση θαλασσινού νερού λόγω του φαινομένου της ώσμωσης. Σε εξελιγμένους τύπους εποξειδικών επιστρώσεων, τα προβλήματα αυτά εμφανίζονται σε μικρότερο βαθμό, αλλά δεν έχουν εξαλειφθεί τελείως. Οι εξελιγμένοι αυτοί τύποι είναι τα εποξειδικά χωρίς διαλύτη και τα εποξειδικά που είναι ενισχυμένα με ίνες. Με εξαίρεση τα εποξειδικά χωρίς διαλύτη, οι υπόλοιποι τύποι εποξειδικών επιστρώσεων έχουν επίσης το χαρακτηριστικό να απελευθερώνουν πτητικές οργανικές ενώσεις κατά την εφαρμογή τους. Ο περιορισμός των πτητικών οργανικών ενώσεων είναι σημαντικό θέμα, διότι εάν δεν ελεγχθεί θα υπάρξουν σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες. Τέλος, ένα ακόμη μειονέκτημα είναι πως οι εποξειδικές επιστρώσεις για να εφαρμοσθούν χρειάζεται να υπάρχουν καθορισμένες συνθήκες (π.χ θερμοκρασία).

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική εξέλιξη στη τεχνολογία θερμοπλαστικών επικαλυπτικών, τα οποία στις ναυπηγικές κατασκευές δε χρησιμοποιούνται ακόμα σε μεγάλο βαθμό. Εξαίρεση αποτελούν ορισμένες περιπτώσεις όπως π.χ επικαλύψεις σωληνώσεων. Κατά κύριο λόγο αυτό οφείλεται στο υψηλότερο κόστος από αυτό που έχουν οι εποξειδικές επιστρώσεις. Οι θερμοπλαστικές

επικαλύψεις μπορούν να εφαρμοστούν όπως τα κοινά ναυτιλιακά χρώματα ή σε φύλλα που ουσιαστικά επικαλύπτουν και σφραγίζουν την επιφάνεια που πρέπει να προστατευτεί, απομονώνοντάς την έτσι από το διαβρωτικό περιβάλλον.

Τα πλεονεκτήματα των επιστρώσεων και επικαλύψεων αυτού του είδους είναι σημαντικά, καθώς προσδίδουν ελαστικότητα, παρέχουν αντοχή η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις υπερτερεί αυτής που παρέχουν οι εποξειδικές επιστρώσεις. Επίσης, δεν περιέχουν πτητικές οργανικές ενώσεις και μπορούν να εφαρμοσθούν σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών και συνθηκών από αυτό των εποξειδικών, πράγμα που σημαίνει πως είναι πιο γρήγορη η διαδικασία εφαρμογής τους. Μειονεκτήματα αποτελούν το υψηλό κόστος, το γεγονός πως απαιτείται εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό και εργαλεία για να εφαρμοσθούν, το ότι είναι πιο ευαίσθητα στις υψηλές θερμοκρασίες και στην περίπτωση των θερμοπλαστικών φύλλων υπάρχει δυσκολία στην εφαρμογή τους εάν η δεξαμενή ή το κατασκευαστικό στοιχείο έχει πολύπλοκη γεωμετρία.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι οι θερμοπλαστικές επιστρώσεις μπορούν να προσφέρουν καλύτερη προστασία από τις εποξειδικές. Το κόστος μπορεί να αντισταθμιστεί με την παρεχόμενη ποιότητα προστασίας και επιπλέον είναι πάντα εφικτός ο συνδυασμός συστημάτων προστασίας προκειμένου να επιτυγχάνεται και μέγιστη δυνατή προστασία και οικονομία στις δαπάνες.

Σε ό,τι αφορά το πειραματικό μέρος, η δεξαμενή του τμήματος εκτιμάται ότι βρίσκεται σε πολύ καλή κατάσταση, όσον αφορά φθορές και διάβρωση και αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο σύστημα προστασίας που εφαρμόστηκε κατά την κατασκευή, στις συνθήκες λειτουργίας και στις περιοδικές εργασίες/ενέργειες καθαρισμού της. Επομένως, σε μελλοντική συντήρηση της θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αντίστοιχο σύστημα προστασίας με εποξειδικό χρώμα δύο συστατικών. Ο συνδυασμός θερμοπλαστικών φύλλων επένδυσης στο εσωτερικό και εποξειδικής επίστρωσης στο εξωτερικό θεωρείται ότι αποτελεί την καλύτερη δυνατή λύση και προτείνεται για την καλύτερη συντήρηση και λειτουργία της δεξαμενής σε βάθος χρόνου, πέραν της δεκαετίας.

