



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

# Οργανικές Επικαλύψεις Δεξαμενών Έρματος

Επιβλέπων: Δ.Ι. Παντελής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2008

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Οργανικές επικαλύψεις δεξαμενών έρματος» εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Ναυπηγικής Τεχνολογίας της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα, κ. Δ. Ι. Παντελή, Καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, για την ανάθεση αυτού του ενδιαφέροντος θέματος και για την πολύτιμη βοήθειά του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας όπως επίσης τον κ. Β. Παπάζογλου, Καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών και τον κ. Ν. Τσούβαλη, Αναπλ. Καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών για τη συμμετοχή τους στην 3μελή Επιτροπή Εξέτασης. Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Γ. Ζαραφωνίτη, Επικ. Καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, για τη συμβολή του στην πρώτη επαφή με τους Νηογνώμονες.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κ. Θ. Τσιούρβα, Χημικό Μηχανικό, μέλος του επιστημονικού προσωπικού του Εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας για την πολύτιμη βοήθειά της κατά τη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ, τον κ. Γ. Καζατζή από το Νηογνώμονα DNV, για τη βιβλιογραφία που μου παρείχε και τις πολύτιμες υποδείξεις που μου έκανε, καθώς και τους ναυπηγούς των Νηογνωμόνων ABS και BV για την όλη βοήθεια που προσέφεραν.

Ευχαριστώ επίσης τους εμπορικούς εκπροσώπους και χημικούς μηχανικούς των εταιριών επικαλυπτικών (International Marine Coatings, Jotun, Sigma Coatings, Chugoku και Hempel) για τις πληροφορίες και τη βιβλιογραφία, και τον κ. Χ. Β. Γεωργουσόπουλο, Ναυπηγό της Επιθεώρησης Εμπορικών Πλοίων, για τη συνδρομή του σε θέματα κανονισμών του IMO.

Τέλος, θα ήθελα να κάνω ιδιαίτερη μνεία στην οικογένειά μου, για την αμέριστη συμπαράστασή της, τόσο κατά τη διάρκεια της διπλωματικής αυτής εργασίας, όσο και καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Πολυτεχνείο.

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>vii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>viii</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Διάβρωση και προστασία ναυπηγικών κατασκευών</b> .....	<b>1</b>
1.1 – Το θαλάσσιο περιβάλλον και οι παράμετροι της διάβρωσης.....	1
1.1.1 – Γενικά στοιχεία.....	1
1.1.2 – Θαλασσινό νερό.....	4
1.1.3 – Θερμοκρασία.....	5
1.1.4 – Διαλυμένα αέρια – Οξυγόνο.....	5
1.1.5 – Ταχύτητα κίνησης του διαβρωτικού περιβάλλοντος.....	6
1.1.6 – Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	7
1.1.7 – pH θαλασσινού νερού.....	7
1.1.8 – Ρύπανση – Βιολογικό φορτίο.....	8
1.2 – Είδη διάβρωσης στις ναυπηγικές κατασκευές.....	8
1.3 – Μέθοδοι προστασίας από τη διάβρωση.....	9
1.3.1 – Γενικά.....	9
1.3.2 – Οργανικές επικαλύψεις.....	10
1.3.2.1 – Το σύστημα προστασίας των οργανικών επικαλύψεων.....	10
1.3.2.2 – Τα βασικά συστατικά των οργανικών επικαλύψεων.....	13
1.3.2.3 – Κατηγορίες οργανικών επικαλυπτικών.....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Διάβρωση δεξαμενών έρματος</b> .....	<b>25</b>
2.1 – Εισαγωγή.....	25
2.1.1 – Παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό διάβρωσης στις δεξαμενές έρματος.....	25
2.2 – Συνήθεις μορφές διάβρωσης στις δεξαμενές έρματος.....	27
2.2.1 – Γενική διάβρωση ( <i>General corrosion</i> ).....	27
2.2.2 – Γαλβανική διάβρωση ( <i>Galvanic corrosion</i> ).....	29
2.2.3 – Διάβρωση με βελονισμούς ( <i>Pitting corrosion</i> ).....	30
2.2.4 – Διάβρωση χαραγής ( <i>Crevice corrosion</i> ).....	31
2.2.5 – Ρωγμάτωση από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση ( <i>Stress corrosion cracking</i> ).....	31
2.2.6 – Διάβρωση με κόπωση ( <i>Fatigue corrosion</i> ).....	32
2.2.7 – Βιολογική διάβρωση ( <i>Bacterial corrosion</i> ).....	33
2.3 – Άλλα φαινόμενα που ευνοούν τη διάβρωση στις δεξαμενές έρματος.....	34
2.3.1 – Ανόδια στις δεξαμενές έρματος.....	34
2.3.2 – Επίδραση μεθόδων καθαρισμού έρματος από παθογόνους οργανισμούς στη διάβρωση.....	34
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Επικαλύψεις για δεξαμενές έρματος</b> .....	<b>36</b>
3.1 – Αστάρια προκατασκευής για δεξαμενές έρματος.....	36
3.1.1 – Εισαγωγή στα αστάρια προκατασκευής.....	36
3.1.2 – Σύγχρονη, αυτοματοποιημένη διαδικασία προκαταρκτικής επικάλυψης... ..	36
3.1.3 – Ιδιότητες και απαιτήσεις για τα αστάρια προκατασκευής.....	39
3.1.4 – Τύποι ασταριών προκατασκευής.....	39
3.1.5 – Πιθανές βελτιώσεις ασταριών προκατασκευής.....	40
3.2 – Συνήθη οργανικά επικαλυπτικά.....	41
3.2.1 – Εισαγωγή.....	41

3.2.2 – Εποξειδικά επικαλυπτικά.....	41
3.2.3 – Αμιγή εποξειδικά ( <i>Pure epoxies</i> ).....	44
3.2.4 – Εποξειδικά χωρίς διαλύτες ή με υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά ( <i>Solvent free epoxies, High solids epoxies</i> ).....	44
3.2.5 – Εποξειδικές μαστίχες ( <i>Epoxy mastic</i> ).....	44
3.3 – Εξελιγμένα οργανικά επικαλυπτικά.....	45
3.3.1 – Εποξειδικά με ενίσχυση ινών ( <i>Fibre reinforced epoxy</i> ).....	45
3.3.2 – Φθορίζοντα επικαλυπτικά ( <i>UVF</i> ).....	48
3.3.3 – Επικαλυπτικά άκαμπτου πολυουρεθάνης.....	58
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Τεχνικές εφαρμογής επικαλύψεων.....</b>	<b>70</b>
4.1 – Εισαγωγή.....	70
4.2 – Προετοιμασία της επιφάνειας.....	70
4.2.1 – Πρότυπα ποιότητας μεταλλικής επιφάνειας.....	71
4.2.2 – Εργασίες μεταλλικής κατασκευής για τη βελτίωση της ποιότητας της επιφάνειας.....	74
4.2.3 – Καθαρισμός από άλατα και απολίπανση της επιφάνειας.....	74
4.2.4 – Ψηματοβολή ( <i>abrasive blasting</i> ) – Αμμοβολή ( <i>sand blasting</i> ).....	76
4.2.5 – Υδροβολή ( <i>water blasting</i> ) – Υδροεκτόξευση ( <i>hydro-jetting</i> ).....	80
4.2.6 – Μηχανικός και χειρονακτικός καθαρισμός.....	81
4.2.7 – Παράγοντες επιλογής τεχνικής προετοιμασίας επιφάνειας.....	81
4.2.8 – Επίστρωση με αστάρι.....	83
4.3 – Μέθοδος επικάλυψης επιφανειών.....	84
4.3.1 – Πινέλο.....	84
4.3.2 – Ρολό.....	85
4.3.3 – Ψεκασμός χωρίς ανάμειξη αέρα ( <i>airless spray</i> ).....	85
4.3.4 – Οδηγίες εφαρμογής επικαλυπτικού.....	88
4.4 – Περιβαλλοντικές συνθήκες για την εφαρμογή και τη στερεοποίηση του επικαλυπτικού.....	89
4.4.1 – Θερμοκρασία.....	89
4.4.2 – Υγρασία.....	89
4.4.3 – Εξαερισμός.....	90
4.5 – Συνθήκες αστοχίας και αντιμετώπιση.....	91
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Μηχανισμός δράσης και αστοχίες επικαλυπτικών.....</b>	<b>96</b>
5.1 – Μηχανισμός δράσης επικαλυπτικών.....	96
5.1.1 – Εισαγωγή.....	96
5.1.2 – Αντοχή στην υγρασία.....	96
5.1.3 – Αντοχή στις περιβαλλοντικές συνθήκες.....	99
5.1.4 – Αντοχή στη ρύπανση.....	99
5.1.5 – Αντοχή σε βακτήρια και μύκητες.....	99
5.1.6 – Αντοχή στην καθοδική αποκόλληση.....	99
5.1.7 – Αντοχή στο χρόνο.....	100
5.1.8 – Κατάλληλος χρωματισμός.....	100
5.1.9 – Καλή πρόσφυση στη μεταλλική επιφάνεια.....	100
5.1.10 – Εύκολη εφαρμογή.....	101
5.2 – Αίτια αστοχίας επικαλυπτικών.....	102
5.2.1 – Εισαγωγή.....	102
5.2.2 – Εσωτερική δομή επικάλυψης.....	102

5.2.3 – Θερμοκρασιακή εναλλαγή.....	104
5.2.4 – Μεταβολή υγρασίας.....	104
5.2.5 – Ελαστικές παραμορφώσεις κατασκευής.....	105
5.2.6 – Συμπεράσματα.....	105
5.3 – Συνθήκες περιοχές αστοχίας επικαλυπτικών στις δεξαμενές έρματος.....	105
5.4 – Συσχέτιση εργασιών ναυπηγείου με συγκεκριμένες αστοχίες επικαλυπτικών.....	106
5.5 – Χρονικά στάδια εμφάνισης αστοχιών επικαλυπτικών.....	108
5.5.1 – Α. Κατά την εφαρμογή.....	108
5.5.2 – Β. Κατά τη στερεοποίηση/πολυμερισμό.....	112
5.5.3 – Γ. Κατά τη λειτουργία της κατασκευής.....	113
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Οργάνωση ναυπηγείου για τις επικαλύψεις.....</b>	<b>116</b>
6.1 – Εισαγωγή.....	116
6.2 – Δραστηριότητες πριν την παραγωγή.....	117
6.2.1 – Εκτίμηση απαιτούμενου κεφαλαίου.....	117
6.2.2 – Ακριβής εκτίμηση κόστους.....	118
6.2.3 – Στρατηγική διαδικασίας επίστρωσης.....	118
6.2.4 – Σχεδιασμός – Οργάνωση.....	119
6.2.5 – Αγορά επικαλυπτικών.....	120
6.2.6 – Έλεγχος αποθεμάτων.....	120
6.2.7 – Υγιεινή και ασφάλεια.....	121
6.2.8 – Περιβαλλοντική προστασία και διαχείριση.....	122
6.2.9 – Χρήση υποεργολάβων.....	123
6.3 – Δραστηριότητες κατά την παραγωγή.....	124
6.3.1 – Εργασίες μεταλλικής κατασκευής, τοποθετήσεις τμημάτων και εφαρμογή επικαλύψεων.....	124
6.3.2 – Εκτίμηση αύξησης κόστους λόγω επιδιορθώσεων στις επικαλύψεις.....	125
6.3.3 – Αύξηση ζημίας λόγω καθυστέρησης εργασιών στις επικαλύψεις.....	125
6.4 – Βελτίωση των εργασιών επικάλυψης.....	126
6.4.1 – Τρόποι βελτίωσης.....	126
6.4.2 – Σχεδιασμός κατασκευής.....	126
6.4.3 – Εγκαταστάσεις, εξοπλισμός και τεχνολογία.....	127
6.4.4 – Διαχείριση γραμμής παραγωγής.....	127
6.4.5 – Επιλογή συστήματος επικαλυπτικού.....	128
6.5 – Η πλευρά του πλοιοκτήτη.....	128
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – Πιστοποίηση επικαλυπτικών και το πρότυπο PSPC.....</b>	<b>130</b>
7.1 – Εισαγωγή – Ιστορική εξέλιξη κανονισμών ελέγχου επικαλυπτικών.....	130
7.2 – Το νέο πρότυπο ποιότητας Performance Standard for Protective Coatings ( <i>PSPC</i> ).....	134
7.3 – Πειραματικό σκέλος του προτύπου PSPC.....	137
7.3.1 – Εισαγωγή.....	137
7.3.2 – Πείραμα προσομοίωσης συνθηκών δεξαμενής έρματος.....	137
7.3.3 – Πείραμα σε περιβάλλον αυξημένης υγρασίας.....	140
7.3.4 – Σημειώσεις – Σχόλια.....	141
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – Γενικά συμπεράσματα.....</b>	<b>142</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>145</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των οργανικών επικαλύψεων στις δεξαμενές έρματος πλοίων. Τα τελευταία χρόνια στη ναυπηγική, η προστασία των δεξαμενών έρματος αποτελεί θέμα μείζονος σημασίας. Παράμετροι όπως, η αντοχή των επικαλυπτικών συναρτήσεων του χρόνου ζωής του πλοίου, η εισαγωγή νέων προϊόντων στην αγορά, καθώς και η εφαρμογή νέων κανονισμών που διέπουν την προστασία στις δεξαμενές, έχουν επιφέρει ραγδαίες εξελίξεις σ' αυτόν τον τομέα της ναυπηγικής βιομηχανίας.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη βιβλιογραφική έρευνα στο θέμα των επικαλύψεων. Τα στοιχεία που παρατίθενται προήλθαν κατ'αρχήν από εταιρείες παραγωγής επικαλυπτικών, π.χ. International Marine Coatings, Jotun, Chugoku, Hempel, Sigma Coatings, από τους νηογνώμονες όπως, Det Norske Veritas, American Bureau of Shipping, Bureau Veritas, καθώς και από την Επιθεώρηση Εμπορικών Πλοίων. Επιπρόσθετα, στοιχεία προέκυψαν από τη βιβλιογραφική αναζήτηση σε κανονισμούς (εκδόσεις των IACS, IMO) και σχετικά επιστημονικά άρθρα από περιοδικές εκδόσεις.

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο δίνονται βασικές έννοιες και παράμετροι που αφορούν στη διάβρωση με έμφαση στις ναυπηγικές κατασκευές. Στη συνέχεια (2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο) παρουσιάζονται οι μορφές διάβρωσης που εμφανίζονται στις δεξαμενές έρματος και οι συνθήκες που τις προκαλούν. Ακολουθεί ανάπτυξη των τεχνολογιών των οργανικών επικαλύψεων που χρησιμοποιούνται στις δεξαμενές έρματος και παρουσιάζονται οι περιορισμοί των επικαλυπτικών που χρησιμοποιούνται σήμερα, καθώς και τα πλεονεκτήματα των νέων τύπων επικαλυπτικών που εμφανίζονται στην αγορά (Κεφάλαιο 3). Μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους είναι η τεχνολογία εφαρμογής των επικαλυπτικών, η οποία παρουσιάζεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4. Στο επόμενο Κεφάλαιο (5<sup>ο</sup>), περιγράφεται ο μηχανισμός δράσης των επικαλυπτικών, προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι μορφές αστοχίας τους, τόσο κατά τη φάση της ναυπήγησης, όσο και κατά τη λειτουργία του πλοίου, με έμφαση στο θέμα της μείωσης της ελαστικότητας των σημερινών επικαλυπτικών. Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η συμβολή της προστασίας στο συνολικό κόστος της ναυπήγησης, στο Κεφάλαιο 6 παρέχονται οικονομικά στοιχεία για την οργάνωση και τη διαχείριση της διαδικασίας επικάλυψης. Τέλος, στο Κεφάλαιο 7, παρουσιάζεται η εξέλιξη των κανονισμών που αφορούν στην προστασία των δεξαμενών έρματος που οδήγησε στη θέσπιση του τρέχοντος προτύπου PSPC (*Performance Standard for Protective Coatings*).

## SUMMARY

The aim of this dissertation is the study of organic coatings used in the ballast tanks of ships. Recently, this is of major concern in naval architecture. Some coating parameters, like limited year corrosion performance, the introduction of new types of coatings, as well as new standing regulations referring to tank corrosion protections, all have contributed to tremendous advancement of this shipbuilding industry sector.

Under this dissertation held extensive literature survey on the issue of coatings. Many data came up by literature survey in regulations of organizations such as IACS and IMO and scientific magazine publications. Coating manufacturers (International Marine Coatings, Jotun, Chugoku, Hempel, Sigma Coatings), classification societies such as the Det Norske Veritas, American Bureau of Shipping, Bureau Veritas and the Greek Merchant's Ship Inspection Directorate, were also contacted for additional information.

The 1<sup>st</sup> Chapter includes basic concepts and parameters concerning corrosion with emphasis on shipbuilding construction. Then 2<sup>nd</sup> Chapter presents the corrosion forms in ballast tanks and the conditions that are causing them. Consequently there are developing technologies of organic coatings of ballast tanks, outlining the limitations of coatings currently used and the advantages of new types of coatings appearing on the market (Chapter 3). One of the most important factors, the application technology of coatings is explained in detail in Chapter 4. In the next Chapter (5<sup>th</sup>) the mechanism of coatings is described, to elucidate the forms of failure, both during the construction and in ship operation. In order to appreciate the contribution of coating protection to the total cost of construction, Chapter 6 provides financial data for the organization and management of the process of coating. Finally, Chapter 7, is showing the development of regulations concerning the protection of ballast tanks which led to the adoption of current PSPC standard (*Performance Standard for Protective Coatings*).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Διάβρωση και προστασία ναυπηγικών κατασκευών

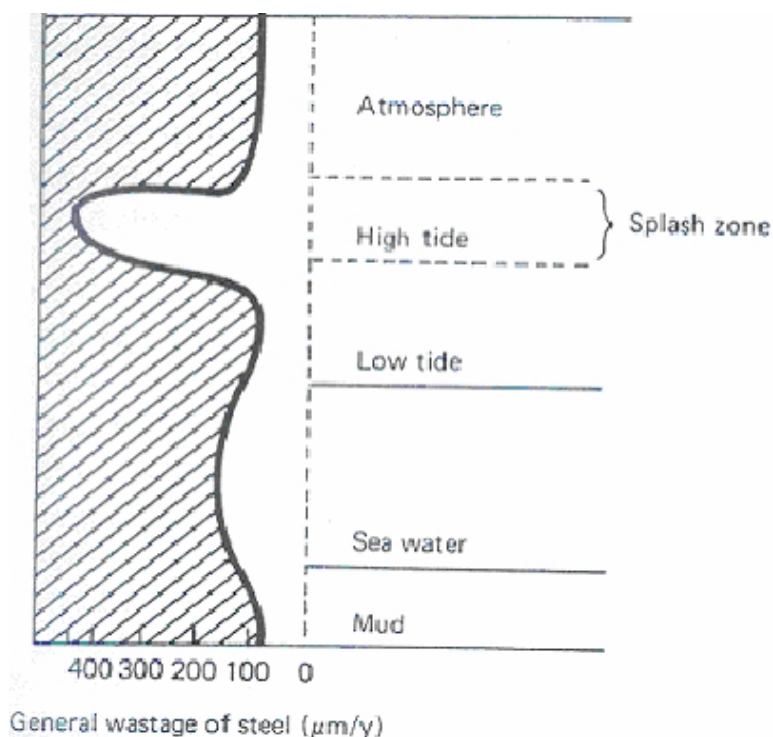
## Εισαγωγή

Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάζεται συνοπτικά το θέμα της διάβρωσης και της προστασίας των ναυπηγικών κατασκευών, ενώ παράλληλα περιγράφονται έννοιες και όροι που συναντώνται στα επόμενα κεφάλαια. Στο 1<sup>ο</sup> μέρος παρουσιάζονται οι αιτίες της διάβρωσης, το θαλάσσιο περιβάλλον και οι παράμετροι που την επηρεάζουν, στο 2<sup>ο</sup> μέρος αναφέρονται συνοπτικά τα είδη της διάβρωσης που απαντώνται στις ναυπηγικές κατασκευές και στο 3<sup>ο</sup> μέρος δίνονται οι βασικές έννοιες και παράμετροι που αφορούν στις οργανικές επικαλύψεις, που αποτελεί τη σημαντικότερη μέθοδο προστασίας έναντι της διάβρωσης.

## 1.1 - Το θαλάσσιο περιβάλλον και οι παράμετροι της διάβρωσης

### 1.1.1 - Γενικά στοιχεία [1]

Το θαλασσινό νερό καλύπτει τα δύο τρίτα της επιφάνειας της γης και αποτελεί το περιβάλλον στο οποίο εκτίθενται οι ναυπηγικές κατασκευές. Το θαλάσσιο περιβάλλον είναι πολύ διαβρωτικό όχι μόνο εξαιτίας του νερού, αλλά και εξαιτίας του αέρα που περιέχει χλωρίοντα από τους υδρατμούς. Η διάβρωση πολλών κραμάτων είναι συχνά μεγαλύτερη στα μέρη που δε βυθίζονται στη θάλασσα. Η Εικόνα 1.1 δείχνει την έκταση των διαφορετικών συνθηκών που καλύπτονται από τον όρο «θαλάσσιο περιβάλλον», με ένδειξη των μεταβολών του ρυθμού διάβρωσης του χάλυβα στις διαφορετικές ζώνες. Οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα θεωρούνται κι αυτές «θαλάσσιες» ή «παράκτιες», όπως πολλές φορές καλούνται.



Εικόνα 1.1 - Ζώνες θαλάσσιου περιβάλλοντος και ρυθμός διάβρωσης χάλυβα [1]



Η διάβρωση σε θαλάσσιο περιβάλλον εμφανίζει διαφορετικές μορφές ανάλογα με τις διαφορετικές ζώνες που εκτίθενται οι ναυπηγικές κατασκευές:

- Ατμοσφαιρική ζώνη
- Ζώνη υψηλής παλίρροιας / Ζώνη ψεκασμού
- Ζώνη χαμηλής παλίρροιας
- Ζώνη βύθισης
- Ζώνη υπό του θαλάσσιου πυθμένα

Ο ρυθμός διάβρωσης στη ζώνη ψεκασμού (Εικόνα 1.1), η οποία δέχεται συνεχώς αλατονέφωση είναι πολύ υψηλός εξαιτίας της συνεχούς διαβροχής, ενώ στη ζώνη χαμηλής παλίρροιας, (ζώνη 3), εμφανίζονται χαμηλότεροι ρυθμοί διάβρωσης. Τυπικές τιμές για το ρυθμό διάβρωσης χάλυβα στις περιοχές αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1.