Βιβλιογραφία

1. Huang Y., Zhang J.; (eds.) ‘Materials Corrosion and Protection’, Shanghai Jiao Tong University Press, DE GRUYTER, 2018.
2. Καρύδης Π.; ‘Επιθεώρηση, Συντήρηση & Επισκευή της Μεταλλικής Κατασκευής του Πλοίου’, 2^η εκδ., Αθήνα, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2002.
3. Wankhede A.; ‘List of Important and Not-So-Famous Tanks on a Ship’, Marine Insight, 2019.
[Online] Available from:
[https://www.marineinsight.com/tech/list-of-important-and-not-so-famous-tanks-on-a-ship/?fbclid=IwAR2CldxndrXGQdjBkkTxfiBo4ccGyAKr-1wlI4_5by07ITwg-z0Tipj9j0U#:~:text=Slop%20tanks%20are%20present%20onboard,\(DWT\)%20of%20the%20vessel.&text=Located%20in%20engine%20room%2C%20this,or%20lube%20oil%20through%20purifiers](https://www.marineinsight.com/tech/list-of-important-and-not-so-famous-tanks-on-a-ship/?fbclid=IwAR2CldxndrXGQdjBkkTxfiBo4ccGyAKr-1wlI4_5by07ITwg-z0Tipj9j0U#:~:text=Slop%20tanks%20are%20present%20onboard,(DWT)%20of%20the%20vessel.&text=Located%20in%20engine%20room%2C%20this,or%20lube%20oil%20through%20purifiers)
[Accessed 17 February 2021]
4. DNV; ‘Rules for Classification of Floating Docks’, 2012.
[Online] Available from:
https://www.academia.edu/6536135/DNV_Rules_for_Floating_Docks?auto=download
[Accessed 17 February 2021]
5. ABS; ‘Rules for Building and Classing Steel Floating Dry Docks’, 2019
[Online] Available from:
https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/special_service/11-steel-floating-drydocks/dry-dock-rules-jan-19.pdf
[Accessed 17 February 2021]
6. ABS, ‘Rule Requirements for Materials and Welding’, PART 2, 2003.
[Online] Available from:
https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/archives/conventional_ocean_service/2_steelvesselrules2003/part_2.pdf
[Accessed 17 February 2021]
7. Jirapure S.C., Borade A.B; ‘Naval Corrosion-Causes and Prevention’, International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, **3**(7), 263-268, 2014.
[Online] Available from:
https://www.academia.edu/7875840/Naval_Corrosion_Causes_and_Prevention
[Accessed 17 February 2021]
8. ISO 8044; ‘Corrosion of Metals and Alloys’, 2020.
[Online] Available on:
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8044:ed-5:v1:en>
[Accessed 17 February 2021]
9. Δ.Ι Παντελής, Τσιούρβα Θ.; ‘Διάβρωση και Προστασία Ναυπηγικών Κατασκευών’, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ε.Μ.Π 2006.
10. ISO 12944:2018; Paints and Varnishes – Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems.

11. IACS; ‘Guidelines for Coating Maintenance & Repairs for Ballast Tanks and Combined Cargo/Ballast Tanks on Oil Tankers’, June 2004/Rev.2 2015
12. Kraus B.; ‘Pontoon Deck Preservation for Floating Dry Docks’, 48-49, 2016.
[Online] Available from:
https://ceram-kote.com/downloads/Marine_News_Pontoon_Deck_4.16.pdf?fbclid=IwAR37qeHmI
[Accessed 17 February 2021]
13. DNV-RP-B101; ‘Corrosion Protection of Floating Production and Storage Units’, July 2015
[Online] Available from:
<https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/dnvgl/RP/2015-07/DNVGL-RP-B101.pdf>
[Accessed 17 February 2021]
14. DNV-RP-C302; ‘Risk Based Corrosion Management’, July 2015.
[Online] Available from:
<https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RP/2015-07/DNVGL-RP-C302.pdf>
[Accessed 17 February 2021]
15. Epoxy Resin Committee; ‘Epoxy Resins in Marine Coatings’, July 2015.
[Online] Available from:
https://www.epoxy-europe.eu/wp-content/uploads/2016/09/epoxy_erc_bpa_whitepapers_-_marine_coatings.pdf?fbclid=IwAR0y4If5xwcajGBx0Kkq1sZ-1ZbDuJI5PLWxucbuUmyaXBjVdA73A5f43L
[Accessed 17 February 2021]
16. ABS; ‘Guidance Notes on the Inspection, Maintenance and Application of Marine Coating Systems’, 3rd Ed., 2007.
[Online] Available from:
https://maddenmaritime.files.wordpress.com/2015/06/abs-guidance-notes-on-coatings-pub49_coatingsnov07.pdf
[Accessed 17 February 2021]
17. World Centre for Materials Joining Technology; ‘Painting Inspection Grade 3/2 (ATC88)’, Ch.4, p. 3, 2004.
18. Amin S., Amin M.; ‘Thermoplastic Elastomeric (TPE) Materials and Their Use in Outdoor Electrical Insulation’, Rev. Adv. Mater. Sci., **29**, 15-30, 2011.
19. NACE International; ‘Coating Inspector Program Level 2’, Student Manual, January 2014.
20. Liberto N.; ‘Powder Coatings: Not Your Run of the Mill Coating’, Powder Coating Consultants Division of Ninan, p. 84-93.
[Online] Available from:
<http://www.powdercc.com/pdf/Powder%20Coatings%20-%20Not%20Your%20Run%20of%20the%20Mill%20Coating.pdf>
[Accessed 17 February 2021]
21. Turner S. L., Baskir J. N., Nunez C. M.; ‘Powder Coatings: A Technology Review’, United States Environmental Protection Agency, 03/01/1999.
[Online] Available from:

- https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=90494
[Accessed 17 February 2021]
22. Hester C. I., Nicholson R. L.; ‘Powder Coatings Technology Update’, CTC, 1989
[Online] Available from:
<https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2016-01/documents/powdercoatingstechupdate.pdf>
[Accessed 17 February 2021]
23. PPG Industries; ‘Architectural Applications for Liquid and Powder Fluoropolymer Coatings- An Objective Review (CX004)’.
[Online] Available from:
https://www.paintsquare.com/education/branding_images/moffatt_upload.pdf?fbclid=IwAR3iVeRRCFnH2JftuFCFn70M3oDxbtI2HC1J3GcuBX-KR5d2QteBZEn3iRE
[Accessed 17 February 2021]
24. HEXPOL[®] TPE; ‘Product, Processing & Company Guides’, 2020.
[Online] Available from:
https://www.hexpol.com/tpe/resources/downloads/?jet-smart-filters=jet-engine/downloads&tax_query_types-filter-documents=283
[Accessed 17 February 2021]
25. D&M Plastics Inc.; ‘Polyethylene’.
[Online] Available from:
<http://www.plasticmoulding.ca/polymers/polyethylene.htm>
[Accessed 17 February 2021]
26. Tice P.; ‘Packaging Materials 4: Polyethylene for Food Packaging Applications’, ILSI, 2003.
[Online] Available from:
<https://ilsi.eu/publication/packaging-materials-4-polyethylene-for-food-packaging-applications/>
[Accessed 17 February 2021]
27. WS Hampshire Inc.; ‘Polyethylene’, IAPD.
[Online] Available from:
http://catalog.wshampshire.com/Asset/psg_uhmw_polyethylene.pdf
[Accessed 17 February 2021]
28. DHF; ‘Polyethylene Lined Steel Pipe’.
[Online] Available from:
http://www.dhf.co.jp/eng/catalog/pdf/dhf_lining.pdf
[Accessed 17 February 2021]
29. Farrell R., Akzo N.; ‘Coating materials Powder Coatings’, 100-107.
[Online] Available from:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0026057610802193>
[Accessed 17 February 2021]
30. PESTEC; ‘AFS HDPE Powder Coating’.
[Online] Available from:
<https://www.pes-tec.com/images/pestec-docs/products/PR-731-AFS-HDPE-Powder->

- [Coating/DS/DS-731-AFS-HDPE-Powder-Coating.pdf](#)
[Accessed 17 February 2021]
- 31.** How Wei Bin; ‘Tacticity and Crystallinity: Some Things Can be Arranged’, 2018.
[Online] Available from:
<https://blogs.ntu.edu.sg/cy1101-1819s1-g09/2018/10/tacticity-and-crystallinity/>
[Accessed 17 February 2021]
- 32.** Hindle C.; ‘Polypropylene (PP)’, BPF.
[Online] Available from:
<https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/pp.aspx>
[Accessed 17 February 2021]
- 33.** Hasegawa S., Iwasaki K., Yoshiyama R., Tasaka Y., Nishikawa T.; ‘Development of New Polypropylene Lining’, **32**, 29-32, 1995.
[Online] Available from:
<http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e321/e321029.pdf>
[Accessed 17 February 2021]
- 34.** a) ENGIPLAS; ‘Lined Pipes & Fittings ANSI Standard’.
[Online] Available from:
http://www.engiplas.com/Portals/default/Skins/Engiplas-Heb/docs/pdf/engiplas_new2.pdf
[Accessed 17 February 2021]
b) SGL carbon; ‘Polyfluron® PTFE Lined Steel Pipes and Fittings ASME’.
[Online] Available from:
<https://www.sglcarbon.com/pdf/SGL-Information-Sheet-POLYFLURON-PTFE-Pipes-EN.pdf>
[Accessed 17 February 2021]
- 35.** Laurence W. McKeen; ‘Handbook of Polymer Applications in Medicine and Medical Devices’, 2014.
[Online] Available from:
<https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/polyvinyl-chloride>
[Accessed 17 February 2021]
- 36.** Pelissier K., Thierry D.; ‘Powder and High-Solid Coatings as Anticorrosive Solutions for Marine and Offshore Applications? A Review’, MDPI, 2020.
- 37.** Goad C.; ‘Improving the Life of Tanks and Liners’.
[Online] Available from:
<https://goadco.com/wp-content/uploads/2017/07/Products-Finishing-Tanks-Article-2.pdf>
[Accessed 17 February 2021]
- 38.** Hebei Kanglian Road Traffic Safety Facilities Co., ‘PVC Powder for Superior Corrosion Protection’.
[Online] Available from:
<https://www.polyethylenepowder.com/polyethylenepowder/thermoplastic-pvc-powder.html>
[Accessed 17 February 2021]
- 39.** Tator K.B; ‘Polyvinylidene Fluoride-Based Coatings Technology’, 81-87, ASM International.
[Online] Available from:

- <https://www.rai-technical-solutions.com/pdf/Polyvinylidene%20Fluoride-Based%20Coatings%20Technology.pdf>
[Accessed 17 February 2021]
40. WS Hampshire Inc.; ‘Teflon’, IAPD.
[Online] Available from:
http://catalog.wshampshire.com/Asset/psg_teflon_ptfe.pdf
[Accessed 17 February 2021]
41. ALLPLASTICS; ‘PVDF Material Properties Data Sheet’.
[Online] Available from:
<https://www.allplastics.com.au/>
[Accessed 17 February 2021]
42. EUROPEAN PATENT APPLICATION
[Online] Available from:
<https://data.epo.org/publication-server/pdf-document?cc=EP&pn=2842997&ki=A1>
[Accessed 17 February 2021]
43. Lotz M.; ‘PFA – Linings for Avoidance of Dewpoint Corrosion in Heat – Exchangers and Ducts of Waste – Incineration Power Plants’, 77, WIT Press.
[Online] Available from:
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.735.7886&rep=rep1&type=pdf>
[Accessed 17 February 2021]
44. TIGER Drylac®; ‘PVDF Powder Coatings vs. PVDF Liquid Coatings’.
[Online] Available from:
<http://www.pc-quality.com.my/wp-content/uploads/2014/03/PDVF-powder-coating.pdf>
[Accessed 17 February 2021]
45. McDaniel G., Knight C.; ‘Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites’.
[Online] Available from:
<https://www.fdot.gov/docs/default-source/design/training/designexpo/2014/presentations/GevinMcDaniel-FRP-Composites.pdf>
[Accessed 17 February 2021]
46. Rubino F., Nistico A., Tucci F., Carlone P.; ‘Marine Application of Fiber Reinforced Composites: A Review’, 8, 2-28, MDPI, 2020.
47. Weber W.; ‘Glass Reinforced Plastics in Structural and Corrosive Resistant Applications’.
[Online] Available from:
<http://www.saimm.co.za/Conferences/CompositeMaterials/016-Weber.pdf>
[Accessed 17 February 2021]
48. Suigeneris; ‘Tank Lining Service’, 2018.
[Online] Available from:
<https://www.suigeneris.co.uk/pdfs/sui-generis-tank-linings.pdf>
[Accessed 17 February 2021]

- 49.** DNVGL-RP-B101; ‘Corrosion Protection of Floating Production and Storage Units’, 2015.
[Online] Available from:
<https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/dnvgl/RP/2015-07/DNVGL-RP-B101.pdf>
[Accessed 17 February 2021]
- 50.** CCS; ‘Rules for Classification of Floating Docks’, 2009.
- 51.** HEGER DRY DOCK INC.; ‘Dockmaster Training Manual’, 2018.
[Online] Available from:
http://www.hegerdrydock.com/dockmaster_training_manual.pdf
[Accessed 17 February 2021]
- 52.** Chemco; ‘Comprehensive Guide to Marine Maintenance and Repair Using Solvent – Free, Wet & Rust Tolerant Systems’, 2019.
- 53.** Eaton P.; ‘Onboard Maintenance Painting Guide’, 2017
[Online] Available from:
<https://silo.tips/download/onboard-maintenance-painting-guidedf>
[Accessed 17 February 2021]
- 54.** Rhinoceros modelling tools for designers, Version 5 SR13 64-bit (5.13.60913.21340, 13/9/2016).