Η ζώνη ψεκασμού είναι περισσότερο ευπαθής στη διάβρωση και παρουσιάζει υψηλούς ρυθμούς ιδιαίτερα στις κατασκευές ανοιχτής θαλάσσης (*offshore*). Παρόμοιοι ή ακόμα και υψηλότεροι ρυθμοί διάβρωσης μπορούν να εμφανιστούν σε παράκτιες ζώνες.

Η πιο σημαντική ζώνη είναι η ίδια η θάλασσα, αφού τα χαρακτηριστικά του θαλασσινού νερού καθορίζουν τη διαβρωτικότητα. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται οι σημαντικότερες μόνο από τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη διάβρωση στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Πίνακας 1.1 - Ρυθμός διάβρωσης χάλυβα σε διαφορετικές συνθήκες έκθεσης [1]

Περιβαλλοντικές συνθήκες	Ρυθμός διάβρωσης (mm/y)
Ατμοσφαιρική ζώνη ( <i>Atmosphere</i> )	0.128
Ζώνη υψηλής παλίρροιας / Ζώνη ψεκασμού ( <i>High tide / Splash zone</i> )	0.272
Ζώνη χαμηλής παλίρροιας ( <i>Tide zone</i> )	0.083
Ζώνη βύθισης ( <i>Sea water</i> )	0.090
Υπό του θαλάσσιου πυθμένα ( <i>Mud</i> )	0.075

### 1.1.2 - Θαλασσινό νερό [1], [7], [8], [9]

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του θαλασσινού νερού είναι η περιεκτικότητα σε άλατα (αλατότητα, *salinity*). Η αλατότητα του νερού της ανοιχτής θάλασσας, που δεν επηρεάζεται από πάγους που λιώνουν, του φρέσκου νερού των ποταμών και αυτού που προέρχεται από περιοχές μεγάλης ατμοποίησης, είναι γενικά σταθερή και κυμαίνεται μεταξύ 33 και 38 ‰. Η κοινή μέση τιμή που χρησιμοποιείται για το νερό του ανοιχτού ωκεανού είναι 35 ‰.

Μια τεχνική για την έκφραση της συγκέντρωσης αλάτων σε όρους «χλωριότητας» και «αλατότητας» έχει διατυπωθεί από τη Διεθνή Επιτροπή Διερεύνησης της Θάλασσας (*ICES – International Council for the Exploration of the Sea*). Σύμφωνα με αυτήν, η αλατότητα συνδέεται με τη συγκέντρωση σε χλωριόντα μέσω της ακόλουθης σχέσης:

$$\text{Αλατότητα} = 0.03 + 1.805 \times (\text{περιεκτικότητα σε Cl}^-)$$

Η περιεκτικότητα σε Cl<sup>-</sup> της θάλασσας κυμαίνεται από 18 – 20.

Αν η αλατότητα είναι γνωστή, η συγκέντρωση σε g/kg των υπολοίπων εννέα σημαντικών ιόντων του θαλασσινού νερού μπορούν εύκολα να υπολογισθούν, αφού, οι σχετικές αναλογίες των κύριων συστατικών του θαλασσινού νερού είναι πρακτικά σταθερές σε όλον τον κόσμο. Ωστόσο, κάποια από τα υπόλοιπα συστατικά που είναι σημαντικά για το φαινόμενο της διάβρωσης, όπως το ποσοστό του διαλυμένου οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα, μεταβάλλονται. Επίσης, ιδιότητες όπως η θερμοκρασία, η πυκνότητα και η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι σπάνια σταθερές.

Πίνακας 1.2 - Σημαντικά ιόντα σε διάλυμα νερού της «ανοιχτής» θάλασσας σε S<sup>0</sup>/<sub>00</sub>=35.00 (Διαλυτή οργανική ουσία = 0.001 – 0.0025 g, Οξυγόνο σε ισορροπία με την ατμόσφαιρα σε θερμοκρασία στους 15°C : 0.008g ή 5.8 cm<sup>3</sup>/l) [1]

Ιόντα	(gr/kg)
Ιόντα Νατρίου (Na <sup>+</sup> )	10.77
Ιόντα Μαγνησίου (Mg <sup>2+</sup> )	1.30
Ασβέστιο (Ca <sup>2+</sup> )	0.409
Κάλιο (K <sup>+</sup> )	0.338
Ιόντα στροντίου (Sr <sup>2+</sup> )	0.010
Χλωριόντα (Cl <sup>-</sup> )	19.37
Θειικά ιόντα (SO <sup>2-</sup> <sub>4</sub> )	2.71
Βρώμιο (Br <sup>+</sup> )	0.065
Βορικό οξύ ως H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.026
Συνολικά άλατα	35.1

### 1.1.3 – Θερμοκρασία [1], [8]

Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του νερού των ωκεανών μεταβάλλεται ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και κυμαίνεται από  $-2^{\circ}\text{C}$  στους πόλους μέχρι  $35^{\circ}\text{C}$  στον ισημερινό. Η θερμοκρασία σε οποιαδήποτε τοποθεσία είναι θέμα εποχιακών μεταβολών, ανέμων και ρευμάτων. Η επιφάνεια της θάλασσας επηρεάζεται επίσης από τον καιρό αλλά πάντα σε μικρότερο βαθμό από οποιαδήποτε άλλη περιοχή. Στις τροπικές περιοχές οι ετήσιες μεταβολές είναι μικρότερες από αυτές των εύκρατων περιοχών που υπολογίζονται γύρω στους  $10^{\circ}\text{C}$ . Σε βάθη κάτω των 1000 m η θερμοκρασία μειώνεται απότομα.

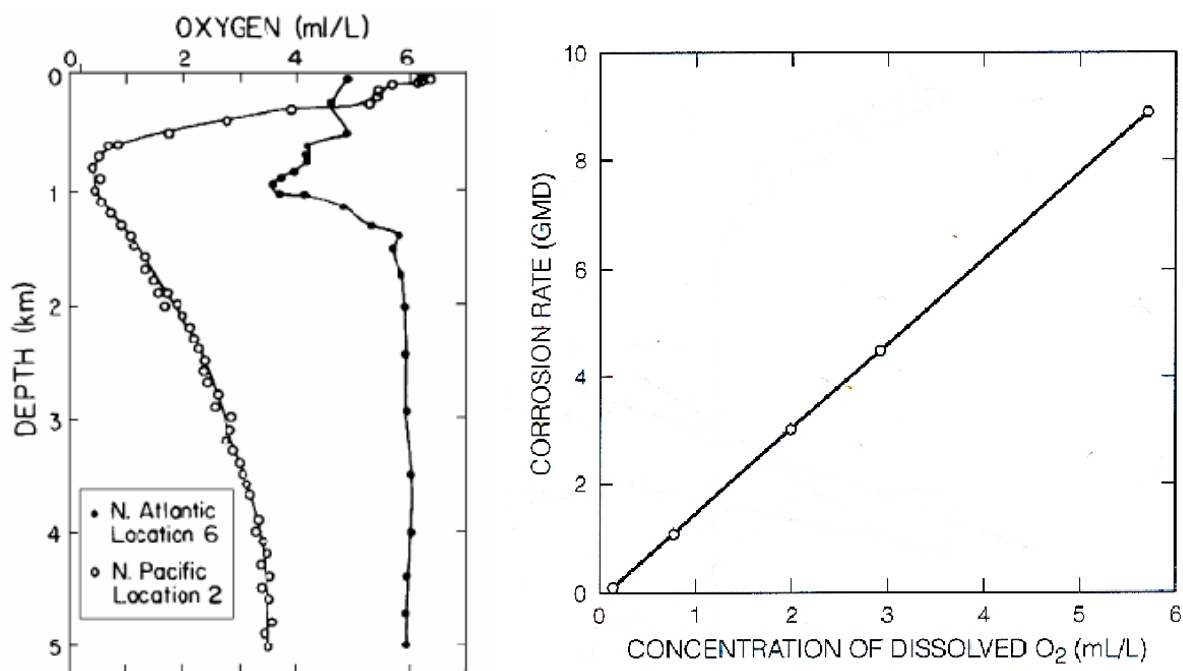
Η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει τη διάβρωση με διάφορους τρόπους. Η θερμοκρασία του μετάλλου και η θερμοκρασία του διαλύματος συχνά δεν μπορούν να ξεταστούν χωριστά από άλλες μεταβλητές. Αν ένα συστατικό του διαλύματος που είναι σημαντικό στη διάβρωση έχει περιορισμένη διαλυτότητα, μια θερμοκρασιακή αλλαγή μπορεί να αλλάξει τη συγκέντρωση αυτού του συστατικού όταν διαλυθεί σε ένα διάλυμα. Αυτή η αυξανόμενη διαλυτότητα μπορεί να έχει μια σημαντική επίδραση στη διάβρωση. Τυπικό παράδειγμα είναι η διάβρωση του σιδήρου παρουσία οξυγόνου τόσο σε συστήματα κλειστά από την ατμόσφαιρα όσο και σε ανοιχτά στην ατμόσφαιρα. Ο ρυθμός διάβρωσης του σιδήρου σε ένα σύστημα κλειστό από την ατμόσφαιρα έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει σχεδόν γραμμικά, περίπου από τους  $40$  ως  $60^{\circ}\text{C}$ . Στο ανοιχτό σύστημα, ο ρυθμός διάβρωσης αυξάνεται έως τους  $80^{\circ}\text{C}$  και μετά μειώνεται. Η μεταφορά του οξυγόνου (*mass transfer*), η οποία είναι ανάλογη της περιεκτικότητας σε οξυγόνο στο υγρό, ελέγχει το ρυθμό διάβρωσης του χάλυβα στο νερό. Όσο η θερμοκρασία αυξάνεται, η διαλυτότητα του οξυγόνου μειώνεται έτσι ώστε το οξυγόνο τείνει να αφήσει το υγρό. Έχει παρατηρηθεί ότι ο ρυθμός διάβρωσης χάλυβα αυξάνεται κατά 50% τους καλοκαιρινούς μήνες ( $27-29^{\circ}\text{C}$ ), σε σχέση με το χειμώνα ( $\sim 7^{\circ}\text{C}$ ).

Ένα σημείο που συχνά παραβλέπεται είναι η μεταβολή του pH συναρτήσει της θερμοκρασίας. Το καθαρό νερό σε κάθε θερμοκρασία έχει χαμηλότερο pH από ότι σε μια υψηλότερη αυτής θερμοκρασία. Κατά συνέπεια, αύξηση στη θερμοκρασία θα μπορούσε να επιδράσει στη διάβρωση μεταβάλλοντας το pH από ουδέτερο σε όξινο.

### 1.1.4 - Διαλυμένα αέρια – Οξυγόνο [9]

Τα διαλυμένα αέρια είναι σημαντικά στον υπολογισμό του ρυθμού διάβρωσης σε θαλασσινό νερό. Η παρουσία ή η απουσία διαλυμένου οξυγόνου είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στη διάβρωση των μετάλλων που εμβαπτίζονται στο νερό. Η περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία, από περίπου 8,0 ml/l για την επιφάνεια των νερών της Αρκτικής μέχρι 4,5 ml/l περίπου στις τροπικές περιοχές.

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου δεν είναι σε καμία περίπτωση απλή συνάρτηση της θερμοκρασίας, αλλά επηρεάζεται από το βαθμό κίνησης του νερού, τη διάρκεια του χρόνου που το οξυγόνο είναι σε επαφή με την ατμόσφαιρα και – πολύ σημαντικό – από την ποσότητα της βιολογικής δράσης που λαμβάνει χώρα. Η φωτοσύνθεση των φυτών που αναπτύσσεται στα επίπεδα της επιφάνειας της θάλασσας μπορεί να προκαλέσει σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του οξυγόνου, ενώ οι δραστηριότητες κάποιων βακτηρίων μπορούν να το μειώσουν στο μηδέν. Υπάρχουν καθημερινές μεταβολές στις παράκτιες περιοχές και σε τοποθεσίες σε εκβολές ποταμών, όπου η συγκέντρωση είναι συνήθως μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 1.2 – Αριστερά: Μεταβολή της συγκέντρωσης οξυγόνου σε σχέση με το βάθος σε περιοχές του βορειοδυτικού Ατλαντικού (36°44'N, 64°28'W) και του βορειοανατολικού Ειρηνικού (38°21'N, 133°38'E) [28]

Δεξιά: Μεταβολή του ρυθμού διάβρωσης σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση σε διαλυμένο O<sub>2</sub> [9]

Εξαιτίας των παράκτιων επιδράσεων και της βιολογικής δραστηριότητας, η συγκέντρωση του οξυγόνου μειώνεται. Για παράδειγμα, στον Ατλαντικό Ωκεανό μια ελάχιστη τιμή περίπου 1 – 2 ml/l παρατηρείται σε βάθη των 200 – 1000 m. Σε βάθος 1500m η συγκέντρωση του οξυγόνου αυξάνεται (5 – 6 ml/l) και στη συνέχεια παραμένει αρκετά σταθερή κάτω απ' αυτό το βάθος. Στην Εικόνα 1.2 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του οξυγόνου σε σχέση με το βάθος σε δύο ωκεανούς, τον Ατλαντικό και τον Ειρηνικό.

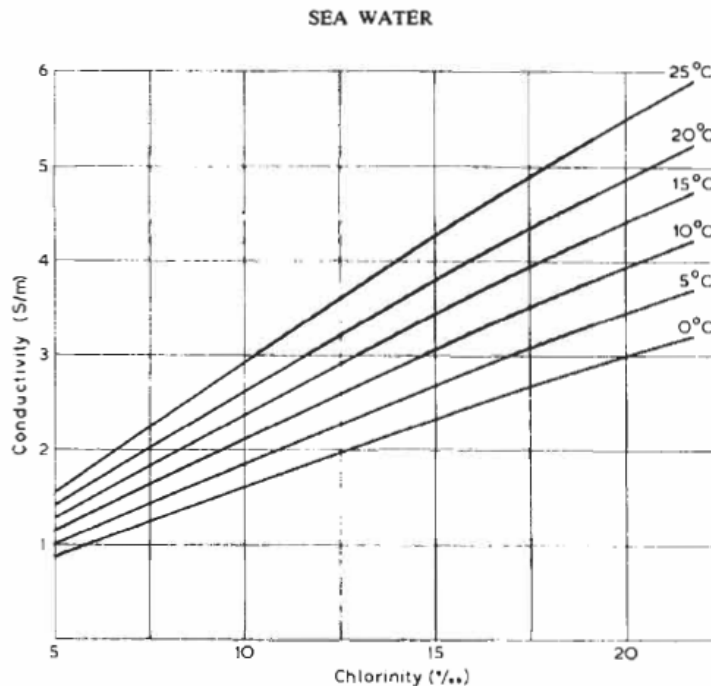
Πρέπει να σημειωθεί ότι ο ρυθμός διάβρωσης σιδήρου βυθισμένου σε θαλασσινό νερό (περιεκτικότητα σε αλάτι από 8g/Kg στη Βαλτική θάλασσα, 37 g/Kg στον Ατλαντικό Ωκεανό και 260 g/Kg στη Νεκρά Θάλασσα), μειώνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε αλάτι, εξαιτίας της μείωσης της περιεκτικότητας σε οξυγόνο (Εικόνα 1.2 - Δεξιά).

### 1.1.5 - Ταχύτητα κίνησης του διαβρωτικού περιβάλλοντος [7], [8]

Η ταχύτητα κίνησης του διαλύματος αυξάνει την ταχύτητα διάβρωσης μόνο αν ο μηχανισμός ελέγχεται από τη διάχυση, ενώ την αφήνει ανεπηρέαστη αν ο μηχανισμός ελέγχεται από υπέρταση φορτίου. Μπορεί όμως να προκαλέσει διάβρωση εκτριβής λόγω μηχανικής δράσης. Επίσης, ανάλογα με την τιμή της ταχύτητας κίνησης πρέπει να εκτιμάται η παροχή αναστολέων στη μεταλλική επιφάνεια ή η απομάκρυνση συσσωρευμένων ακαθαρσιών.

### 1.1.6 - Ηλεκτρική αγωγιμότητα [8]

Η υψηλή αγωγιμότητα του θαλασσινού νερού είναι ένας παράγοντας για τον υπολογισμό της ποσότητας της διάβρωσης που εμφανίζεται σε συνθήκες βύθισης, ιδιαίτερα σε γαλβανικά ζεύγη (γαλβανική διάβρωση) και σε εντοπισμένες καταστάσεις, όπως ρωγμές (διάβρωση χαραγής). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα προσφέρει μία ακριβή μέτρηση της περιεκτικότητας σε  $\text{Cl}^-$  και κατά συνέπεια της αλατότητας. Η μεταβολή της αλατότητας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σχετίζονται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας, άρα η ταυτόχρονη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι απαραίτητη. Η εικόνα 1.4 δείχνει τη σχέση μεταξύ αγωγιμότητας και περιεκτικότητας σε  $\text{Cl}^-$  σε διάφορες θερμοκρασίες.



Εικόνα 1.4 - Σχέση μεταξύ αγωγιμότητας και περιεκτικότητας σε  $\text{Cl}^-$  του θαλασσινού νερού. Σημείωση:  $S = \Omega^{-1}$  [8]

### 1.1.7 - pH θαλασσινού νερού [1], [7]

Το θαλασσινό νερό είναι κανονικά αλκαλικό και το pH των στρωμάτων επιφάνειας του ωκεανού, όπου το νερό είναι σε ισορροπία με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας, βρίσκεται μεταξύ 8.1 και 8.3. Ωστόσο, στις παράκτιες τοποθεσίες και σε άλλες περιοχές που υπάρχει σημαντική μικροβιολογική δραστηριότητα οι τιμές αυτές διαφοροποιούνται. Η παρουσία μεγάλων ποσοτήτων υδρόθειου τείνει να μειώσει την τιμή του pH (το νερό γίνεται πιο όξινο), ενώ αν υπάρχει μία έντονη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών, η οποία μειώνει την περιεκτικότητα του διοξειδίου του άνθρακα του νερού, εντοπίζονται υψηλότερες τιμές του pH (το νερό θα είναι πιο αλκαλικό).

Το pH του θαλασσινού νερού αλλάζει με τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Συνήθως η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση του pH. Στα βάθη των ωκεανών το pH είναι συνήθως κάτω από 8.0 εξαιτίας της επίδρασης της πίεσης. Τα ενδιάμεσα στρώματα μπορεί μερικές φορές να γίνουν πιο όξινα κι αυτό οφείλεται στην αποσύνθεση των οργανισμών που βυθίζονται από τα ανώτερα στρώματα όταν πεθαίνουν.

### 1.1.8 - Ρύπανση – Βιολογικό φορτίο [7]

Η ζωική και φυτική δραστηριότητα στο θαλασσινό νερό μπορεί να έχει τόσο άμεση όσο και έμμεση επίδραση στη διάβρωση. Η βακτηριακή δραστηριότητα μπορεί να έχει άμεση επίπτωση στη διάβρωση, ειδικά σε μολυσμένα νερά κοντά σε ακτές. Τα βακτήρια SRB (*Sulphate Reduction Bacteria*) που ανάγουν το θείο μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση του χάλυβα σε αναερόβιες συνθήκες. Επίσης, η ρύπανση αυτή συχνά οδηγεί σε άλλα προβλήματα, όπως προβλήματα στις γάστρες των πλοίων, όπου η συγκέντρωση θαλάσσιων προϊόντων προκαλεί αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου για τη διατήρηση της ταχύτητας. Η εναπόθεση των οργανισμών πάνω στην επιφάνεια κραμάτων, όπως οι ανοξειδωτοί χάλυβες, μπορεί να προκαλέσει διάβρωση με βελονισμούς. Από την άλλη πλευρά, τέτοιου είδους αποθέσεις μπορούν, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, να δρουν προστατευτικά.

### 1.2 - Είδη διάβρωσης στις ναυπηγικές κατασκευές [1]

Τα σημαντικότερα είδη διάβρωσης που συναντώνται στις ναυπηγικές κατασκευές είναι τα ακόλουθα :

- Γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση (*Uniform ή General corrosion*)
- Γαλβανική διάβρωση (*Galvanic corrosion*)
- Διάβρωση με βελονισμούς (*Pitting corrosion*)
- Διάβρωση χαραγής (*Crevice corrosion*)
- Περικρυσταλλική διάβρωση (*Intergranular corrosion*)
- Σπηλαιώδης διάβρωση (*Cavitation corrosion*)
- Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση που οδηγεί σε ψαθυρή θραύση (*Stress corrosion cracking*)
- Διάβρωση με κόπωση (*Fatigue corrosion*)
- Βιολογική διάβρωση (*Microbiologically induced corrosion*)

Η αναλυτική περιγραφή των ανωτέρω ειδών της διάβρωσης έχει γίνει ήδη σε άλλες διπλωματικές εργασίες και υπάρχει σε αρκετά εκπαιδευτικά και επιστημονικά βιβλία. Τα είδη της διάβρωσης που εμφανίζονται στις δεξαμενές έρματος, περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2 που ακολουθεί.

### 1.3 - Μέθοδοι προστασίας από τη διάβρωση [1]

Για τον περιορισμό και την αντιμετώπιση της διάβρωσης εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι. Σ' αυτές περιλαμβάνονται «έμμεσες» μέθοδοι, όπως επιλογή του υλικού με τέτοια μικροδομή ώστε να είναι ανθεκτικότερο στη διάβρωση (π.χ. αντιδιαβρωτικοί χάλυβες), κατάλληλος σχεδιασμός της κατασκευής ώστε να αποφεύγονται συνθήκες οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξη φαινομένων διάβρωσης κ.λπ. Στις άμεσες μεθόδους αντιμετώπισης της διάβρωσης περιλαμβάνονται :

- Η καθοδική προστασία , όπου το δυναμικό της κατασκευής ρυθμίζεται σε τιμές που το υλικό δεν προσβάλλεται
- Η ανοδική προστασία, όπου το δυναμικό του συστήματος ρυθμίζεται σε τιμές που το υλικό παθητικοποιείται

Ένας από τους σημαντικότερους τρόπους για την προστασία από τη διάβρωση είναι η εφαρμογή επικαλύψεων με στόχο την προστασία του υλικού από το περιβάλλον που προκαλεί τη διάβρωση. Αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο προστασίας και είναι ο σημαντικότερος τρόπος προστασίας των διαφορετικών τμημάτων του πλοίου, μεταξύ των οποίων και οι δεξαμενές έρματος. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικά βασικές έννοιες των οργανικών επικαλύψεων, απαραίτητες για τη μελέτη των επόμενων κεφαλαίων της διπλωματικής εργασίας.

#### 1.3.1 - Γενικά [1]

Μία από τις συνθετέστερες μεθόδους για την προστασία των υλικών από τη διάβρωση είναι η εφαρμογή επιστρωμάτων στην επιφάνεια, με στόχο την απομόνωσή της από το διαβρωτικό περιβάλλον. Η χρήση επιστρωμάτων αποτελεί κοινή μέθοδος αντιδιαβρωτικής προστασίας. Η προστατευτική δράση των διαφόρων τύπων επιστρωμάτων οφείλεται στον προκαλούμενο διαχωρισμό του μετάλλου από το διαβρωτικό περιβάλλον του, στην αύξηση της ηλεκτρικής του αντίστασης ή στη μεταβολή της ανοδικής ή και της καθοδικής πόλωσης. Η προστατευτική τους δράση εξαρτάται από το πάχος τους, τις ιδιότητές τους όπως η αντοχή, η πρόσφυση, η διαπερατότητα κ.λπ. Τα επιστρώματα διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Μεταλλικά επιστρώματα:**
  - Περισσότερο ευγενή
  - Λιγότερο ευγενή
- **Μη μεταλλικά ανόργανα επιστρώματα:**
  - Οξειδία
  - Φωσφορικά
  - Χρωμικά
  - Εμαγιέ
  - Τσιμεντοκονία

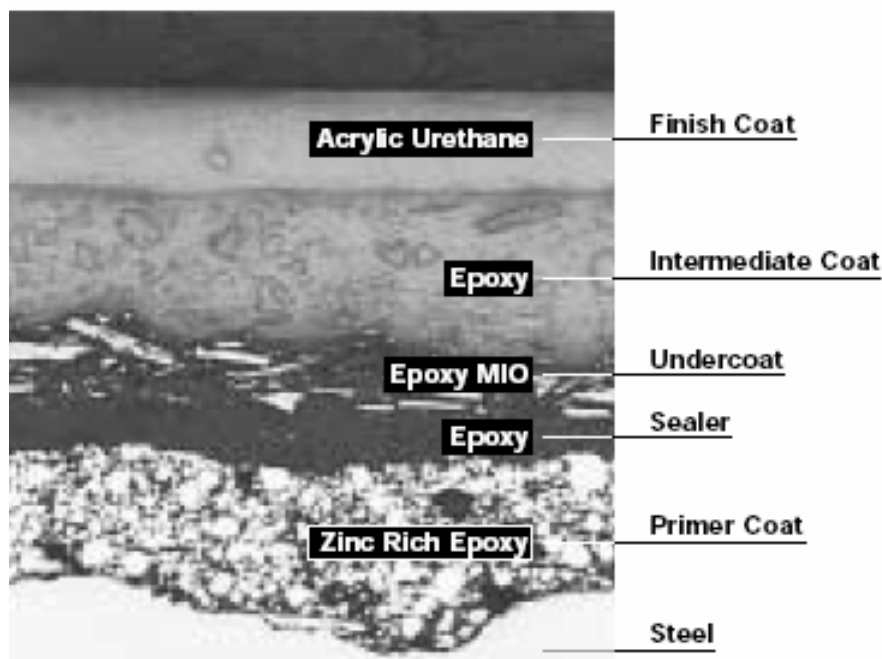
- Οργανικά επιστρώματα:
  - Χρώματα
  - Βερνίκια
  - Λάκες

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται οι βασικές έννοιες και στοιχεία που αφορούν στις οργανικές επικαλύψεις.

### 1.3.2 - Οργανικές επικαλύψεις

#### 1.3.2.1 - Το σύστημα προστασίας των οργανικών επικαλύψεων [1]

Με τον όρο «οργανικές επικαλύψεις» εννοείται ένα σύστημα από διαφορετικά υλικά τα οποία εφαρμόζονται για την προστασία, και όχι μόνο ένα υλικό. Τα συστήματα οργανικών επικαλύψεων αποτελούνται συνήθως από τα ακόλουθα μέρη : το αστάρι (*primer*), το ενδιάμεσο στρώμα (*undercoat*) και το τελικό επίστρωμα (*finish coat* ή *topcoats*) (Εικόνα 1.5). Σημειώνεται ότι τα ενδιάμεσα επιστρώματα μπορεί να αποτελούνται από δύο συστήματα υλικών (*undercoat* και *intermediate coat*). Τα τελευταία χρόνια ωστόσο διατίθενται συστήματα επίστρωσης που συνδυάζουν αστάρι (*primer*) και τελικό επίστρωμα (*finish coat*) σε ένα προϊόν. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικά τα «στοιχεία» του συστήματος της επικάλυψης.



Εικόνα 1.5 - Σύστημα βαφής για την προστασία χαλύβδινων κατασκευών [1]



### Αστάρια (*primers*)

Το αστάρι αποτελεί βασικό συστατικό όλων των αντιδιαβρωτικών επικαλύψεων και θεωρείται ότι είναι το πιο σημαντικό στοιχείο του συστήματος προστασίας. Ένα καλό αστάρι γενικά παρέχει την αναστολή ή την επιβράδυνση της διάβρωσης εξαιτίας ασυνεχειών, όπως τα κενά, ή οι ρωγμές στο στρώμα. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ικανοποιητική απόδοση του primer θα πρέπει αυτό να παρουσιάζει πολύ καλή πρόσφυση με το μέταλλο βάσης. Πρέπει επίσης να περιέχει κατάλληλη συγκέντρωση αναστολέα (π.χ. πιγμέντα χρωμίου), που θεωρείται σημαντική παράμετρος για το σύστημα προστασίας. Τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει το αστάρι είναι :

- Πρόσφυση με το υπόστρωμα
- Συνοχή
- Αδράνεια σε σχέση με το περιβάλλον
- Καλή σύνδεση με το ενδιάμεσο στρώμα του συστήματος προστασίας
- Κατάλληλη ευκαμψία

Υπάρχουν δυο βασικοί τύποι ασταριών:

- i. Αστάρια με πιγμέντα μεταλλικών στοιχείων ανοδικότερων του χάλυβα. Όταν εξαιτίας μια χαραγής της επίστρωσης, ο χάλυβας (υπόστρωμα) εκτεθεί στο περιβάλλον, το ανοδικότερο μέταλλο διαβρώνεται θυσιαζόμενο. Αυτό εμποδίζει αποτελεσματικά τη διάβρωση του χάλυβα και τη διάλυση του primer μέχρι να εξαντληθεί το ανοδικό μέταλλο. Τα αστάρια που είναι πλούσια σε ψευδάργυρο είναι τα πιο διαδεδομένα.
- ii. Τα αστάρια που βασίζονται στην υψηλή πρόσφυση και στις ιδιότητες αντίστασης στα χημικά του συνδετικού μέσου. Η απαιτούμενη πρόσφυση επιτυγχάνεται μόνο σε εξονυχιστικά καθαρή επιφάνεια και αυτό είναι αρκετό για να αποφευχθεί η διάβρωση στις ρωγμές εξαιτίας μηχανικής καταπόνησης. Αυτά τα primers μπορεί να περιέχουν πιγμέντα με αναστολείς διάβρωσης. Ο φωσφορικός ψευδάργυρος, για παράδειγμα, είναι ένα πιγμέντο με αναστολέα μεσαίας ισχύος και η χρήση του είναι πολύ διαδεδομένη στην παρασκευή των σύγχρονων ασταριών.

### Ενδιάμεσες επιστρώσεις (*Undercoats*)

Οι ενδιάμεσες επιστρώσεις (*undercoats*) εφαρμόζονται για να «συμπληρωθεί» το συνολικό πάχος του συστήματος επίστρωσης, σε συστήματα προστασίας για ειδικές εφαρμογές όπου το πάχος της επικάλυψης και η δομή της αποτελούν σημαντική παράμετρο. Γενικά, όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος της επίστρωσης τόσο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής έχει. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την εφαρμογή πολλών επιστρώσεων. Τα χαρακτηριστικά των ενδιάμεσων επιστρώσεων είναι τα ακόλουθα :

- Παρέχουν το απαιτούμενο πάχος στο σύστημα της επικάλυψης
- Εμφανίζουν αντοχή στα χημικά
- Εμφανίζουν αντίσταση στη μεταφορά υγρασίας και ατμών

- Παρέχουν μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση
- Έχουν ισχυρή συνοχή
- Έχουν καλή σύνδεση τόσο με το προηγούμενο στρώμα της επικάλυψης, το primer, όσο και με αυτό που ακολουθεί, το τελικό επίστρωμα (*topcoat*)

### Τελικό επίστρωμα (*Finishes* ή *Topcoats*)

Το τελικό επίστρωμα εξασφαλίζει την αντοχή της εξωτερικής επιφάνειας του συνολικού συστήματος επίστρωσης στους παράγοντες της διάβρωσης και παρέχει την απαιτούμενη εξωτερική εμφάνιση. Το πρώτο τελικό επίστρωμα μπορεί να διεισδύσει στο ενδιάμεσο στρώμα (*Intermediate coat*) δημιουργώντας έτσι μια αδιαπέραστη εξωτερική επιφάνεια. Ανάλογα με τις συνθήκες έκθεσης, εξασφαλίζει την πρώτη γραμμή άμυνας απέναντι στις περιβαλλοντικές συνθήκες και στον ήλιο, στην ανοικτή έκθεση, στη συμπύκνωση, σε περιβάλλον χημικών εγκαταστάσεων με υψηλό ποσοστό ρύπων, σε κρούση και σε τριβή και τέλος σε βακτήρια και μύκητες. Συνήθως είναι πιο πυκνό από τα ενδιάμεσα στρώματα. Τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα τελικά επιστρώματα (*topcoats*) είναι οργανικές επικαλύψεις που στεγνώνουν στον αέρα (*air-drying*) και βερνίκια με βάση έλαια που σκληραίνουν με οξείδωση, ακρυλικά και άλλες λάκκες που στεγνώνουν με εξάτμιση του διαλύτη, καθώς και οργανικές επικαλύψεις πολυ-ουρεθάνης και εποξικές.

Οργανικές επικαλύψεις πολυ-ουρεθάνης χρησιμοποιούνται ευρέως σε θαλάσσιες κατασκευές. Ωστόσο αυτές οι οργανικές επικαλύψεις είναι αρκετά ψαθυρές και καταστρέφονται σχηματίζοντας ρωγμές και νιφάδες. Για το λόγο αυτό προτιμώνται ακρυλικές οργανικές επικαλύψεις που στεγνώνουν με εξάτμιση του διαλύτη, ως τελικό επίστρωμα. Οι οργανικές αυτές επικαλύψεις μπορούν να αφαιρεθούν τοπικά με διαλύτη μέχρι και το αστάρι. Τα τελικά επιστρώματα σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να παρέχουν :

- Αδιαπέραστο στρώμα αντίστασης σε διάβρωση για όλο το σύστημα προστασίας
- Αρχικό φράγμα προστασίας από το περιβάλλον
- Καλή αντίσταση στα χημικά, στο νερό και στις καιρικές συνθήκες
- Σκληρότητα και αντίσταση σε εκτριβή της επιφάνειας
- Καλή εξωτερική εμφάνιση

Σε αρκετές περιπτώσεις το τελικό επίστρωμα εφαρμόζεται για να εξυπηρετήσει άλλους σκοπούς (π.χ. λόγους αισθητικής) και η προστασία παρέχεται από το ενδιάμεσο στρώμα (*Intermediate coat*).

Οι διάφορες επιστρώσεις που περιλαμβάνονται σε ένα σύστημα επικάλυψης, θα πρέπει να είναι συμβατές μεταξύ τους. Μπορούν να είναι όλες ίδιου ή διαφορετικού τύπου. Ως πρώτο μέτρο διασφάλισης της συμβατότητας, όλες οι οργανικές επικαλύψεις ενός συστήματος, θα πρέπει να προέρχονται από τον ίδιο κατασκευαστή και να χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

### 1.3.2.2 - Τα βασικά συστατικά των οργανικών επικαλύψεων [1]

Τα βασικά συστατικά των οργανικών επικαλύψεων είναι :

- Το συνδετικό υλικό (*binder*)
- Το πιγμέντο (*pigment*)
- Ο διαλύτης (*solvent*)

Κάθε συστατικό έχει ειδική λειτουργία και επιφέρει διαφορετικό αποτέλεσμα στο σχηματισμό του επιστρώματος και στις ιδιότητές του.

Γενικά, οι οργανικές επικαλύψεις αποτελούνται από ένα ειδικό πιγμέντο που βρίσκεται σε διασπορά σε ένα ειδικό συνδετικό υλικό, που είναι διαλυμένο σε έναν ειδικό διαλύτη, οπότε ο αριθμός των βασικών τύπων οργανικών επικαλύψεων είναι περιορισμένος. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος ταξινόμησης οργανικών επικαλύψεων είναι, είτε με βάση τα πιγμέντα που έχουν, είτε με βάση το συνδετικό τους υλικό. Τα αστάρια για τους χάλυβες συνήθως ταξινομούνται με βάση το κύριο πιγμέντο αναστολής διάβρωσης, π.χ. μεταλλικά αστάρια αλουμινίου ή ψευδαργύρου. Καθένα από αυτά τα πιγμέντα αναστολής μπορούν να ενσωματωθούν σε μια σειρά ρητινών που χρησιμοποιούνται ως συνδετικό υλικό, πχ. αλκυδικά αστάρια φωσφορικού ψευδαργύρου, εποξειδικά αστάρια φωσφορικού ψευδαργύρου κ.λ.π. Τα ενδιάμεσα στρώματα και τα τελικά επιστρώματα ταξινομούνται συνήθως με βάση τα συνδετικά τους υλικά, πχ. εποξειδικά, βινύλια κτλ.

#### Το συνδετικό υλικό

Τα συνδετικά υλικά είναι συνήθως ρητίνες ή έλαια, αλλά μπορεί να είναι και ανόργανες ενώσεις όπως ευδιάλυτα πυριτικά άλατα. Το συνδετικό υλικό είναι εκείνο το συστατικό που καθορίζει τη διαμόρφωση σε film του επιστρώματος. Είναι συνθετικό πολυμερές (όπως αλκυδικές, βινυλικές, εποξειδικές ή αμινορητίνες, εποξειδικές ρητίνες με πίσσα), πολυεστέρας, πολυουρεθάνη ή φυσικά έλαια. Μεταπηδά από την υγρή στη στερεά φάση, μετά από απομάκρυνση λόγω εξάτμισης των διαλυτών (φυσική ξήρανση) ή μετά από χημικές αντιδράσεις μεταξύ των μορίων της συνδετικής ουσίας, που καταλήγουν στην ανάπτυξη τρισδιάστατου πλέγματος με αυξημένες αντιδιαβρωτικές ιδιότητες (θερμοσκλήρυνση).

Ειδικά, όταν το συνδετικό είναι εποξειδική ρητίνη, η σκλήρυνση (που είναι μια σημαντική ιδιότητα των χρωμάτων) επιτυγχάνεται με χρήση σκληρυντών. Οι σκληρυντές είναι συνήθως πολυαμίδια και αμίνες. Τα πολυαμίδια αυξάνουν το χρόνο ζωής των χρωμάτων και βελτιώνουν την ευκαμψία και την αντοχή τους στη φυσική γήρανση σε σχέση με τις αμίνες. Οι αμίνες προσφέρουν υψηλότερη σχετικά αντίσταση στα οξέα και στα αλκάλια, καθώς και καλύτερη αντίσταση στα προϊόντα πετρελαίου.

#### Τα πιγμέντα ή χρωστικές

Τα πιγμέντα είναι ανόργανες ή οργανικές σκόνες χαμηλής κοκκομετρίας, που καθορίζουν το χρώμα, την αδιαφάνεια, τη συνάφεια του στρώματος και μερικές φορές δρουν ως αναστολείς διάβρωσης. Τα πιγμέντα, ή αλλιώς χρωστικές ουσίες, είναι ξηρές σκόνες, αδιάλυτες στο συνδετικό και διασπείρονται σε αυτό με τεχνική αλέσματος. Προέρχονται από φυσικά μεταλλεύματα και συνηθέστερα από μεταλλικά οξειδία ή από οργανικές ενώσεις. Χρησιμοποιούνται κυρίως για να προσδώσουν ή να βελτιώσουν τις αντιδιαβρωτικές και

τις μηχανικές ιδιότητες, καθώς και για να δώσουν το επιθυμητό αισθητικό αποτέλεσμα του επιστρώματος. Αυξάνουν το χρόνο ζωής του χρώματος. Αυτό οφείλεται στην απορρόφηση ή αντανάκλαση της υπεριώδους ακτινοβολίας και τη μετατροπή της σε έναν παράγοντα αβλαβή. Τα πιγμέντα διακρίνονται σε:

- *Οργανικά* - Καθορίζουν το χρώμα του επιστρώματος, και μερικά από αυτά εμφανίζουν και υψηλή αντοχή στα χημικά μέσα
- *Ανόργανα* - Προσδίδουν ή αυξάνουν τις αντιδιαβρωτικές ιδιότητες του επιστρώματος. Όταν πρόκειται για οξειδία μετάλλων, δεν προσβάλλονται από το οξυγόνο της ατμόσφαιρας

Τα κυριότερα ανόργανα πιγμέντα είναι:  $ZnCrO_4$ ,  $TiO_2$ ,  $BaSO_4$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $PbCO_3$ ,  $SiC$ , γραφίτης, μολυβδαινικό ασβέστιο κ.α. Τα πιγμέντα φωσφορούχου ψευδαργύρου είναι σήμερα τα πιο σημαντικά στις αντιδιαβρωτικές οργανικές επικαλύψεις. Η επιλογή του καταλληλότερου συνδετικού υλικού που πρέπει να χρησιμοποιηθεί με αυτά τα πιγμέντα είναι πολύ σημαντική και μπορεί να επηρεάσει δραστικά την απόδοση. Ο κόκκινος μόλυβδος είναι πιθανόν να επιταχύνει τη διάβρωση μη σιδηρούχων μετάλλων, αλλά το μόλυβδικό ασβέστιο (*calcium plumbate*) εξασφαλίζει εξαιρετική πρόσφυση σε γαλβανισμένες επιφάνειες και παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά κατά την εφαρμογή του σε άλλα μέταλλα. Με βάση το μηχανισμό δράσης τους τα πιγμέντα διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- *Πιγμέντα παθητικοποίησης* - Δημιουργούν ή σταθεροποιούν ένα επιφανειακό προστατευτικό επίστρωμα. Τα πιγμέντα αυτά έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν με οξειδωση ή άλλες χημικές αντιδράσεις, ένα λεπτό παθητικό στρώμα το οποίο εμποδίζει τη δημιουργία ηλεκτροχημικών κελιών και συνεπώς το σχηματισμό σκουριάς. Τα πιγμέντα μολύβδου και σκόνης ψευδαργύρου είναι αυτά που χρησιμοποιούνται κυρίως για παθητικοποίηση. Με εξαίρεση τα πιγμέντα ψευδαργύρου, που παρέχουν αποκλειστικά καθοδική προστασία, όλα τα άλλα πιγμέντα παθητικοποίησης δρουν με τον ίδιο τρόπο στην επιφάνεια του χάλυβα. Επίσης, τα πιγμέντα αυτά αποτελούν «εγγύηση» για την καλή πρόσφυση των επιστρωμάτων. Με την παρουσία των πιγμένων αυτών εμποδίζεται η δημιουργία φλυκταινών λόγω ώσμωσης.
- *Πιγμέντα ιοντοεναλλαγής* - Τα πιγμέντα αυτά δεσμεύουν δραστικά ιόντα ως προς τη διεργασία της διάβρωσης και απελευθερώνουν άλλα που μπορούν να δράσουν ως αναστολείς.
- *Πιγμέντα αποκλεισμού* - Τα πιγμέντα αυτά είναι συνήθως λεπιοειδή σωματίδια μεγάλης επιφάνειας και πολύ μικρού πάχους, συνήθως από γυαλί, αλουμίνιο, αστάλι, οξείδιο του σιδήρου και γραφίτη. Σχηματίζουν επίπεδα στρώματα και εμποδίζουν τη διείσδυση των διαβρωτικών παραγόντων του περιβάλλοντος προς τη μεταλλική επιφάνεια.

## Ο διαλύτης

Ο διαλύτης αποτελεί συστατικό του επικαλυπτικού, έχοντας ρόλο: α) τη μείωση του ιξώδους της συνδετικής ουσίας (*binder*) όταν αυτό είναι υψηλό και β) την αραιώση του επικαλυπτικού, ώστε να διευκολύνεται η εφαρμογή του. Οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται είναι αλειφατικοί ή αρωματικοί υδρογονάνθρακες, αλκοόλες, εστέρες, κετόνες κ.λ.π. ή και νερό. Η χρησιμοποίηση του νερού ως μέσου διασποράς επιτρέπει την αποφυγή προβλημάτων ρύπανσης από την εξάτμιση του διαλύτη. Τα υδατικά χρώματα παρουσιάζουν επιπλέον γρήγορη ξήρανση, ικανοποιητική αντοχή στις φθορές, διατήρηση της απόχρωσης για μεγάλο χρονικό διάστημα ενώ μειονεκτούν ως προς τα άλλα χρώματα στη ροή, την κατεργασιμότητα, την αντίσταση σε υγρασία και στις μηχανικές ιδιότητες.

Συνήθως ο διαλύτης αραιώνεται ώστε να ρυθμιστεί η επιφανειακή τάση του διαλύματος και η διεπιφανειακή τάση μετάλλου-χρώματος ώστε να προκύψουν συνθήκες καλύτερης εξάπλωσης του χρώματος. Διαλύτης και αραιωτικό επιτυγχάνουν ικανοποιητικό βαθμό διασποράς των χρωστικών, πληρωτικών και άλλων μέσων στο συνδετικό υλικό. Συνεπώς επιτυγχάνεται καλύτερη εφαρμογή του υλικού και έλεγχος των διαδικασιών ξήρανσης και θερμοσκλήρυνσής του. Οι διαλύτες μπορεί να διακριθούν στις ακόλουθες κατηγορίες :

- Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες
- Αρωματικοί υδρογονάνθρακες
- Κετόνες
- Εστέρες
- Αλκοόλες
- Αιθέρες ή αλκοολικοί αιθέρες
- Νερό

### 1.3.2.3 - Κατηγορίες οργανικών επικαλυπτικών [17]

#### Εισαγωγή

Η αρχική κατηγοριοποίηση των επικαλυπτικών αφορά στην περιοχή του πλοίου που δύναται να προστατευτεί. Υπάρχουν πολλά προϊόντα που προσφέρουν αποδεκτή αντιδιαβρωτική προστασία, επομένως η διάκριση πρέπει να επεκταθεί πέραν της προστασίας και στις συνθήκες λειτουργίας του εκάστοτε τμήματος της μεταλλικής κατασκευής. Τα συστήματα επικάλυψης μπορούν να διακριθούν αρχικά με βάση τις ακόλουθες παραμέτρους, (στις οποίες δεν περιλαμβάνεται η χημική σύσταση) :

- *Τύπος εργασίας* - Νέα κατασκευή, συντήρηση
- *Σκοπός Επικάλυψης* - Προστασία, αισθητική, μειωμένη συντήρηση
- *Περιβαλλοντικοί Παράγοντες* - Καιρικές και ατμοσφαιρικές συνθήκες, εργασία στο έδαφος, στην ακτή, στη θάλασσα, σε ύψος, στεγαζόμενη ή υπαίθρια εργασία
- *Χαρακτηριστικά Προστατευόμενης Επιφάνειας* - Ομαλή, τραχιά, βαθμός διάβρωσης ή σκουριάς, τύπος και βαθμός προσκολλημένων σωματιδίων, τύπος και κατάσταση υπάρχουσας στρώσης επικαλυπτικού κ.τ.λ.
- *Τύπος Κατασκευής* - Σχήμα και τρόπος συναρμογής
- *Συνθήκες Λειτουργίας* - Θερμοκρασία, επαφή με υγρά, βρεχόμενη, βυθισμένη, στεγνή κ.τ.λ.
- *Απαιτούμενες Ιδιότητες* - Αντοχή στο χρόνο, σε χημικά, έλαια, γλυκό και θαλασσινό νερό, υγρασία, ζέστη
- *Συνθήκες Εφαρμογής* - Εποχή, περιβαλλοντικές συνθήκες, συνδυασμός με άλλες επιστρώσεις, ειδικές συνθήκες
- *Εκτιμώμενη Διάρκεια Ζωής* - Περίοδος που καλύπτεται από εγγύηση, εκτιμώμενη ζωή σε καλή λειτουργία

Για τεchnοοικονομικούς λόγους, τόσο το ναυπηγείο, όσο και ο πλοιοκτήτης, δεν επιθυμούν πολυτυπία στα συστήματα επικάλυψης. Το ναυπηγείο για λόγους αποθήκευσης και διαχείρισης και ο πλοιοκτήτης για τον καλύτερο έλεγχο της τιμής και τη μειωμένη εκπαίδευση του πληρώματος των πλοίων. Όμως ο κατασκευαστής των επικαλυπτικών ακολουθεί συχνά διαφορετικές μεθόδους παρασκευής, με αποτέλεσμα τη σημερινή μεγάλη ποικιλία.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα επικαλυπτικά με βάση τη χημική τους σύσταση και υποδεικνύεται το περιβάλλον στο οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν (Πίνακας 1.3). Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 1.4) παρουσιάζονται τα επικαλυπτικά με βάση τη χημική σύσταση και τις συνθήκες λειτουργίας της κατασκευής. Από τη μελέτη των πινάκων δίνεται μια πρώτη ένδειξη για την καταλληλότητα ορισμένων τύπων επικαλύψεων, στη χρήση τους σε ναυπηγικές κατασκευές (π.χ. Τα εποξειδικά έχουν μεγαλύτερη αντοχή σε βύθιση στο θαλασσινό νερό, απ' ότι τα φαινολικά επικαλυπτικά). Επίσης, ενώ ο κατάλογος των συμβατών συστημάτων βαφής μπορεί να επεκταθεί πολύ, πρέπει να δοθεί έμφαση στην απλοποίηση της διαδικασίας επιλογής.

Πίνακας 1.3 – Συμβατότητα επικαλυπτικών με το περιβάλλον λειτουργίας [17]

Σύμβολα: 1: Πολύ Συμβατό, 2: Συμβατό, 3: Λίγο Συμβατό, 4: Μη Συμβατό

Χημική Σύσταση Επικαλυπτικού	Περιβάλλον Λειτουργίας	Εσωτερικού Χώρου	Εξωτερικού Χώρου	Εμφάνιση	Βύθιση σε θαλασσινό νερό	Βύθιση σε γλυκό νερό	Σε θαλάσσιο περιβάλλον	Βιομηχανία	Χημική Βιομηχανία	Υψηλές Θερμοκρασίες
Αλκυδικές Ρητίνες		1	1	1	4	4	2	2	3	4
Φαινολικά		1	2	1	3	3	2	2	2	4
Ακρυλικά		1	1	1	4	4	1	1	2	4
Αλκυδικές Σιλικόνες		1	1	1	4	4	1	1	2	3
Χλωριωμένο Ελαστικό		1	1	1	2	2	1	1	1	4
Βινυλικά		1	1	1	1	1	1	1	1	4
Εποξειδικά		1	2	1	1	1	1	1	1	3
Τροποποιημένα Εποξειδικά		1	2	2	1	1	1	1	1	3
Ακρυλικά Εποξειδικά		1	1	1	2	2	1	1	1	3
Πολυουρεθάνες		1	1	1	2	2	1	1	1	3
Φθόριο (σκληρυνόμενο σε θερμοκρασία δωματίου)		1	1	1	2	2	1	1	1	3
Ακρυλικές Σιλικόνες		1	1	1	2	2	1	1	1	3
Εποξειδικά με Πίσσα		2	3	4	1	1	1	1	1	4
Ψευδαργύρου		1	2	4	2	2	1	1	4	1

Πίνακας 1.4 – Κατάλληλα επικαλυπτικά για δεξαμενές [17]

Σύμβολα: 1: Συμβατό, 2: Περιορισμένη Συμβατότητα, 3: Μη συμβατό

		Θαλασσινό Νερό	Απιονισμένο Νερό	Πόσιμο Νερό	Βιομηχανικό Νερό	Αργό Πετρέλαιο	Προϊόντα Πετρελαίου	Μαζούτ	Έλαια και Λίπη	Χημικά
	Εποξειδικά	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	Φαινολικά Εποξειδικά	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	Εποξειδικά με Πίσσα	1	3	3	1	1	3	1	3	3
	Ουρεθάνες με Πίσσα	1	3	3	1	1	3	1	3	3
	Ανόργανα Ψευδαργύρου	3	3	3	3	2	1	2	3	3
Με Φολίδες Γυαλιού	Εποξειδικά	1	1	3	1	3	3	3	3	3
	Πολυεστερικά	1	1	3	1	1	1	1	1	2
	Βινυλεστερικά	1	1	3	1	1	1	1	1	1

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα μέρη του πλοίου και τα είδη των επικαλυπτικών που είναι συμβατά για τα διαφορετικά τμήματα του πλοίου (Πίνακας 1.5).

### Πίνακας 1.5 – Τυπικές επιλογές επικαλυπτικών για πλοία [17]

Σύμβολα: +: Γενικής Χρήσης, ++: Υψηλής Αντοχής, \*: Συμβατό σαν τελική στρώση σε εποξειδικά

**AK:** Αλκυδικό, **CR:** Χλωριωμένο Ελαστικό/Ακρυλικό, **V:** Χλωριούχο Βινύλιο, **AF:** Αντιρρυπαντικό, **EP:** Εποξειδικό, **ME:** Τροποποιημένο Εποξειδικό, **TE:** Εποξειδικό με Πίσσα, **PH:** Φαινολικό Εποξειδικό, **ZS:** Πυριτικού Ψευδαργύρου, **WB:** Ακρυλικό υδατικής βάσης, **FL:** Φθόριο (σκληρυνόμενο σε θερμοκρασία δωματίου), **PU:** Πολυουρεθάνη, **PS(EP):** Εποξειδικά Πολυσιλοξάνια, **PS(I):** Ανόργανα Πολυσιλοξάνια

Επικαλυπτικό	AK	CR	V	AF	EP	ME	TE	PH	ZS	WB	FL	PU	PS(EP)	PS(I)
Περιοχή Πλοίου														
Υπερκατασκευές, Σωληνώσεις	+	++			++	++					*	*	*	*
Οροφές	+	++	++		++	++					*	*	*	*
Καταστρώματα	+	*			++	++			++		*	*	*	*
Δεξαμενές Φορτίου Πετρελαίου					++	++	++							
Δεξαμενές Ξηρού Φορτίου					++	++								
Δεξαμενές Έρματος					++	++	++							
Κενά Μέρη Πλοίου (Voids)					++	++								
Ύφαλα		++	++	++	++	++	++							
Δεξαμενές Χημικών					++	++		++	++					
Σεντίνες (Υδατοσυλλέκτες)					++	++								
Περιοχές Τριβής					++				++					
Εσωτερικοί Χώροι / Μηχανοστάσιο	+				++	++			++	+				

Από τα παραπάνω στοιχεία είναι εμφανής η ευελιξία που προσφέρουν τα εποξειδικά, τροποποιημένα εποξειδικά και επικαλυπτικά βινυλίου. Λόγοι όπως, η μειωμένη αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες, το σκούρο χρώμα που δυσκολεύει την επιθεώρηση και η τοξικότητα σε ευαίσθητα φορτία, έχουν μειώσει το εύρος εφαρμογών των επικαλυπτικών εποξειδικού-πίσσας (*Tar-Epoxy*).

Όσον αφορά στις επικαλύψεις ασταριών προκατασκευής, υπάρχουν κι εκεί επιλογές σχετικά με το συμβατό σύστημα βαφής, αλλά κυρίως με το χρονικό πλαίσιο αποπεράτωσης του έργου. Χρειάζεται αυστηρό χρονοδιάγραμμα για την επιλογή ασταριού που ενεργεί για μικρό χρονικό διάστημα. Μία παράμετρος που δεν αναφέρεται είναι η ευκολία αφαίρεσής του. Στις σύγχρονες απαιτήσεις που ορίζουν οι ναυτιλιακοί



οργανισμοί, πολλές μέθοδοι καθαρισμού της επιφάνειας προχωρούν και στην αφαίρεση του ασταριού, ώστε να υπάρχει βέλτιστη πρόσφυση της νέας στρώσης. Χρειάζεται ούτως ή άλλως προσοχή στη μεταχείριση των μεταλλικών πλακών, ώστε να μην αφαιρεθεί το αστάρι (μεταφορά, κοπή, συγκόλληση, συναρμογή). Όλα τα παραπάνω είναι επιπλέον συνιστώσες στην εύρυθμη λειτουργία του ναυπηγείου. Ακολουθεί σχετικός πίνακας (Πίνακας 1.6).

**Πίνακας 1.6 – Τύποι ασταριών προκατασκευής και οι επί μέρους ιδιότητες τους [17]**

Χαρακτηριστικά		Τύπος	Αστάρι Εποξειδικό	Ασάρια Ψευδαργύρου		
				Οργανικό	Ανόργανο	Τροποποιημένο Ανόργανο
Κύρια Συστατικά	Ρητίνες		Εποξειδικό	Αλκυδικό Πυριτικό	Ειδικό Πυριτικό	
	Πιγμέντα		Σκόνη Ψευδαργύρου	Σκόνη Ψευδαργύρου	Σκόνη Ψευδαργύρου	
Συσκευασία			2 προϊόντα	2 προϊόντα	2 προϊόντα	
Επιφανειακή Κατεργασία			Sa 2.5	Sa 2.5	Sa 2.5	
Ευχρηστία Εφαρμογής			Πολύ Καλή	Καλή	Καλή	
Στερεοποίηση			Καλή	Καλή	Πολύ Καλή	
Ικανότητα Προσκόλλησης			Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	
Διάρκεια Προστασίας			3 μήνες	6 μήνες	12 μήνες	
Αντίσταση σε Νερό (Γλυκό & Θαλασσινό)			Καλή	Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	
Ευκολία Συγκόλλησης			Καλή	Καλή	Πολύ Καλή	
Ευκολία Κοπής			Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	
Αντοχή στην Υψηλή Θερμοκρασία			Καλή	Καλή	Πολύ Καλή	
Ικανότητα Επικάλυψης	Oleoresinous/alkyd		Καλή	Μέτρια	Μέτρια	
	Χλωριωμένο Ελαστικό		Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	Καλή	
	Βυνιλική Ρητίνη		Καλή	Καλή	Μέτρια	
	Εποξειδική Ρητίνη		Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	
	Τροποποιημένη Εποξειδική Ρητίνη		Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	
	Εποξειδική Ρητίνη με Πίσσα		Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	
	Ανόργανο Αστάρι Ψευδαργύρου		Μέτρια	Μέτρια	Πολύ Καλή	

Μία ακόμα σημαντική παράμετρος στην επιλογή επικαλυπτικών είναι η δυνατότητά τους να επισκευαστούν με ευκολία. Δυστυχώς κάτι τέτοιο συχνά παραβλέπεται, καθώς άλλες παράμετροι όπως, το αρχικό κόστος κτήσης και η ευκολία εφαρμογής του αρχικού συστήματος βαφής, παραγκωνίζουν την ουσιαστική αυτή προδιαγραφή. Καταλήγουν λοιπόν πλοία μετά το πέρας κάποιων ετών λειτουργίας, αφού έχει εξασφαλιστεί η διάρκεια εγγύησης του ναυπηγείου, να αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα διάβρωσης. Κάτι τέτοιο τα εμποδίζει να ναυλωθούν σε καλή τιμή, να ασφαλιστούν με ωφέλιμους όρους ή να μεταπωληθούν σε καλή

τιμή. Εκτός από περιοχές της μεταλλικής κατασκευής που είναι εύκολα προσβάσιμες και επιθεωρήσιμες, όπως τα έξαλλα, το κύριο κατάστρωμα και οι υπερκατασκευές και στις άλλες περιοχές του πλοίου, η συντήρηση πρέπει να απαιτείται στον ελάχιστο βαθμό. Για δυσπρόσιτες περιοχές όπως, τα ύφαλα, οι δεξαμενές φορτίου και κυρίως οι δεξαμενές έρματος, η επιλογή τεχνικά άρτιου συστήματος προστασίας κάνει τη διαφορά. Στον Πίνακα 1.6 που ακολουθεί παρουσιάζεται η δυνατότητα εφαρμογής νέας επικάλυψης στην ήδη υπάρχουσα κατά την επισκευή.

**Πίνακας 1.6 – Δυνατότητα νέας επικάλυψης κατά την επισκευή [17]**

Σύμβολα: 1: Συμβατό, 2: Συμβατό με τράχυνση επιφάνειας, 3: Συμβατό ανάλογα με τον τύπο, 4: Μη Συμβατό,

-: Δεν έχει δοκιμαστεί

Επιπλέον Στρώση Υπάρχουσα Στρώση	Επιπλέον Στρώση														
	OP/AK	PH	AC	SA	CR	V	EP	ME	PU	AU	FL	AS	OS	TE	IZ
Ρητινώδες Ολεούλιο (OP/AK)	1	1	4	1	1	4	3	3	4	4	4	4	4	4	-
Φαινολική Ρητίνη (PH)	-	2	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	-
Ακρυλικό (AC)	-	-	1	-	4	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Αλκυδική Σιλικόνη (SA)	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Χλωριωμένο Ελαστικό (CR)	4	-	1	-	1	-	3	3	-	-	-	1	-	-	-
Βινύλιο (V)	4	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Εποξειδικό (EP)	-	-	2	-	2	-	2	2	2	2	2	2	2	-	3
Τροποποιημένο Εποξειδικό (ME)	3	3	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3
Πολυουρεθάνη (PU)	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2	2	2	2	-	-
Ακρυλική Ουρεθάνη (AU)	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	2	2	2	-	-
Φθόριο (Σκληρυνόμενο σε θερμοκρασία δωματίου) (FL)	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	2	-	-	-	-
Ακρυλική Σιλικόνη (AS)	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	2	2	2	-	-
Οργανοπολυσιλοξάνια (OS)	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	2	-	-
Εποξειδικό με Πίσσα (TE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
Ανόργανο Ψευδαργύρου (IZ)	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	1	1	-	1

**Κατηγοριοποίηση επικαλυπτικών ανά μέρος/τύπο πλοίου [5]**

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα είδη των συστημάτων επικάλυψης που χρησιμοποιούνται, ανάλογα το τμήμα του πλοίου που εφαρμόζονται και τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν. Γίνεται αναφορά, επίσης, στην προετοιμασία της επιφάνειας<sup>†</sup>, πριν την εφαρμογή του συστήματος επικάλυψης. Χρήσιμες κρίνονται και κάποιες σημειώσεις

**Ύφαλα κατασκευής**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Αμμοβολή (Sa 2,5), άθικτο αστάρι, καθαρό αστάρι από σκουριά (π.χ. με μηχανική τριβή St 3)

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντιδιαβρωτικό, αδιαπέραστο από υγρασία, ανθεκτικό στην τριβή και στην προσκόλληση θαλάσσιων οργανισμών, λείο, συμβατό με καθοδική προστασία.

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Υψηλής αντοχής, εποξειδικό με πίσσα ή πολυουρεθάνη με πίσσα ( $\geq 250\mu\text{m}$ ), βινύλιο με πίσσα ( $\geq 200\mu\text{m}$ ), κλωριωμένο ελαστικό ( $\geq 200\mu\text{m}$ ), πολυμερή βινυλίου ( $\geq 200\mu\text{m}$ ) και δύο ή περισσότερες στρώσεις αντιρρυπαντικού

*Σημειώσεις* - Σε περιοχές της κατασκευής με υψηλή φθορά (ρυμουλκά, πλοία λιμένων) χρησιμοποιούνται πολυεστερικά με ενισχύσεις φολίδων γυαλιού (500-2000 $\mu\text{m}$ )

**Ίσαλος Ζώνη**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Όμοια με παραπάνω

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντιδιαβρωτικό, αδιαπέραστο από υγρασία και καιρικές συνθήκες, ανθεκτικό στην κρούση, στα έλαια και στην προσκόλληση θαλάσσιων οργανισμών, λείο, συμβατό με καθοδική προστασία

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Υψηλής αντοχής, όπως και στα ύφαλα, ίσως με μία επιπλέον στρώση στην περιοχή αυτή, αν και η καθολική χρήση αντιρρυπαντικού σαν τελική στρώση τείνει να εξαλείψει αυτή την απαίτηση

*Σημειώσεις* - Όμοια με παραπάνω, σε ειδικές κατασκευές προτιμώνται τα επικαλυπτικά με ενίσχυση φολίδων γυαλιού

**Έξαλλα και Υπερκατασκευές**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Όμοια με παραπάνω

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντιδιαβρωτικό, αδιαπέραστο από υγρασία και καιρικές συνθήκες, ανθεκτικό στην κρούση και την απόξεση, εύκολο στον καθαρισμό, αισθητικά αποδεκτό

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Υψηλής αντοχής, εποξειδική ρητίνη ( $\geq 200\mu\text{m}$ ), ρητίνη πολυουρεθάνης ( $\geq 200\mu\text{m}$ ), πολυμερή βινυλίου ( $\geq 200\mu\text{m}$ )

*Σημειώσεις* - Η τελική στρώση συνήθως δεν είναι υψηλής αντοχής ώστε να καθαρίζεται ευκολότερα και να έχει αισθητικό αποτέλεσμα. Ειδικά στις υπερκατασκευές προτιμώνται επικαλυπτικά με σταθερότητα χρώματος και λάμψης. Προσοχή πρέπει να δοθεί στη βαφή μηχανημάτων καταστρώματος και την επαρκή αντιδιαβρωτική προστασία αυτών.

<sup>†</sup> Η κατηγοριοποίηση των επιφανειακών κατεργασιών, καθώς και διάφορες μέθοδοι προετοιμασίας της μεταλλικής επιφάνειας, πριν την εφαρμογή των επικαλύψεων, περιγράφονται στο Κεφάλαιο 4 της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

**Κύριο κατάστρωμα**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Όμοια με παραπάνω

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντιδιαβρωτικό, αδιαπέραστο από υγρασία και καιρικές συνθήκες, ανθεκτικό στην κρούση και την απόξεση, αντιολισθητικό, ανθεκτικό σε άλατα, έλαια, γράσο, διαλύτες, καθαριστικά και στο ίδιο το φορτίο

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Υψηλής αντοχής, εποξειδική ρητίνη ( $\geq 200\mu\text{m}$ ), ρητίνη πολυουρεθάνης ( $\geq 200\mu\text{m}$ ), πολυμερή βινυλίου ( $\geq 200\mu\text{m}$ ), πυριτικό ψευδάργυρο ( $\geq 120\mu\text{m}$ ), με την τελική στρώση απαραίτητως αντιολισθητική

*Σημειώσεις* - Ειδικά για δεξαμενόπλοια μεταφοράς πετρελαιοειδών και χημικών προϊόντων, συνιστάται η χρήση εποξειδικών επικαλυπτικών, καθώς παρέχουν υψηλή αντοχή σε χημικά και διαλύτες

**Δεξαμενές Ξηρού Φορτίου**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Όμοια με παραπάνω.

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντιδιαβρωτικό, ανθεκτικό στη χρήση, την κρούση, την απόξεση, με καλή πρόσφυση στην προστετευόμενη επιφάνεια, να μην επηρεάζει το φορτίο (ειδικά σε προϊόντα κατανάλωσης, σιτηρά, έλαια, κρασί κ.τ.λ.)

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Υψηλής αντοχής, εποξειδική ρητίνη ( $\geq 200\mu\text{m}$ ), ρητίνη πολυουρεθάνης ( $\geq 200\mu\text{m}$ ), πυριτικός ψευδάργυρος ( $\geq 120\mu\text{m}$ )

*Σημειώσεις* - Ειδικά για πλοία μεταφοράς ορυκτών, κάρβουνου και scrap συνιστάται η χρήση επικαλυπτικών υψηλής αντοχής, ενώ για φορτία πρώτων υλών τροφίμων απαιτείται ειδική έγκριση για τα επικαλυπτικά

**Δεξαμενές Έρματος**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Όμοια με παραπάνω

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντιδιαβρωτικό, χωρίς πόρους, ανθεκτικό στην υγρασία, συμβατό με καθοδική προστασία, εφόσον επιλεγεί συνδυασμός μεθόδων.

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Υψηλής αντοχής, εποξειδική ρητίνη ( $\geq 250\mu\text{m}$ ), ρητίνη πολυουρεθάνης ( $\geq 250\mu\text{m}$ )

*Σημειώσεις* - Σύμφωνα με τη σύγχρονη πρακτική, οι δεξαμενές έρματος χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για θαλασσινό νερό. Αν παρ' ελπίδα χρησιμοποιούνται για αποθήκευση καυσίμου ή/και αργού πετρελαίου, οι προδιαγραφές του συστήματος βαφής προσαυξάνονται.

**Δεξαμενές Καυσίμου**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Απλώς να είναι καθαρές

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Κανένα

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Γενικά οι δεξαμενές καυσίμου δεν χρειάζονται προστατευτική επιστρώση

*Σημειώσεις* - Εξαιρέση αποτελούν οι δεξαμενές ελαφρού καυσίμου για ναυτικούς ατμοστρόβιλους, για τους οποίους οι δεξαμενές επιστρώνονται όπως εκείνες των χημικών, ούτως ώστε να μην υπάρξει μόλυνση του καυσίμου

**Δεξαμενές Λιπαντικών**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Πολύ καθαρή (γυαλισμένη) ή όπως στα ύφαλα της κατασκευής.

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντοχή στα λιπαντικά έλαια

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Επιλογή μεταξύ καμίας επίστρωσης ή ολικής/μερικής επίστρωσης με εποξειδικό σύστημα βαφής

*Σημειώσεις* - Στη μερική επίστρωση επικαλύπτονται μόνο η βάση και τα τοιχώματα της δεξαμενής

**Δεξαμενές Πόσιμου Νερού**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Όπως στα ύφαλα της κατασκευής

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντιδιαβρωτικό, χωρίς πόρους, ανθεκτικό στην υγρασία, χωρίς τοξικά συστατικά ή ουσίες που χρωματίζουν και αλλοιώνουν το νερό

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Υψηλής αντοχής, εποξειδική ρητίνη ( $\geq 250\mu\text{m}$ ), πολυμερή βινυλίου ( $\geq 250\mu\text{m}$ ) και μερικές φορές άοσμο και άγευστο γράσο σαν τελική επίστρωση

*Σημειώσεις* - Το σύστημα βαφής πρέπει να είναι εγκεκριμένο και στην περίπτωση χρήσης γράσου, η εφαρμογή να επαναλαμβάνεται τακτικά

**Δεξαμενές Γλυκού Νερού**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Όπως στα ύφαλα της κατασκευής, χωρίς αστάρι

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντιδιαβρωτικό, χωρίς πόρους, ανθεκτικό στο ζεστό αφιονισμένο νερό ή ουσίες που αλλοιώνουν το νερό

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Υψηλής αντοχής, εποξειδικό ( $\geq 250\mu\text{m}$ )

*Σημειώσεις* - Το σύστημα βαφής πρέπει να αποτελείται από τουλάχιστον 3 στρώσεις εποξειδικού, χαμηλής περιεκτικότητας σε στερεά, έτσι ώστε να σφραγίζει καλά την επιφάνεια και να μη δημιουργούνται φλύκταινες

**Δεξαμενές Αργού Πετρελαίου**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Όπως στα ύφαλα της κατασκευής

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντιδιαβρωτικό, χωρίς πόρους, ανθεκτικό στην υγρασία και στο φορτίο, συμβατό με καθοδική προστασία, εφόσον επιλεγεί συνδυασμός μεθόδων

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Υψηλής αντοχής, εποξειδική ρητίνη ( $\geq 250\mu\text{m}$ ), εποξειδικό με πίσσα ( $\geq 250\mu\text{m}$ ), πολυουρεθάνη με πίσσα ( $\geq 250\mu\text{m}$ )

*Σημειώσεις* - Σε μεγάλα δεξαμενόπλοια, μόνο ο πυθμένας και η οροφή της δεξαμενής, μαζί με 2m πλευρικής ζώνης εκατέρωθεν, βάφονται. Το μεγαλύτερο μέρος των εγκάρσιων φραχτών παραμένουν ακάλυπτα, με καθοδική προστασία μόνο χαμηλά σ' αυτές.

**Δεξαμενές Προϊόντων Πετρελαίου**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Αμμοβολή (Sa 2,5), χωρίς υπολείμματα ασαριού

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντιδιαβρωτικό, χωρίς πόρους, ανθεκτικό στο φορτίο, χωρίς συστατικά που μολύνουν το φορτίο

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Υψηλής αντοχής, εποξειδική ρητίνη ( $\geq 250\mu\text{m}$ ), ρητίνη πολυουρεθάνης ( $\geq 250\mu\text{m}$ ), πυριτικός ψευδάργυρος (120 $\mu\text{m}$ )

*Σημειώσεις* - Η χρήση ασαριού και επικαλυπτικών με ψευδάργυρο απαγορεύεται σε δεξαμενές μεταφοράς πολύ πτητικών καυσίμων

**Δεξαμενές Χημικών και Διαλυτών**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Αμμοβολή (Sa 2,5), χωρίς υπολείμματα ασταριού

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντιδιαβρωτικό, χωρίς πόρους, ανθεκτικό στο συγκεκριμένο φορτίο, χωρίς συστατικά που μολύνουν το φορτίο

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Υψηλής αντοχής, εποξειδική ρητίνη ( $\geq 250\mu\text{m}$ ), ρητίνη πολυουρεθάνης ( $\geq 250\mu\text{m}$ ), εποξειδική φαινολική ρητίνη ( $\geq 250\mu\text{m}$ )

*Σημειώσεις* - Στις δεξαμενές χημικών προϊόντων συνιστάται αύξηση του πάχους του συστήματος βαφής ( $\geq 300\mu\text{m}$ )

**Δεξαμενές Υγρών Καταναλωτικών Πρώτων Υλών**

*Προετοιμασία επιφάνειας* - Αμμοβολή (Sa 2,5), χωρίς υπολείμματα ασταριού

*Απαιτήσεις Συστήματος Βαφής* - Αντιδιαβρωτικό, χωρίς πόρους, ανθεκτικό στο φορτίο, χωρίς τοξικά συστατικά ή ουσίες που χρωματίζουν και αλλοιώνουν το φορτίο

*Συμβατά Συστήματα Βαφής* - Υψηλής αντοχής, εποξειδική ρητίνη ( $\geq 300\mu\text{m}$ )

*Σημειώσεις* - Το σύστημα βαφής πρέπει να είναι εγκεκριμένο για χρήση σε τρόφιμα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Διάβρωση δεξαμενών έρματος

### 2.1 - Εισαγωγή

Οι συνθετέστεροι τύποι διάβρωσης των ναυπηγικών κατασκευών έχουν ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 1. Στο παρόν Κεφάλαιο 2 θα αναπτυχθούν τα είδη της διάβρωσης που εμφανίζονται στις δεξαμενές έρματος, καθώς και οι συνθήκες που ευνοούν τη διάβρωση στους χώρους αυτούς. Η διάβρωση στις δεξαμενές έρματος είναι εντονότερη από ότι σε άλλες περιοχές της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, γεγονός που οφείλεται στις συνθήκες λειτουργίας των δεξαμενών.

#### 2.1.1 - Παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό διάβρωσης στις δεξαμενές έρματος [13], [14], [26]

Οι δεξαμενές, είτε πρόκειται για δεξαμενές έρματος ή φορτίου βρίσκονται στο πιο διαβρωτικό περιβάλλον που συναντάται στα πλοία. Οι δεξαμενές έρματος γεμίζονται περιοδικά με θαλασσινό νερό (που αποτελεί τον ιδανικό ηλεκτρολύτη για την εξέλιξη της διάβρωσης) και εκτίθενται σε συνθήκες έντονης συμπύκνωσης σε όλες τις εσωτερικές επιφάνειες κατά τη διάρκεια των ταξιδιών με φορτίο. Για τους παραπάνω λόγους οι δεξαμενές έρματος παρουσιάζουν έντονη διάβρωση ενώ η προστασία τους καθίσταται δύσκολη.

Παρά τις εξελίξεις στον τομέα των ναυπηγικών κατασκευών, τα πλοία που κατασκευάζονται έχουν σημεία στα οποία ευνοείται η εμφάνιση διάβρωσης. Πολύ συχνά συναντώνται σημεία στην κατασκευή στα οποία είναι σχεδόν αδύνατο να αποτραπεί η διάβρωση, είτε επειδή βρίσκονται σε γεινίαση με άλλα στοιχεία της κατασκευής είτε επειδή το σχήμα τους είναι τέτοιο που δεν ευνοεί την καλή εφαρμογή μεθόδων προστασίας.

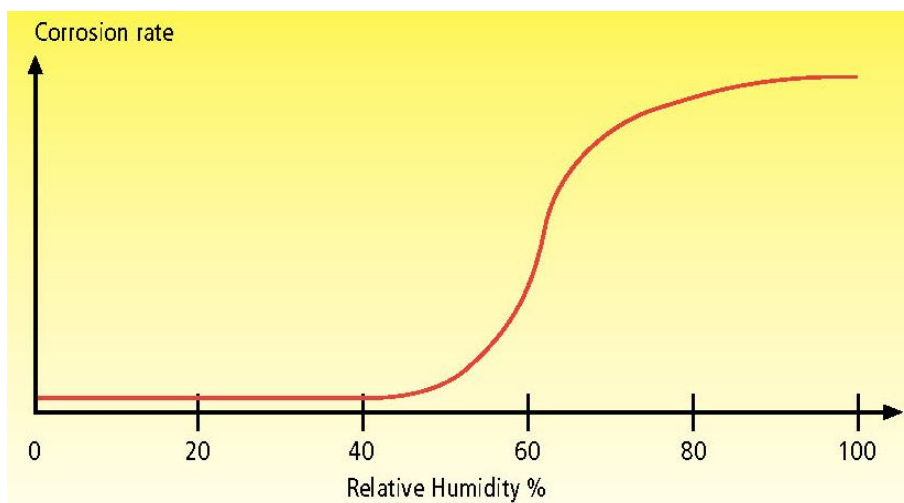
Η αλλαγή από τις κατασκευές μονής σε διπλή γάστρα δημιούργησαν νέες συνθήκες λειτουργίας οι οποίες καθιστούν τη διάβρωση πολύ σημαντικό παράγοντα. Ως αποτέλεσμα, οι εσωτερικές επιφάνειες στις δεξαμενές έρματος σε πλοία διπλής γάστρας αυξάνονται από 3 έως 6 φορές, καθιστώντας δυσκολότερη τόσο την προστασία, όσο και την επιθεώρηση. Επίσης, τα περισσότερα από τα κατασκευαστικά στοιχεία σχεδιάζονται να βρίσκονται μέσα στις δεξαμενές έρματος, δημιουργώντας έτσι σημεία που ευνοούν την ανάπτυξη της διάβρωσης και δυσχεραίνουν την πρόσβαση. Το εσωτερικό των ελασμάτων του πυθμένα είναι συνεχώς υγρό, καλύπτεται με λάσπη και πολλές φορές είναι βυθισμένο ανάλογα με το βύθισμα του πλοίου.

Οι επικαθήσεις λάσπης, σε συνδυασμό με την υψηλή θερμοκρασία που αναπτύσσεται, μέσα στις δεξαμενές έρματος, δημιουργούν ένα ιδανικό περιβάλλον για την εμφάνιση βιολογικής διάβρωσης (*microbiologically induced corrosion*) και την παραγωγή αερίου υδρόθειου.

Το εσωτερικό κέλυφος της διπλής γάστρας υπόκειται σε συχνές και μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, συνθήκες που ευνοούν τη διάβρωση. Είναι γνωστό ότι η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει το ρυθμό μιας αντίδρασης. Η μέση θερμοκρασία του φορτίου αργού πετρελαίου σε κατασκευή διπλής γάστρας είναι μεγαλύτερη από εκείνη σε κατασκευή μονής γάστρας κατά περίπου 20° C στα πρώτα στάδια ενός ταξιδιού εξαιτίας της μόνωσης που παρέχεται από το χώρο της διπλής γάστρας.

Πολλές φορές επίσης, στις δεξαμενές έρματος προστίθεται υποχλωριώδες νάτριο σε κάποιες περιοχές για την αντιμετώπιση της εξάπλωσης της χολέρας και άλλων ασθενειών. Τέτοιες ουσίες αποτελούν ισχυρά οξειδωτικά και ευνοούν τη διάβρωση.

Επισημαίνεται ο καθοριστικός ρόλος της υγρασίας της ατμόσφαιρας εντός των δεξαμενών. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την αύξηση του ρυθμού διάβρωσης, αναλογικά με το ποσοστό υγρασίας της ατμόσφαιρας (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 - Σχέση ρυθμού διάβρωσης – ποσοστού υγρασίας [26]

Η εκτίμηση του ρυθμού διάβρωσης είναι πολύ δύσκολη. Ο λόγος είναι η ύπαρξη πολλών παραμέτρων, σχετικών με τις συνθήκες περιβάλλοντος. Όμως και μετά την εμφάνιση κάποιας μορφής διάβρωσης, τα προϊόντα αυτής μπορούν να αλλάξουν την ταχύτητα του φαινομένου, να την μειώσουν ή να την αυξήσουν, καθώς οι συνθήκες λειτουργίας και περιβάλλοντος μεταβάλλονται συνεχώς. Η διαβρωτικότητα ενός ηλεκτρολύτη μεταβάλλεται, το θαλασσινό νερό επιδρά διαφορετικά ανά γεωγραφική περιοχή και εποχή του χρόνου. Τέτοιες παράμετροι λοιπόν, είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία, τόσο του ηλεκτρολύτη, όσο και του περιβάλλοντος
- Αλατότητα, η οποία, όπως αναφέρθηκε, έχει μεταβλητή τιμή
- Περιεκτικότητα ηλεκτρολύτη και περιβάλλοντος σε οξυγόνο
- Τύπος ηλεκτρολύτη, καθώς το θαλασσινό νερό μπορεί να είναι μολυσμένο με καύσιμα ή έλαια του πλοίου. Η περίπτωση αυτή ήταν συχνότατη παλαιότερα, όταν οι δεξαμενές έρματος δε χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά για έρμα (*dedicated WBT*), αλλά ήταν γενικής χρήσης
- Ύπαρξη μικροοργανισμών στις δεξαμενές, από πλεύση σε ρηκά ύδατα ή ποτάμια/λίμνες

Άλλοι παράγοντες που επιδρούν καταλυτικά στην αύξηση του ρυθμού διάβρωσης είναι:

- Συνθήκες λειτουργίας που δεν επιτρέπουν την εξάτμιση του νερού (κλειστές δεξαμενές)
- Η αυξημένη αγωγιμότητα στο φιλμ του νερού πάνω στο μέταλλο, λόγω ύπαρξης αλάτων
- Περιβαλλοντική καταπόνηση, όπως οι υψηλές θερμοκρασίες



- Ταχείες μεταβολές στις περιβαλλοντικές συνθήκες (ημερήσια εναλλαγή θερμοκρασίας κατά την ημέρα-νύχτα, συμπύκνωση ατμοσφαιρικού αέρα στις μεταλλικές επιφάνειες)
- Μηχανικές καταπονήσεις, οι οποίες καταστρέφουν τα προστατευτικά συστήματα των επικαλυπτικών (ελαστικές παραμορφώσεις λόγω ταλαντώσεων πλοίου, ζημιές από συγκρούσεις/προσαράξεις)
- Η αφαίρεση της παθητικής προστατευτικής στρώσης οξειδίου του μετάλλου που δημιουργείται αυτόματα από υψηλή πίεση κατά τη ροή του νερού (γέμισμα και άδειασμα δεξαμενών)

Η διάβρωση καθαυτή, μπορεί να μετρηθεί, ανάλογα με τη μορφή της, σε mm για το βάθος της στη γενική διάβρωση, σε mm για τη διείσδυση σε τοπική διάβρωση (βελονισμούς), σε  $g/cm^2$  για έκφραση απώλειας υλικού ή τέλος σε mm/έτος για ετήσιο ρυθμό διάβρωσης.

## 2.2 - Συνήθεις μορφές διάβρωσης στις δεξαμενές έρματος [26], [29], [30]

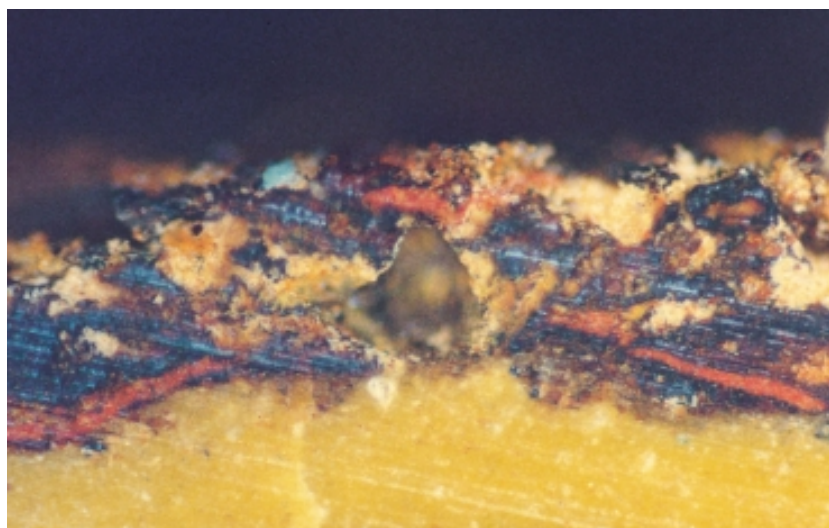
### 2.2.1 - Γενική διάβρωση (*General corrosion*)

Η πιο συνήθης μορφή διάβρωσης είναι η γενική διάβρωση. Το βασικό χαρακτηριστικό είναι η δράση της ηλεκτροχημικής αντίδρασης σε ολόκληρη τη μεταλλική επιφάνεια ή στο μεγαλύτερο ποσοστό αυτής (Εικόνα 2.1). Στην περίπτωση αυτή όλα τα σημεία της μεταλλικής επιφάνειας εκτίθενται με παρόμοιο τρόπο στο διαβρωτικό περιβάλλον με την προϋπόθεση ότι το μέταλλο έχει παρόμοια σύσταση και μικρογραφική δομή. Χαρακτηρίζεται από την ηλεκτροχημική δράση που προχωράει ομοιόμορφα στο σύνολο ή στο μεγαλύτερο μέρος της εκτεθειμένης επιφάνειας, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός ομοιόμορφου και περίπου ισοπαχούς στρώματος προϊόντος διάβρωσης ή ομοιόμορφης διάλυσης της επιφάνειας. Αποτελεί είδος διάβρωσης που μπορεί να προβλεφτεί και συνεπώς αποδεκτό κατά το σχεδιασμό μιας κατασκευής.

Από μικροσκοπική παρατήρηση της επιφάνειας, παρατηρούνται ανωμαλίες και πόροι (Εικόνα 2.3). Στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, η εικόνα δείχνει τη σύσταση του μετάλλου από διαφορετικούς κρυστάλλους. Πρόκειται για ηλεκτρικά στοιχεία, τα οποία στη γενική διάβρωση δρουν ως κατανεμημένες άνοδοι και κάθοδοι στην επιφάνεια. Τα ηλεκτρικά στοιχεία αντιδρούν με το οξυγόνο και την υγρασία του περιβάλλοντος χώρου, δημιουργώντας τη σκουριά. Η όψη της επιφάνειας αλλάζει, επιστρέφοντας στην αρχική μορφή του ορυκτού σιδήρου, του οποίου κύριο συστατικό είναι το υπεροξείδιο του σιδήρου (ή σκουριά).



Εικόνα 2.2 - Γενική διάβρωση σε δεξαμενή έρματος [39]



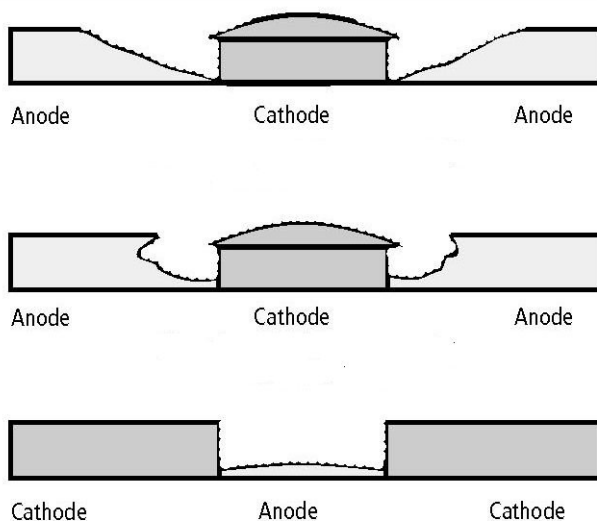
Εικόνα 2.3 - Λόγω του ελλιπούς καθαρισμού της επιφάνειας πριν τη βαφή, δημιουργήθηκε διάβρωση στο μέταλλο και η σκουριά ανύψωσε το σύστημα του επικαλυπτικού [26]

Η γενική διάβρωση μειώνει ομοιόμορφα το πάχος του μετάλλου στην επιφάνειά του, με το πέρασ του χρόνου. Ο ρυθμός διάβρωσης αποτελεί μετρήσιμο μέγεθος, το οποίο υπάρχει σε ειδικούς πίνακες. Αν δοθεί προσαύξηση στο πάχος μετάλλου, για προστασία από τη γενική διάβρωση (π.χ. 0,12 mm ανά έτος) σε μία 15ετία η φθορά φτάνει τα 1,8 mm, επομένως για 15 έτη λειτουργίας μία ανοχή 2,0 mm κρίνεται επαρκής. Όμως ο ρυθμός διάβρωσης δεν παραμένει σταθερός, εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας, μπορεί να πλήξει ανομοιογενώς κάποιες περιοχές και στις πιο δυσμενείς συνθήκες μπορεί να δεκαπλασιαστεί, τοπικά. Το συμπέρασμα είναι ότι ο συντελεστής ασφάλειας από μόνος του δεν επαρκεί και οδηγείται ο σχεδιαστής σε αντιστοιχομητική κατασκευή.

### 2.2.2 - Γαλβανική διάβρωση (*Galvanic corrosion*)

Η γαλβανική διάβρωση παρουσιάζεται όταν μέταλλα διαφορετικής δραστηριότητας έλθουν σε αγώγιμη επαφή, ή μέσω ενός μη μεταλλικού υλικού, όπως ο άνθρακας και η καλαμίνη. Τα μέταλλα πρέπει επίσης να εκτίθενται σε διαβρωτικό περιβάλλον, το οποίο δρα ως ηλεκτρολύτης. Όταν δύο μέταλλα έλθουν σε αγώγιμη επαφή, το πιο δραστικό, δρα ως άνοδος και φθείρεται με σημαντικά αυξημένο ρυθμό, ενώ το λιγότερο δραστικό δρα ως κάθοδος και έχει πολύ μικρότερο ρυθμό.

Η ένταση του φαινομένου εξαρτάται από την αγωγιμότητα του ηλεκτρολύτη και την αναλογία εμβαδού ανόδου-καθόδου. Στην εικόνα που ακολουθεί έχουμε τρεις περιπτώσεις γαλβανικής διάβρωσης (Εικόνα 2.4). Στο πάνω σχήμα η αγωγιμότητα είναι καλή και η διάβρωση κατανεμημένη. Στο μέσο, η αγωγιμότητα είναι κακή και η διάβρωση συγκεντρωμένη. Στο κάτω σχήμα η επιφανειακή κατανομή είναι λάθος (η μικρή άνοδος θα φθαρεί τάχιστα).



Εικόνα 2.4 - Γαλβανική διάβρωση σε διαφορετικές εκτάσεις [26]

Μία επιπλέον παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη στη γαλβανική διάβρωση είναι η απόσταση μεταξύ των δύο μετάλλων, ανόδου και καθόδου. Όσο αυξάνεται η απόσταση, η διάβρωση ελαττώνεται, λόγω αύξησης της ωμικής αντίστασης. Αυτός είναι κι ο λόγος που οι άνοδοι στις δεξαμενές δεν προσαρτώνται απ' ευθείας στην επιφάνεια, αλλά σε ειδικές βάσεις.

Όπως ζητείται η απομάκρυνση της ανόδου από την προστατευόμενη επιφάνεια, έτσι για λόγους αύξησης της ωμικής αντίστασης, η χρήση επικαλυπτικών δρα ευεργετικά, αυξάνοντας την αντίσταση στο ηλεκτρικό κύκλωμα.

Η αλατότητα, η θερμοκρασία και το pH είναι επίσης συνιστώσες του προβλήματος.

Σύμφωνα, λοιπόν με τα παραπάνω, η γαλβανική διάβρωση συνδέεται άμεσα με τη συνεργασία των θυσιαζόμενων ανόδων και της μεταλλικής επιφάνειας στη δεξαμενή. Εφόσον επιλεγεί προστασία πέραν του επικαλυπτικού, η χρήση ανόδων δεν αποτελεί πανάκεια. Οι άνοδοι πρέπει να τοποθετηθούν σωστά, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το φαινόμενο της γαλβανικής διάβρωσης. Περισσότερα στη σχετική ενότητα περί προστασίας των δεξαμενών με επικαλυπτικά και ανόδους.

### 2.2.3 - Διάβρωση με βελονισμούς (*Pitting corrosion*)

Η διάβρωση με βελονισμούς είναι εξαιρετικά εντοπισμένη μορφή προσβολής, όπου εμφανίζεται εκλεκτικός τοπικός σχηματισμός προϊόντος διάβρωσης. Αποτέλεσμα είναι η δημιουργία οπών, κρατήρων και εσοχών στο μέταλλο, οι οποίες πολύ συχνά συγκαλύπτονται από τα προϊόντα της διάβρωσης.

Έχει τοπικό χαρακτήρα και οφείλεται σε ακαθαρσίες του μετάλλου ή σε καταστροφή του προστατευτικού επιστρώματος. Η δράση φτάνει σε βάθος στο υλικό και ο ρυθμός διάβρωσης μπορεί να γίνει υψηλός. Οι οπές που δημιουργούνται μπορούν να είναι μικρές ή μεγάλες, συνήθως όμως είναι μικρές. Η διάβρωση με βελονισμούς είναι ιδιαίτερα δυσμενής γιατί το πρόβλημα δεν εμφανίζεται στην πλήρη έκτασή του όπως στη γενική διάβρωση. Η οπή είναι καλύτερο να θεωρείται κοιλότητα, της οποίας η έκταση υπερβαίνει την μακροσκοπικά ορατή. Η κοιλότητα έχει διάμετρο περίπου ίση με το βάθος διείσδυσης. Η αστοχία από βελονισμό μπορεί να επέλθει ταχύτατα και μάλιστα σε μια φαινομενικά άθικτη κατασκευή (Εικόνα 2.5).

Ο συνδυασμός ισχυρού οξειδωτικού, που διατηρεί την παθητικοποίηση (για παράδειγμα όξινο διάλυμα) και η παρουσία χλωριόντων αποτελούν αρκετά έντονο περιβάλλον για την εκτίμηση της αντοχής ανοξειδωτων κραμάτων έναντι της διάβρωσης με βελονισμούς.

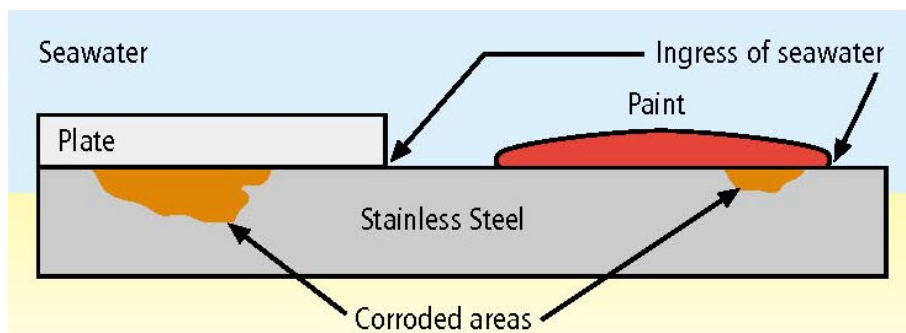


Εικόνα 2.5 - Διάβρωση με βελονισμούς, μεγάλης έκτασης, σε δεξαμενή [26]

Η διάβρωση με βελονισμούς δεν είναι προβλέψιμη, ιδιαίτερα στην περίπτωση δημιουργίας βελονισμών με μεγάλο βάθος. Ο ρυθμός εξέλιξης των βελονισμών μπορεί να μεταβάλλεται, ενώ εξαρτάται από τη συγκέντρωση του διαβρωτικού περιβάλλοντος, μέσα και έξω από τους βελονισμούς. Βελονισμοί μπορεί να ξεκινήσουν από σημεία επιφανειακής ασυνέχειας, εγκλείσματα σουλφιδίων, ανεπαρκή παρουσία αναστολέων διάβρωσης, σημεία αστοχίας των προστατευτικών επικαλύψεων (κενά, εκδορές). Πολλές φορές βελονισμοί σχηματίζονται από αποθέσεις ιλύος, άμμου ή σκόνης, που είναι το συνηθέστερο φαινόμενο στις δεξαμενές έρματος.

#### 2.2.4 - Διάβρωση χαραγής (*Crevice corrosion*)

Πρόκειται για άλλον ένα τύπο έντονης, τοπικής διάβρωσης. Απαντάται σε μικρά διάκενα μετάλλου, ρωγμές και κάτω από επικαθήσεις υλικού, όπως παλαιό επικαλυπτικό, βρωμιά, ίζημα, λάσπη κ.τ.λ. (Εικόνα 2.6). Οι επικαθήσεις υλικού είναι συνηθισμένες στον πυθμένα των δεξαμενών έρματος, εξαιτίας της άντλησης θαλασσινού και μερικές φορές γλυκού νερού από περιοχές με μικρό θαλάσσιο βάθος, με αποτέλεσμα εκεί να εμφανίζονται φαινόμενα διάβρωσης χαραγής. Γενικότερα, στις περιοχές της μεταλλικής κατασκευής όπου η παρουσία οξυγόνου είναι χαμηλή, ευνοείται η ανάπτυξη διάβρωσης χαραγής. Ουσιαστικά, είναι συχνότερη η εμφάνιση αυτής της διάβρωσης κάτω από επικαθήσεις, έτσι μια δεύτερη ονομασία της είναι «διάβρωση επικαθήσεων» (*deposit corrosion*).



Εικόνα 2.6 - Διάβρωση σε ρωγμές – Μηχανισμός δράσης [26]

Σχετικά με το μηχανισμό δράσης, σημειώνεται ότι η απουσία οξυγόνου εμποδίζει τη δημιουργία προστατευτικών οξειδίων στην επιφάνεια του μετάλλου. Στα διάκενα που δημιουργούνται εισχωρεί διαβρωτικό ρευστό (θαλασσινό νερό) και εφόσον δε σχηματίζονται κοιλότητες όπως στους βελονισμούς, δημιουργείται ένα ιδιο-περιβάλλον πολύ πιο όξινο και διαβρωτικό, επιζήμιο για τη μεταλλική κατασκευή. Η περίπτωση ύπαρξης ιόντων χλωρίου στο δραστικό διάλυμα, όπως στην περίπτωση του θαλασσινού νερού οδηγεί στην αυξημένη συχνότητα εμφάνισης τέτοιας μορφής διάβρωσης στις ναυπηγικές κατασκευές.

#### 2.2.5 – Ρωγμάτωση από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση (*Stress corrosion cracking*)

Οι ρωγμές σε μια κατασκευή μπορούν να δημιουργηθούν από πολλούς λόγους, μια συνήθης αιτία είναι η ύπαρξη παραμενουσών τάσεων από τη φάση της ανέγερσης, πριν ασκηθούν τάσεις εξαιτίας της λειτουργίας του πλοίου. Το φαινόμενο γίνεται πολύ πιο έντονο, μειώνοντας σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού, όταν συνυπάρχει διαβρωτικό περιβάλλον.

Το αποτέλεσμα συνέργειας εφελκυστικών δυνάμεων και διάβρωσης είναι σύντομη, ξαφνική και συχνά με καταστρεπτικά αποτελέσματα αστοχία. Αυτός είναι ο λόγος που εξετάζεται ως μορφή διάβρωσης και όχι αποκλειστικά ως μηχανική ιδιότητα. Τα πιο γνωστά μέταλλα που επηρεάζονται από τη διάβρωση με μηχανική καταπόνηση είναι οι ωστενιτικοί χάλυβες (που περιέχουν χρώμιο και νικέλιο), καθώς και κράματα αλουμινίου.

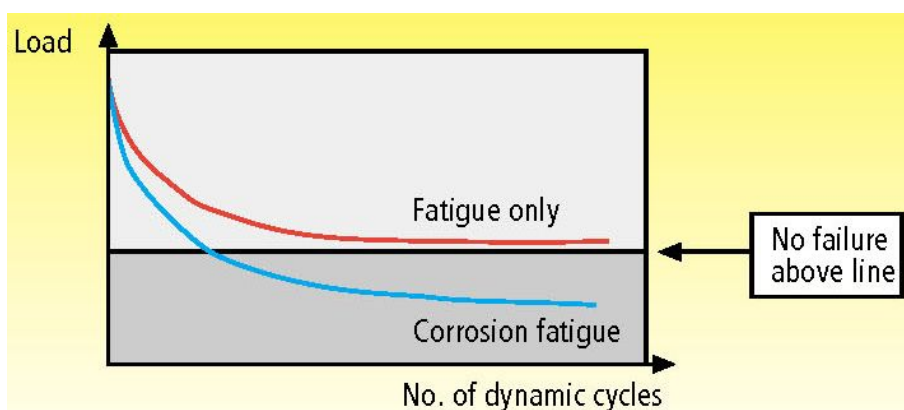
Αυτή η μορφή διάβρωσης ευνοείται όταν το υλικό εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες, άνω των 60° C, που αποτελούν συνήθεις συνθήκες στις δεξαμενές έρματος, τόσο εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας, όσο και εξαιτίας του φορτίου, στην περίπτωση πετρελαιοφόρων.

Η καλύτερη λύση για την προστασία της κατασκευής έγκειται στη σωστή εκτέλεση των εργασιών μεταλλικής κατασκευής (έλαση, συγκόλληση, τοποθέτηση) για την αποφυγή παραμενουσών τάσεων και βέβαια στον πλήρη καθαρισμό και στην επιθεώρηση της επιφάνειας πριν την επικάλυψη. Όπως γίνεται αντιληπτό, η τήρηση αυξημένων κατασκευαστικών προδιαγραφών προστατεύει τις δεξαμενές από αυτήν και από άλλες μορφές διάβρωσης και κατά συνέπεια, από αστοχία.

### 2.2.6 - Διάβρωση με κόπωση (*Fatigue corrosion*)

Όπως και στη διάβρωση με μηχανική καταπόνηση, πρόκειται για συνδυασμό μηχανικής καταπόνησης και διάβρωσης. Η μεταλλική κατασκευή των δεξαμενών έρματος καταπονείται από την εναλλαγή θλίψης και εφελκυσμού που παρατηρείται κατά την πλεύση του πλοίου. Το φαινόμενο είναι πιο έντονο στην περιοχή κοντά στη μέση τομή του πλοίου, όπου τα φαινόμενα *hogging* και *sagging* είναι πιο έντονα.

Ανεξάρτητα από την προστασία που παρέχουν τα επικαλυπτικά στη μεταλλική κατασκευή, η κόπωση εξασθενεί μέταλλο και επικαλυπτικό σύστημα, ειδικά όταν χρησιμοποιείται χάλυβας υψηλής αντοχής. Ιδιαίτερα όταν τα επικαλυπτικά που χρησιμοποιούνται είναι σημαντικού πάχους (στις δεξαμενές έρματος φθάνουν τα 800μm), η κόπωση προκαλεί διαρροή του επικαλυπτικού και κατά συνέπεια παρέχει διόδους πρόσβασης στο διαβρωτικό περιβάλλον να έλθει σε επαφή με το μέταλλο, ακόμα και να διεισδύσει μεταξύ μετάλλου και επικαλυπτικού.



Εικόνα 2.7 - Διάβρωση με κόπωση, σε σύγκριση με κόπωση μόνο [26]

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα (Εικόνα 2.7), ο σχεδιασμός της κατασκευής λαμβάνει υπόψη την κόπωση (κόκκινη καμπύλη), όμως με την ταυτόχρονη δράση της διάβρωσης (μπλε καμπύλη), η φθορά είναι εντονότερη, και υπερβαίνει τους όποιους συντελεστές ασφαλείας.

### 2.2.7 – Βιολογική διάβρωση (*Bacterial corrosion*)

Αυτή η μορφή διάβρωσης αποτελεί ιδιαίτερη περίπτωση, όμως είναι πολύ συχνή η παρουσία της στις δεξαμενές έρματος, μεταξύ του διπλού πυθμένα του πλοίου. Ο μηχανισμός δράσης είναι πολύπλοκος και υπάρχουν υποκατηγορίες όπως μικροβιολογική, αναερόβια κ.α. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι η ανάπτυξη της βακτηριακής διάβρωσης στηρίζεται στην κατακράτηση ιζήματος και οργανικών υπολειμμάτων στη μεταλλική επιφάνεια. Με την προϋπόθεση ότι οι δεξαμενές πάντα κατακρατούν λάσπη στον πυθμένα από την ανταλλαγή έρματος, οι συνθήκες ανάπτυξης είναι ευνοϊκές (Εικόνα 2.8). Άλλοι παράγοντες που εντείνουν το φαινόμενο είναι:

- Η ύπαρξη στάσιμου νερού (άδεια δεξαμενή)
- Η επαρκής τροφή για την ανάπτυξη βακτηριδίων (οργανικό περιεχόμενο στο ίζημα, θαλάσσια χλωρίδα)
- Η υψηλή θερμοκρασία, συνήθως μεταξύ 20-40° C

Όλες οι παραπάνω συνθήκες συνυπάρχουν στις δεξαμενές έρματος, που εξετάζονται εδώ.



Εικόνα 2.8 - Μορφολογία βακτηριακής διάβρωσης

## 2.3 - Άλλα φαινόμενα που ευνοούν τη διάβρωση στις δεξαμενές έρματος [53], [54]

### 2.3.1 - Ανόδια στις δεξαμενές έρματος

Πέραν της προστασίας που προσφέρουν τα ανόδια, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδρασή τους με το σύστημα προστασίας που παρέχει η επικάλυψη. Από πειραματικά δεδομένα προκύπτει ότι τα συστήματα επικάλυψης φθείρονται μακροχρόνια από την ταυτόχρονη χρήση καθοδικής προστασίας, στις δεξαμενές. Παρόμοια, στις επιθεωρήσεις δεξαμενών παρατηρείται ότι η χρήση ανοδίων προξενεί, ή τουλάχιστον εντείνει, τη δημιουργία φλυκταινών στις επιστρώσεις. Επίσης πειραματικά στοιχεία οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι «παρενέργειες» από την ταυτόχρονη χρήση θυσιαζόμενων ανόδων και επικαλυπτικού συμβαίνουν κατά το πρώτο διάστημα λειτουργίας του πλοίου. Αυτό οφείλεται στη χρονική καθυστέρηση της εξάτμισης των διαλυτών του επικαλυπτικού. Όταν οι διαλύτες διαφύγουν από το σύστημα βαφής (με την πάροδο λίγων μηνών), το επίστρωμα αποκτά ηλεκτροχημική σταθερότητα και δε επηρεάζεται αισθητά από το ηλεκτρικό φορτίο των ανόδων.

Προφανώς, όταν υπάρχει ενδιαφέρον για ενίσχυση της προστασίας των δεξαμενών με ανόδια, η τοποθέτηση των βάσεων προσάρτησης των θυσιαζόμενων ανόδων μπορεί να γίνει όταν το πλοίο ναυπηγείται και η τοποθέτηση των ανόδων αργότερα. Κάτι τέτοιο εξασφαλίζει και αποδέσμευση κεφαλαίου από τη ναυπήγηση. Επίσης, η χρήση επικαλυπτικών με μειωμένη περιεκτικότητα σε διαλύτες, αμβλύνει το παραπάνω πρόβλημα.

### 2.3.2 - Επίδραση μεθόδων καθαρισμού έρματος από παθογόνους οργανισμούς στη διάβρωση

Ως αποτέλεσμα του διεθνούς εμπορίου μέσω της ναυτιλίας, θαλάσσιοι οργανισμοί μεταφέρονται από μία περιοχή σε άλλη μέσω των δεξαμενών έρματος των δεξαμενόπλοιων και των πλοίων μεταφοράς χύδην. Όταν το πλοίο γεμίζει ή αδειάζει το νερό ερματισμού οι μικροοργανισμοί απελευθερώνονται στη θάλασσα. Πολλά από τα είδη αυτά είναι επιθετικά, πολλαπλασιάζονται πολύ γρήγορα και καταστρέφουν τα τοπικά οικοσυστήματα.

Τα τελευταία χρόνια, μετά από οδηγία του IMO, ζητείται από τα πλοία να εξασφαλίζουν την ποιότητα του νερού ερματισμού, για την αποφυγή μετάδοσης παθογόνων οργανισμών, μέσω των κυκλικών επαναγεμίσεων των δεξαμενών. Ενώ η οδηγία έχει τοπικό χαρακτήρα και αφορά ανεπτυγμένες χώρες, ενδέχεται στο μέλλον να γενικευτεί, επομένως η επίδραση των διαφόρων μεθόδων καθαρισμού στη διάβρωση, αξίζει να ερευνηθεί. Ακριβώς επειδή η τεχνογνωσία δεν είναι ακόμα ώριμη, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, με διαφορετικά χαρακτηριστικά η καθεμιά. Παρακάτω γίνεται μόνο μια παράθεση αυτών, καθώς η μελέτη τους αφορά κυρίως πεδία δραστηριοποίησης των χημικών μηχανικών.

#### Μηχανικές μέθοδοι (Υπέρηχοι, Σπηλαίωση, Φίλτρα)

Οι οργανισμοί απομακρύνονται, ολικά ή μερικά, κατά την εναλλαγή έρματος με επεξεργασία του νερού, μειώνοντας την περιεκτικότητά του σε οργανική ύλη. Με τον τρόπο αυτό οι μικροοργανισμοί δυσκολεύονται να αναπτυχθούν.



### Θέρμανση

Μέσω της θέρμανσης γίνεται εξόντωση των οργανισμών, τόσο λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του νερού, όσο και λόγω της μείωσης της περιεκτικότητάς του σε οξυγόνο.

### Χημικές μέθοδοι (Χλωρίωση, Βιοχημική επεξεργασία, Αφαίρεση οξυγόνου)

Χρησιμοποιώντας χημικές ουσίες, μπορεί να επιτευχθεί εξόντωση των μικροοργανισμών. Τέτοιες ουσίες είναι το όζον, το υποχλωριώδες νάτριο (χλώριο), το υπεροξειδίο του υδρογόνου, οι ρίζες υδροξυλίων, η φορμαλδεΰδη, τα άλατα χαλκού, καθώς και εξειδικευμένα παρασιτοκτόνα.

Ακολουθεί σχετικός πίνακας (Πίνακας 2.1), στον οποίο οι διαφορετικές μέθοδοι συγκρίνονται, όσον αφορά την επίδρασή τους στο θαλάσσιο έρμα και γίνεται μια εκτίμηση της επίδρασης στη διάβρωση. Σημειώνεται ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, ενώ υπάρχει αντιστοιχία ως προς τη μεταβολή των ιδιοτήτων του νερού, αυτή δεν είναι πλήρης. Η έκταση της επίδρασης των μεθόδων καθαρισμού στη διάβρωση των δεξαμενών πρέπει να ελεγχθεί με εκτεταμένα πειράματα, για τα οποία όμως δεν βρέθηκαν στοιχεία.

**Πίνακας 2.1 – Επίδραση μεθόδων καθαρισμού στη διάβρωση [54]**

Σύμβολα: + : Αύξηση, - : Μείωση, / : καμιά μεταβολή, ? : δεν είναι ξεκάθαρο, \* : Αύξηση CO<sub>2</sub>

Μέθοδος επεξεργασίας	Επίδραση στις ιδιότητες του έρματος				Εκτιμώμενη επίδραση στη διάβρωση		
	Θερμοκρασία	Περιεκτικότητα σε οξυγόνο	Περιεκτικότητα σε οξειδωτικό	Περιεκτικότητα σε οργανική ύλη	Γενική διάβρωση	Βακτηριακή διάβρωση	Συνολική επίδραση
Μηχανική	/	+	-*	-	+	-	+?
Υπέρηχοι	/	-	+*	/	-	+	?
Θερμική	+	-	/	/	+?	+	+
Προσθήκη αζώτου	/	-	/	/	-	+	-
Αφαίρεση οξυγόνου	/	--	/?	/	-	+	+?
Όζον	/	++	++	-	++	-	++
Χλωρίωση	/	+?	++	-	+	-	+

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Επικαλύψεις για δεξαμενές έρματος

### Εισαγωγή

Για την αντιδιαβρωτική προστασία των δεξαμενών έρματος, η σημερινή τάση στη ναυπηγική είναι να χρησιμοποιούνται εποξειδικά επικαλυπτικά ως τελικές επικαλύψεις. Αντίστοιχα, για την προστασία της μεταλλικής κατασκευής, κατά την ανέγερση, χρησιμοποιούνται αστάρια ψευδαργύρου, τα λεγόμενα «αστάρια προκατασκευής». Οι δύο αυτοί τύποι επικαλύψεων, αναπτύσσονται στις δύο πρώτες ενότητες του παρόντος κεφαλαίου. Η τρίτη ενότητα καλύπτει τις νεότερες εξελίξεις στα επικαλυπτικά για τέτοιες εφαρμογές, με περιορισμένη χρήση επί του παρόντος, αλλά σαφή πλεονεκτήματα έναντι των σημερινών επικαλυπτικών.

### 3.1 - Αστάρια προκατασκευής για δεξαμενές έρματος [3], [25], [26], [27]

#### 3.1.1 - Εισαγωγή στα αστάρια προκατασκευής

Η σωστή προστασία από τη διάβρωση ξεκινά με την επιλογή του κατάλληλου ναυπηγικού χάλυβα. Όμως, ενώ για τον σχεδιαστή-ναυπηγό αρκεί η γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων των πρώτων υλών, για το τμήμα που ασχολείται με την επικάλυψη, πρωτεύουσα σημασία έχει η ποιότητα της προς βαφή επιφάνειας. Έτσι λοιπόν, μια σωστά προστατευμένη επιφάνεια διευκολύνει τόσο τις εργασίες επικάλυψης από περιττούς καθαρισμούς, όσο και άλλα τμήματα του ναυπηγείου (π.χ. στη συγκόλληση, στην κοπή).

Τα αστάρια προκατασκευής προστατεύουν τη μεταλλική επιφάνεια, τόσο κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, όσο και κατά την ανέγερση της κατασκευής. Το ναυπηγείο μπορεί να επιλέξει είτε να επικαλύψει μόνο του τα κατασκευαστικά στοιχεία, είτε να τα αγοράσει έτοιμα επικαλυμμένα με αστάρι. Η δεύτερη λύση είναι τον τελευταίο καιρό πιο δημοφιλής, γιατί επιτρέπει στα συνεργεία να ξεκινήσουν άμεσα τις εργασίες. Παρακάτω θα αναπτύξουμε τη μέθοδο επικάλυψης επίπεδων πλακών, καθώς και τη συμβατότητά τους με εργασίες κοπής, συγκόλλησης και επικάλυψης στο ναυπηγείο.

#### 3.1.2 - Σύγχρονη, αυτοματοποιημένη διαδικασία προκαταρκτικής επικάλυψης

Η εργασία ξεκινά με την αφαίρεση της καλαμίνας (*millscale*), της σκουριάς και άλλων ρυπαντικών ουσιών και ακολουθεί η άμεση επικάλυψη με το επικαλυπτικό (αστάρι). Σε μία αυτοματοποιημένη μονάδα παραγωγής, αυτό σημαίνει διαχείριση από υπολογιστή της διαδικασίας σε ακολουθία σταδίων. Μία τέτοια τυπική εγκατάσταση (Εικόνα 3.1, 3.2) χειρίζεται πλάκες μέγιστων διαστάσεων 4 m πλάτος επί 25 m μήκος, ενώ το πάχος κυμαίνεται από 5 mm έως 150 mm. Τα στάδια παραγωγής από τα οποία αποτελείται είναι τα ακόλουθα:

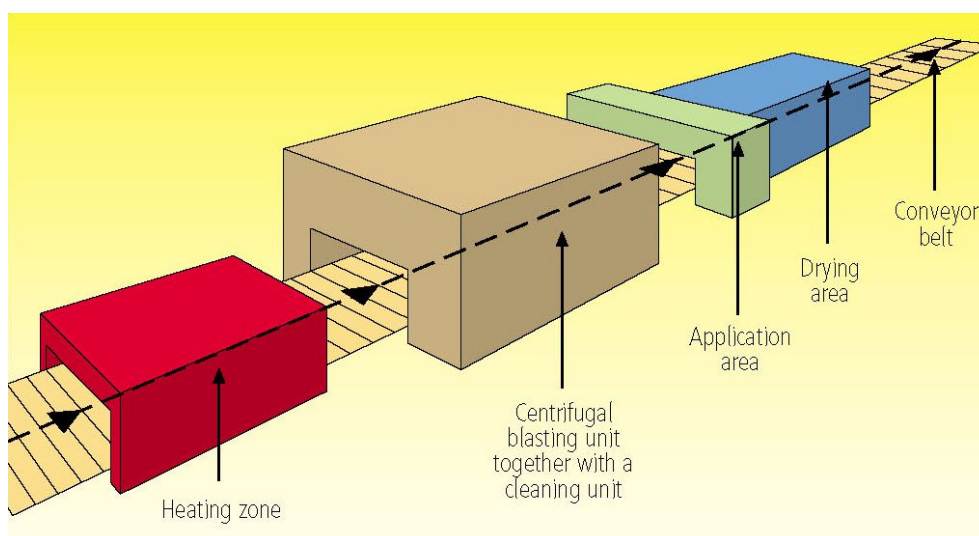
*Μονάδα προθέρμανσης* - Αυξάνει τη θερμοκρασία της πλάκας από αυτήν του περιβάλλοντος στους 35°C. Το θερμικό σοκ βοηθά στην αφαίρεση μεταλλουργικών υπολειμμάτων, καθώς και στην ταχύτερη ξήρανση των διαλυτών του ασταριού. Η διάταξη έχει μήκος 6 m και χρησιμοποιούνται καυστήρες φυσικού αερίου (Εικόνα 3.3, αριστερά).

*Μονάδα ψηγματοβολής* - Αποτελείται από τρία επιμέρους τμήματα. Το πρώτο, αυτό της εισόδου, που έχει ελαστικές κουρτίνες για τη συγκράτηση των ψηγμάτων. Το δεύτερο, της απόξεσης, στο οποίο λειτουργούν 8 φυγοκεντρικοί εκτοξευτές ψηγμάτων, 4 από κάθε πλευρά. Αυτοί ελέγχουν την ταχύτητα ολίσθησης των πλακών, ώστε να επιτυγχάνεται βέλτιστος καθαρισμός. Το τρίτο τμήμα αποτελείται από μία περιστροφική βούρτσα και ένα φυσστήρα, οι οποίοι απομακρύνουν σκόνη και ψήγματα. Τέλος, η μονάδα έχει συνεχόμενη παροχή αποξεστικού υλικού. Σχετικά με τη μορφή των ψηγμάτων, προτιμώνται σφαιρικής διατομής. Το επίπεδο ποιότητας της επιφάνειας καθορίζεται με βάση τα διεθνή πρότυπα, δηλαδή Sa 2.5 ή Sa 3. Η τραχύτητα της επιφάνειας, επίσης μικραίνει, με επακόλουθο την καλύτερη κατανομή ασταριού, αργότερα. Η τιμή τραχύτητας της επιφάνειας είναι μεταξύ 30 μm και 100 μm, με μέσο όρο τα 42 μm. Μετά την ψηγματοβολή γίνεται οπτική επιθεώρηση στην πλάκα, για επιβεβαίωση.

*Μονάδα αυτόματης βαφής* - Εδώ η πλάκα επικαλύπτεται από δύο εκατέρωθεν αρθρωτούς βραχίονες ψεκασμού χωρίς αέρα, οι οποίοι ορίζουν την ταχύτητα κύλισης. Η αυτοματοποιημένη κίνησή τους επιτρέπει βαφή σε ζώνες χωρίς μεγάλη επικάλυψη (*overlapping*). Η μονάδα περιβάλλεται από τρεχούμενο νερό, το οποίο απομακρύνει περίσσειμα επικαλυπτικού από το χώρο. Η βαμμένη πλάκα μεταφέρεται παραπέρα στηριζόμενη μόνο στις τέσσερις γωνίες, για προστασία της επίστρωσης.

*Μονάδα ξήρανσης* - Πρόκειται για σήραγγα μήκους 12 m, τοποθετημένη κατά μήκος και άνω της ταινιολωρίδας που μεταφέρει τις βαμμένες πλάκες. Η θερμοκρασία ρυθμίζεται αυτόματα, συνήθως κυμαίνεται στους 100° C, ώστε στην έξοδο οι πλάκες να μπορούν να μετακινηθούν με ασφάλεια, χωρίς να καίνε (Εικόνα 3.3, δεξιά).

*Μονάδα κωδικοποίησης και μεταφοράς* - Στο τελικό αυτό στάδιο, οι πλάκες σημειώνονται με ειδική μελάνη, όπως επιθυμεί ο πελάτης (ναυπηγείο) και μεταφέρονται από γεραμούς με αντλίες κενού, ώστε να προστατευθεί η επιφάνεια τους. Μεταξύ των πλακών στις στοίβες που δημιουργούνται, τοποθετούνται ξύλινοι τάκοι.



Εικόνα 3.1 – Σχηματική αναπαράσταση μονάδας αυτοματοποιημένης επίστρωσης ασταριού [26]



Εικόνα 3.2 – Φωτογραφία μιας τέτοιας μονάδας επίστρωσης [26]



Εικόνα 3.3 – Φωτογραφίες από τις ζώνες θέρμανσης (αριστερά) και ξήρανσης (δεξιά) [26]

### Έλεγχος πάχους στρώσης του ασταριού

Μια πολύ σημαντική παράμετρος στην επίστρωση οποιουδήποτε επικαλυπτικού είναι το σωστό πάχος στρώσης. Ειδικά όμως για το αστάρι προκατασκευής, η επίδραση του πάχους στρώσης έχει να κάνει και με άλλες εργασίες κατασκευής, όπως η κοπή και η συγκόλληση. Συχνά γίνεται κατάχρηση επικαλυπτικού και γι' αυτό οι κατασκευαστές δίνουν πλέον ορισμένο μέγεθος για το πάχος ξηρής στρώσης (*DFT*). Επειδή η μεταλλική επιφάνεια έχει ήδη μια τραχύτητα από την ψηγματοβολή, το πάχος καθορίζεται με την επικόλληση

στη μεταλλική επιφάνεια γυάλινων ή πλαστικών τεμαχίων πριν τη βαφή και το πάχος μετρείται σ' αυτά. Συνήθως, ο μέσος όρος τιμών σε 20 από αυτά πρέπει να καλύπτει τις προδιαγραφές που έχουν ελάχιστη τιμή τα  $20 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ .

### 3.1.3 - Ιδιότητες και απαιτήσεις για τα αστάρια προκατασκευής

Τα αστάρια προκατασκευής έχουν ένα πάχος από 15  $\mu\text{m}$  έως 25  $\mu\text{m}$ . Ανάλογα με την κατάσταση του ασταριού στη επιφάνεια πριν την εφαρμογή του συστήματος επικαλυπτικού, απαιτείται είτε να παραμείνει, είτε να απομακρυνθεί. Οι λόγοι απομάκρυνσης είναι η ασυμβατότητα ασταριού-συστήματος βαφής και η υπερβολική φθορά του ασταριού με αποτέλεσμα την αλλοίωση της μεταλλικής επιφάνειας. Για να επιλεγεί, λοιπόν, ένα αστάρι προκατασκευής, πρέπει να τηρεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Να μπορεί να απλωθεί με ψεκασμό χωρίς αέρα
- Να έχει αντοχή στη μεταχείριση, μέχρι τα μεταλλικά στοιχεία να βαφούν τελικά
- Να προσφέρει επαρκή αντιδιαβρωτική προστασία
- Να στεγνώνει γρήγορα
- Να μην επηρεάζει εργασίες συγκόλλησης
- Να μην επηρεάζεται από υψηλές θερμοκρασίες
- Να μην εκλύει αναθυμιάσεις, πέραν του επιτρεπτού
- Να είναι συμβατό με πληθώρα επικαλυπτικών συστημάτων
- Να είναι συμβατό με συστήματα καθοδικής προστασίας, εφόσον χρησιμοποιηθούν
- Να απαιτεί ελάχιστη δευτερεύουσα εργασία καθαρισμού, πριν την κύρια βαφή

Οι παραπάνω απαιτήσεις είναι συχνά αντικρουόμενες, π.χ. το μικρό πάχος στρώσης στεγνώνει γρήγορα αλλά δεν προστατεύει επαρκώς, το μεγάλο πάχος προστατεύει επαρκώς αλλά δεν συγκολλάται.

### 3.1.4 - Τύποι ασταριών προκατασκευής

#### Εποξειδικά αστάρια δύο συστατικών

Δημιουργήθηκαν για να έχουν βελτιωμένη αντοχή και συμβατότητα με συστήματα καθοδικής προστασίας. Έχουν καλές ιδιότητες στην κοπή, αλλά καθυστερούν τη συγκόλληση επειδή στη ζώνη συγκόλλησης το αστάρι πρέπει να αφαιρεθεί. Τα εποξειδικά αστάρια με πιγμέντα ψευδαργύρου, ενώ έχουν άριστα αντιδιαβρωτικά χαρακτηριστικά, επιδρούν αρνητικά στην ταχύτητα και την ποιότητα των συγκολλήσεων, ενώ επίσης δημιουργούνται άλατα ψευδαργύρου στην επιφάνεια των μεταλλικών στοιχείων κατά την αποθήκευση και κατασκευή. Το αποτέλεσμα είναι να χρειάζεται συνολικός καθαρισμός της επιφάνειας πριν την εφαρμογή του συστήματος βαφής. Άλλα προβλήματα είναι η δημιουργία αναθυμιάσεων ψευδαργύρου και η υψηλή πιθανότητα πορώδους συγκόλλησης. Γενικά τα εποξειδικά αστάρια με ψευδάργυρο δεν κυριαρχούν στην αγορά.

### Αστάρια πυριτικού ψευδαργύρου

Πρόκειται για τους αντικαταστάτες των εποξειδικών ασταριών, με καλή αντιδιαβρωτική προστασία σε μικρό πάχος στρώσης. Επομένως έχουν πλεονεκτήματα στην κοπή και συγκόλληση, άρα αυξημένη παραγωγικότητα. Η ανόργανη φύση τους επιτρέπει μικρότερο πορώδες στις συγκολλήσεις και μικρότερη επιφανειακή φθορά στη θερμή ζώνη συγκόλλησης.

Αρχικά, τα αστάρια ψευδαργύρου περιείχαν μέχρι και 90% κατά βάρος ψευδάργυρο και δημιουργούσαν προβλήματα στις συγκολλήσεις, με υψηλά ποσά αναθυμιάσεων και δημιουργία αλάτων ψευδαργύρου κατά την αποθήκευση. Με την πάροδο γενεών επικαλυπτικών, το ποσοστό μειώθηκε αρχικά σε 70% και μετά σε 50% για να φτάσει τη σημερινή εποχή στο 30% κατά βάρος περιεκτικότητα. Εν μέρει, ο ψευδάργυρος αντικαταστάθηκε από πληρωτικά, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας συγκόλλησης και τη μείωση αναθυμιάσεων και πορώδους.

Επιπλέον χαρακτηριστικά της παρούσας γενιάς ασταριών ψευδαργύρου και κυρίως αυτών του πυριτικού ψευδαργύρου, είναι η αντοχή στην αποθήκευση, τη μεταχείριση και τις υψηλές θερμοκρασίες. Μερικές φορές το πάχος στρώσης φτάνει τα 15 μm, ώστε να έχουν ακόμα καλύτερες ιδιότητες σε συγκόλληση και κοπή. Τα περισσότερα αστάρια τέτοιου τύπου είναι συμβατά με καθοδικά συστήματα προστασίας.

### 3.1.5 - Πιθανές βελτιώσεις ασταριών προκατασκευής

#### Χαμηλότερες εκπομπές πτητικών διαλυτών

Ένα σημαντικό μειονέκτημα των αναφερθέντων ασταριών προκατασκευής είναι η υψηλή περιεκτικότητά τους σε πτητικούς οργανικούς διαλύτες, με αποτέλεσμα να μην καλύπτουν επαρκώς νεότερους κανονισμούς μείωσης τέτοιων εκπομπών (VOC) για περιβαλλοντικούς λόγους. Ως λύση προτείνεται η χρήση ασταριών υδατικής βάσης, κυρίως εκείνων με ενεργά συστατικά τον πυριτικό ψευδάργυρο, μια και, πειραματικά, μόνο αυτή η σύνθεση έδειξε την απαιτούμενη επιφανειακή αντοχή.

#### Συμβατότητα με νεότερες μεθόδους επεξεργασίας μετάλλων (Laser)

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης διατάξεων laser για κοπή και συγκόλληση ελασμάτων, έχει οδηγήσει τη ναυπηγική βιομηχανία στην αποδοχή τους. Τα βασικά τους πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων συγκόλλησης (π.χ. MAG) είναι:

- Χαμηλή εκπομπή θερμότητας, ελαχιστοποίηση της θερμικά επηρεασμένης ζώνης
- Υψηλή παραγωγικότητα, δυνατότητα συγκόλλησης διατομών μεγάλου πάχους
- Δυνατότητα συγκόλλησης σε περιοχές μη προσβάσιμες από άλλες μεθόδους

Από πειράματα που έλαβαν χώρα (Εικόνα 3.4), αποδείχθηκε ότι τα παρόντα αστάρια χαμηλής περιεκτικότητας πυριτικού ψευδαργύρου δεν δυσχεραίνουν τη συγκόλληση με laser, αντιθέτως παρουσιάζουν καλύτερο αποτέλεσμα από ότι σε συγκόλληση με MAG. Επίσης, τα μεγέθη του πορώδους διατηρήθηκαν σε χαμηλά επίπεδα. Εξάρωση των παραπάνω αποτελούν οι αυχενικές συγκολλήσεις (fillet joints), στις οποίες το πορώδες ήταν υψηλό και η διείδυση ανεπαρκής.



Εικόνα 3.4 – Σύγκριση ποιότητας συγκολλήσεων σε ανόργανο αστάρι (αριστερά) και εποξειδικό (δεξιά). Παρατηρούνται πόροι στη συγκόλληση δεξιά, λόγω των αερίων που εκλύθηκαν από το οργανικό αστάρι. [25]

### 3.2 - Συνήθη οργανικά επικαλυπτικά [3], [24], [26]

#### 3.2.1 - Εισαγωγή

Στην αρχή του κεφαλαίου έγινε μία ταξινόμηση των οργανικών επικαλυπτικών, ώστε να προσδιοριστούν οι πιο ενδιαφέρουσες συστάσεις για την επικάλυψη δεξαμενών έρματος. Τα μόνα επικαλυπτικά που χρησιμοποιούνται τη σημερινή εποχή για τις δεξαμενές έρματος είναι τα εποξειδικά και ορισμένες παραλλαγές αυτών. Με βάση την έρευνα της αγοράς που πραγματοποιήθηκε, οι τέσσερις κατηγορίες εποξειδικών είναι:

- Αμιγώς εποξειδικό (*Pure epoxy*)
- Εποξειδικό χωρίς διαλύτες (*Solvent free epoxy*)
- Εποξειδικό με υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά (*High solids epoxy*)
- Εποξειδική μαστίχα (*Epoxy mastic*)

Στις επόμενες παραγράφους θα γίνει μια σύντομη περιγραφή αυτών των τύπων εποξειδικού, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των εμπορικών προϊόντων.

#### 3.2.2 - Εποξειδικά επικαλυπτικά

Πρόκειται για επικαλυπτικά που στερεοποιούνται με χημική αντίδραση. Αυτός είναι ο λόγος που τα εμπορικά προϊόντα έρχονται σε δύο συσκευασίες, η μία περιέχει το κυρίως επικαλυπτικό και η άλλη τον καταλύτη. Βασικά χαρακτηριστικά-πλεονεκτήματά τους είναι:

- Καλή αντοχή στην υγρασία
- Καλή πρόσφυση στη βαφόμενη επιφάνεια
- Καλή αντοχή στα χημικά
- Πολύ καλή αντοχή στα αλκάλια
- Υψηλή αντοχή στις καταπονήσεις

- Αντοχή σε θερμοκρασίες έως 120° C
- Μερικά συστήματα βαφής μπορούν να πιστοποιηθούν για χώρους τροφίμων
- Υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά
- Δυνατότητα μείωσης των πτητικών διαλυτών (VOC)

Αντίστοιχα υπάρχουν και ορισμένοι περιορισμοί:

- Χαμηλή αντοχή στην υπεριώδη (UV) ακτινοβολία: ρωγμάτωση στο ηλιακό φως
- Εφαρμογή και σκλήρυνση εξαρτώμενες από τη θερμοκρασία (συνήθως άνω των 10° C)
- Η επικάλυψη στρώσης εποξειδικού που έχει πολυμεριστεί είναι δύσκολη
- Τα προϊόντα είναι 2 συστατικών και χρειάζονται σωστή δοσολογία, πλήρη ανάμιξη (Εικόνα 3.5), ενώ ενδέχεται να προκύψουν περισσότερα απόβλητα
- Μέτρια αντοχή σε οξέα
- Ενδέχεται να προκαλέσουν αλλεργίες
- Απαιτείται γνώση για να χρησιμοποιηθούν σωστά



Εικόνα 3.5 – Αποτελέσματα ελλιπούς ανάμιξης συστατικών [26]





Εικόνα 3.6 – Η φάση ανάμιξης των συστατικών, μέχρι να αναμιχθούν πλήρως, εμφανίζουν διχρωμία [26]

Μερικές οδηγίες για τη σωστή χρήση των εποξειδικών:

- Πρέπει να τηρούνται οι αναλογίες στην ανάμιξη των δύο συστατικών. Η ίδια η ανάμιξη να γίνεται αποκλειστικά με μηχανικό αναδευτήρα (Εικόνα 3.6).
- Υπάρχει περιορισμένη χρονική διάρκεια στη χρήση του αναμειγμένου προϊόντος (*Pot life*). Πέραν αυτής, το προϊόν δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η συγκεκριμένη πληροφορία δίνεται από τον κατασκευαστή.
- Η προς βαφή επιφάνεια πρέπει να είναι καθαρή με άθικτο το επίστρωμα του ασταριού ή με επιφανειακή κατεργασία ποιότητας Sa 2,5.
- Το πάχος της στρώσης καθορίζεται από τον κατασκευαστή και δίνεται σαν τεχνικό χαρακτηριστικό του επικαλυπτικού. Έτσι αποφεύγονται τόσο η ελλιπής αντιδιαβρωτική προστασία, όσο και οι ρωγματώσεις ή το «κρέμασμα» του επικαλυπτικού.
- Ο χρόνος πολυμερισμού εξαρτάται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Συνήθως κάτω από τους 10°C ο πολυμερισμός καθυστερεί υπερβολικά. Υπάρχουν όμως και «χειμερινές εκδόσεις» επικαλυπτικών που λειτουργούν μέχρι και τους -5° C.
- Η στρώση λαμβάνει τα πλήρη χαρακτηριστικά της όταν πολυμεριστεί και αυτό συμβαίνει συνήθως μία εβδομάδα μετά, στους 23° C και τουλάχιστον δύο εβδομάδες μετά, στους 10° C.
- Για να υπάρχει καλή πρόσφυση μεταξύ των στρώσεων του επικαλυπτικού, ορίζεται ένα χρονικό διάστημα «μερικής στερεοποίησης» με ελάχιστο και μέγιστο χρόνο από την πρώτη επικάλυψη, κατά το οποίο τα αποτελέσματα είναι θετικά.
- Απαιτείται καλός εξαερισμός, ώστε ο πολυμερισμός να είναι επιτυχής.
- Αραίωση του προϊόντος μπορεί να γίνει μόνο με ειδικό διαλύτη που ορίζει και παρέχει ο κατασκευαστής. Γενικά δεν απαιτείται αραίωση στα επικαλυπτικά, σε περίπτωση όμως που αναμειχθεί πολύς διαλύτης, ο πολυμερισμός θα αποτύχει.
- Μετά την εφαρμογή του προϊόντος, όλος ο εξοπλισμός πρέπει να καθαριστεί με τον ειδικό διαλύτη και μάλιστα εντός του χρονικού διαστήματος χρήσης (*Pot life*).

- Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πρόληψη της υγείας των εργαζόμενων. Σε κλειστούς χώρους, όπως οι δεξαμενές, είναι απαραίτητος ο πολύ καλός εξαερισμός. Επιπρόσθετα, στα εποξειδικά επικαλυπτικά υπάρχει ο κίνδυνος εμφάνισης δερματικού εκζέματος, ως αλλεργική αντίδραση σε επαφή. Εμφανίζεται όταν το εποξειδικό είναι ακόμα νωπό, συνήθως στις παλάμες και τα χέρια, εκεί δηλαδή που πιθανότατα θα ακουμπήσει κάποιος το νωπό επίστρωμα. Η αλλεργική αντίδραση μπορεί να επεκταθεί σε όλο το σώμα και το έκζεμα μπορεί να διαρκέσει σε ολόκληρη τη ζωή του ασθενή.

### 3.2.3 - Αμιγή εποξειδικά (*Pure epoxies*)

Τα αμιγή εποξειδικά χρησιμοποιούνται τόσο σε νέες κατασκευές, όσο και για τη συντήρησή τους. Τα περισσότερα επικαλυπτικά, αυτού του είδους, δρουν ως μονωτικό στρώμα της μεταλλικής επιφάνειας. Είναι συμβατά με τα περισσότερα οργανικά και ανόργανα πιγμέντα. Με τη σωστή επιλογή πληρωτικών (*extenders*), επιτυγχάνεται βελτίωση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων τους, καθιστώντας την επικάλυψη πιο πυκνή και αδιαπέραστη από την υγρασία. Τέτοια πιγμέντα είναι η τάλκη (*talc*), η μίκα (*micaceous iron oxide*) και οι φολίδες αλουμινίου και γυαλιού (*aluminium flake, glass flake*). Επειδή όμως δεν είναι ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία, όταν απαιτούνται αντοχή στη λάμψη και το χρώμα του επικαλυπτικού, προτιμώνται τα ακρυλικά και οι πολυουρεθάνες σαν τελικές στρώσεις (*topcoats*).

### 3.2.4 - Εποξειδικά χωρίς διαλύτες ή με υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά (*Solvent free epoxies, High solids epoxies*)

Τα εποξειδικά αυτού του τύπου έχουν πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άνω και κάτω από την επιφάνεια του διαβρωτικού ρευστού, είναι ανθεκτικά στα χημικά και τέλος μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δεξαμενές πόσιμου νερού. Εξειδικευμένα προϊόντα αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται για την επικάλυψη πατωμάτων, με πάχος στρώσης 5mm (ή 5000μm) και για την προστασία των θυσιαζόμενων ανόδων από γαλβανική διάβρωση, επικαλύπτοντας το αποτύπωμά τους πάνω στην μεταλλική επιφάνεια.

### 3.2.5 - Εποξειδικές μαστίχες (*Epoxy mastic*)

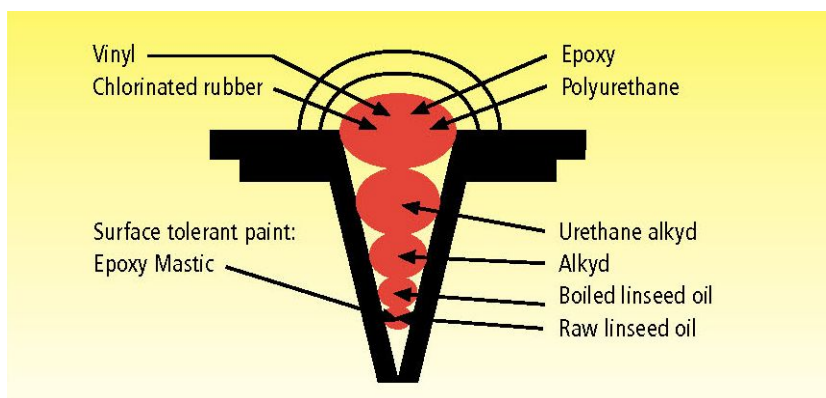
Πρόκειται για εποξειδικές ρητίνες οι οποίες τροποποιούνται με ρητίνες υδρογονανθράκων (διαφοροποιούνται ανά κατασκευαστή) και καταλυτή. Η προσθήκη ρητίνης υδρογονάνθρακα στοχεύει στην ενίσχυση της στεγανότητας ως προς την υγρασία, της ελαστικότητας της στρώσης και της ικανότητας κάλυψης της υποκείμενης επιφάνειας. Συνολικά το επικαλυπτικό γίνεται περισσότερο φιλικό στο χρήστη και πιο οικονομικό στη χρήση.

Οι εποξειδικές μαστίχες διατηρούν πολλά από τα πλεονεκτήματα των παλαιότερων εποξειδικών με πίσσα, χωρίς να έχουν τα μειονεκτήματα των τελευταίων, δηλαδή:

- Το χρώμα του προϊόντος έχει αλλάξει από μαύρο ή σκούρο καφέ σε πιο ανοιχτό, έτσι ώστε ο τεχνίτης να καλύπτει την επιφάνεια και ο επιθεωρητής να ελέγχει για αστοχίες καλύτερα. Ειδικά για τους στενούς και σκοτεινούς χώρους των δεξαμενών, αυτή είναι μια σημαντική βελτίωση.
- Οι μαστίχες παρουσιάζουν εξαιρετική ικανότητα διεύθυνσης και μπορούν να καλύψουν επιφάνεια οποιουδήποτε προφίλ-τραχύτητας.

- Έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά, συνήθως μεταξύ 82-87%, επομένως μειώνεται αυτόματα η περιεκτικότητα των πτητικών διαλυτών (*VOC*).
- Οι μαστίχες δε φθείρονται από «αφαίμαξη συνδετικού» (*bleeding*) στην τελική στρώση. Αυτή η μορφή αστοχίας, χαρακτηριστική για τα εποξειδικά με πίσσα, συμβαίνει γιατί εξασθενεί με το πέρασ του χρόνου ο δεσμός πιγμέντων-συνδετικού στη στρώση του επικαλυπτικού και το συνδετικό εξατμίζεται αφήνοντας ένα ψαθυρό επίστρωμα.
- Οι μαστίχες δεν περιέχουν ανθρακόπισσα, η οποία ευθύνεται για καρκινογενέσεις.

Ειδικά όσον αφορά στην ιδιότητα των μαστιχών να καλύπτουν κάθε είδους επιφάνεια, πρέπει να σημειωθεί ότι οφείλεται στο μικρό μοριακό μέγεθος της μαστίχας (Εικόνα 3.7) και στο μικρό ιξώδες του διαλύτη. Αυτές οι μαστίχες μπορούν να δημιουργήσουν στρώσεις μεγάλου πάχους έως και 300μm (η συνήθης πρακτική είναι 2 στρώσεις 125-150μm), χωρίς να «κρεμάσει» το επικαλυπτικό.



Εικόνα 3.7 – Συγκριτική παράθεση μεγεθών μορίων επικαλυπτικών [26]

### 3.3 - Εξελιγμένα οργανικά επικαλυπτικά

#### 3.3.1 - Εποξειδικά με ενίσχυση ινών (*Fibre reinforced epoxy*) [43], [44]

##### Εισαγωγή

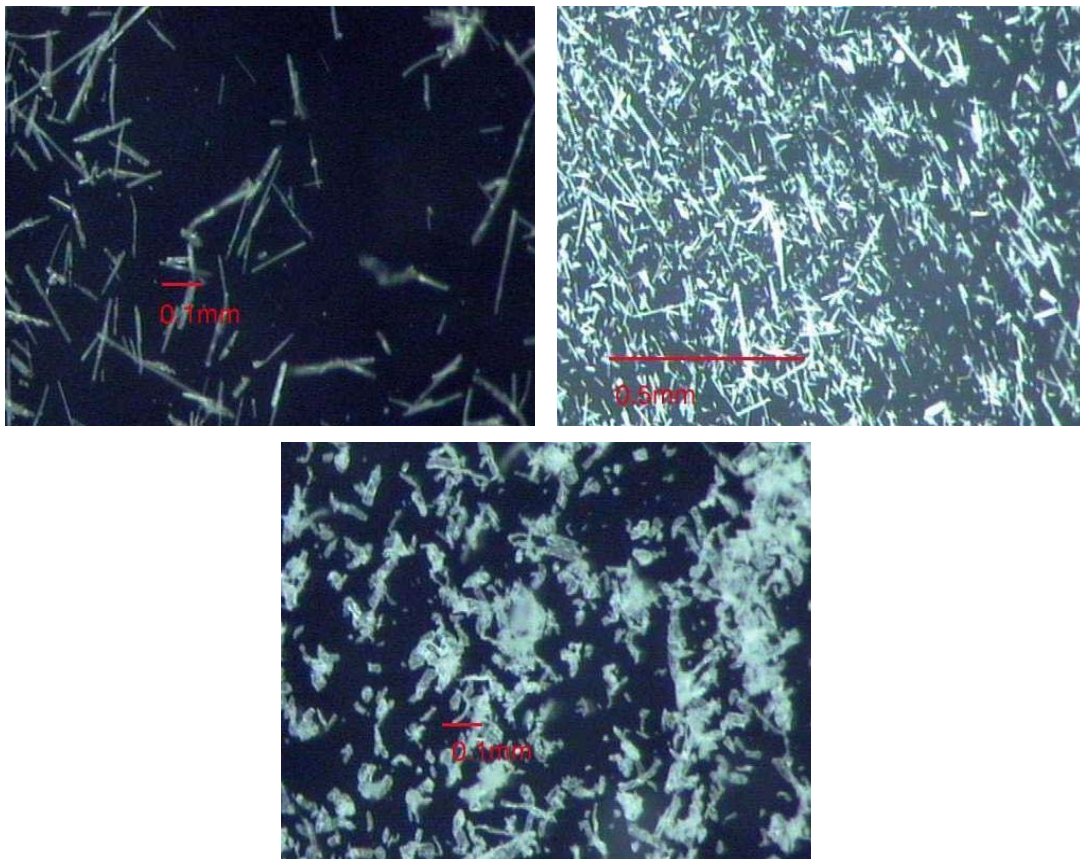
Μέχρι τώρα παρουσιάστηκαν οι βασικές κατηγορίες σύγχρονων εποξειδικών επικαλυπτικών, όμως πέραν των διακρίσεων ως προς το διαλύτη, υπάρχουν εξελίξεις που αφορούν αποκλειστικά τις μηχανικές ιδιότητες του επικαλυπτικού. Στις δεξαμενές έρματος, οι δύο πιο σημαντικές παράμετροι αντοχής, εκτός της τραχύτητας της επιφάνειας, είναι η κάλυψη των ακμών και οι παραμορφώσεις μετάλλου-επικαλυπτικού. Η κάλυψη των ακμών αντιμετωπίζεται εδώ και χρόνια με την επιπλέον επίστρωση με λωρίδες επικαλυπτικού (*stripe coats*), όμως το αποτέλεσμα δεν είναι ικανοποιητικό, σε βάθος χρόνου, δημιουργούνται ρωγματώσεις και η διάβρωση επεκτείνεται στην υπόλοιπη περιοχή.

Από μελέτες που έχουν διεξαχθεί από τους Νηογνώμονες, οι δεξαμενές έρματος καταπονούνται από τις ταλαντώσεις της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, ειδικά κοντά στη μέση τομή του πλοίου. Καταπονήσεις

συμβαίνουν και από την εναλλαγή θερμικών κύκλων στις δεξαμενές, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας ή/και της ύπαρξης θερμαινόμενου φορτίου.

Λύση στα δύο παραπάνω προβλήματα καλούνται να δώσουν νέα επικαλυπτικά με ενίσχυση ινών. Ουσιαστικά πρόκειται για σύνθετα υλικά, καθώς μέρος των πιγμέντων και των αδρανών συστατικών του επικαλυπτικού έχει αντικατασταθεί από μικρού μήκους τμήματα ινών, τα οποία είναι εξαρχής αναμεμιγμένα στο επικαλυπτικό και δεν επαρκούν για να χαρακτηριστεί το επικαλυπτικό ως υαλοπίλημα, όπως συμβαίνει αντίστοιχα στα σύνθετα υλικά.

Όσον αφορά την επιλογή ινών γι' αυτή την εφαρμογή, καλύτερες αποδείχθηκαν οι συνθετικές ορυκτές ίνες από πυριτικό ασβέστιο (Wollastonite, Calcium silicate,  $\text{CaSiO}_3$ ) και η κυτταρίνη (Cellulose), (Εικόνα 3.8).

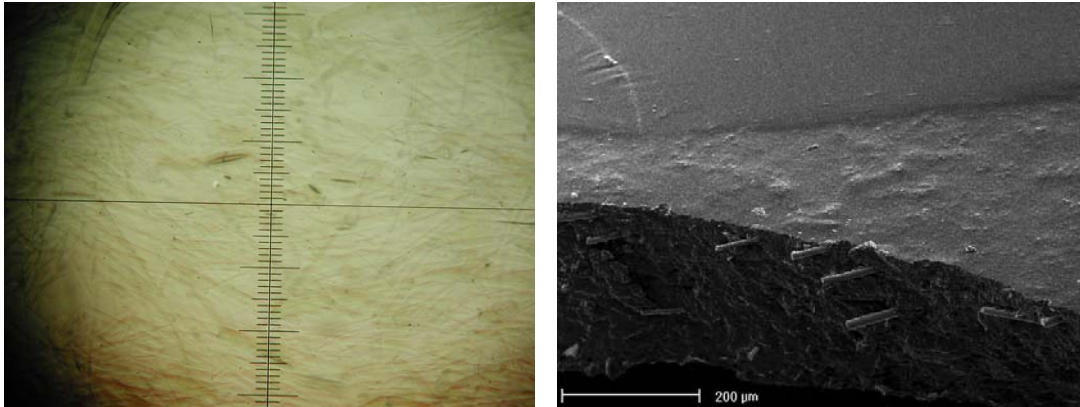


Εικόνα 3.8 – Εικόνες από μικροσκόπιο των ινών. Αριστερά πάνω: συνθετικές ορυκτές ίνες, Δεξιά πάνω: ίνες πυριτικού νατρίου, Κάτω: ίνες κυτταρίνης [44]

Πρέπει να τονιστεί ότι λόγω του μικρού πάχους του επικαλυπτικού, δεν μπορεί να επιτευχθεί πλήρης διαβροχή-κάλυψη των ινών κατά την κάθετη διεύθυνση, όπως απαιτείται στις κατασκευές από σύνθετα υλικά (Εικόνα 3.9).

**Πειραματικά αποτελέσματα σε θερμική κυκλική εναλλαγή επικαλυπτικών με ίνες**

Η βασική δοκιμή αντοχής που έγινε ανταποκρίνεται στο πρότυπο TM0304 της NACE και πρόκειται για θερμική κυκλική εναλλαγή από τους  $-30^{\circ}\text{C}$  για 1 ώρα στους  $+60^{\circ}\text{C}$  για 1 ώρα επίσης, σε σύνολο 600 κύκλων. Ενδιάμεσα των κύκλων υπήρχε διαβροχή με νέφος θαλασσινού νερού. Τα δοκίμια είχαν μορφή γωνίας (*C-panels*) και το πάχος δύο στρώσεων του επικαλυπτικού ήταν 400  $\mu\text{m}$ , κοινής σύστασης πλην των ινών (Εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.9 – Εικόνες από μικροσκόπιο των συνθετικών ορυκτών ινών στο επικαλυπτικό. Αριστερά: παρουσία διάφανης ρητίνης, η κατανομή στην επιφάνεια είναι επαρκής. Δεξιά: τμήματα ινών εξέχουν της στρώσης του επικαλυπτικού [44]



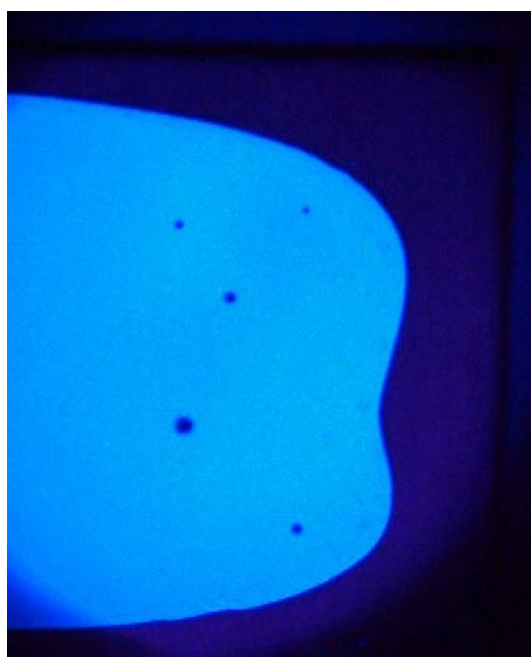
Εικόνα 3.10 – Εικόνες δοκιμίων μετά τη δοκιμή TM0304. Από αριστερά προς δεξιά: με ίνες πυριτικού νατρίου, με ίνες κυτταρίνης, με ορυκτές συνθετικές ίνες και τέλος το επικαλυπτικό χωρίς ενισχυτικές ίνες [44]

Από τα παραπάνω πειράματα προκύπτει ότι απαιτείται περαιτέρω έρευνα σε αντίστοιχα επικαλυπτικά, προκειμένου να αποδειχθεί η αντοχή τους σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου. Ένα ακόμα θέμα που ίσως επηρεάσει την εφαρμογή ινών στα επικαλυπτικά είναι η μειωμένη κάλυψή τους από το ρευστό τμήμα του επικαλυπτικού. Ο κίνδυνος να υπάρξουν οδοί εισχώρησης υγρασίας εντός του επικαλυπτικού είναι σημαντικός. Πάντως, με βάση το γεγονός ότι υπάρχει τουλάχιστον ένα εμπορικό προϊόν με τις παραπάνω ιδιότητες, η ναυπηγική βιομηχανία οδηγείται στην υιοθέτηση νέων λύσεων για την προστασία των δεξαμενών έρματος, λαμβάνοντας υπόψη και τις ελαστικές παραμορφώσεις της μεταλλικής κατασκευής.

### 3.3.2 - Φθορίζοντα επικαλυπτικά (UVF) [35], [36], [37], [38], [39], [40], [42], [51]

#### Εισαγωγή

Η αύξηση της παραγωγικότητας στις εργασίες της επικάλυψης είναι μείζονος σημασίας για όλους τους εμπλεκόμενους. Οι κατασκευαστές των επικαλυπτικών, συμβάλλοντας στην απαίτηση για μείωση του χρόνου επιθεώρησης της κατασκευής, δημιούργησαν επικαλυπτικά που ενσωματώνουν μια νέα ιδιότητα, αυτή της ανάκλασης υπεριώδους ακτινοβολίας. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι αυτά τα προϊόντα δεν προσφέρουν καλύτερη αντιδιαβρωτική προστασία, απλά διευκολύνουν τον επιθεωρητή στο έργο του.



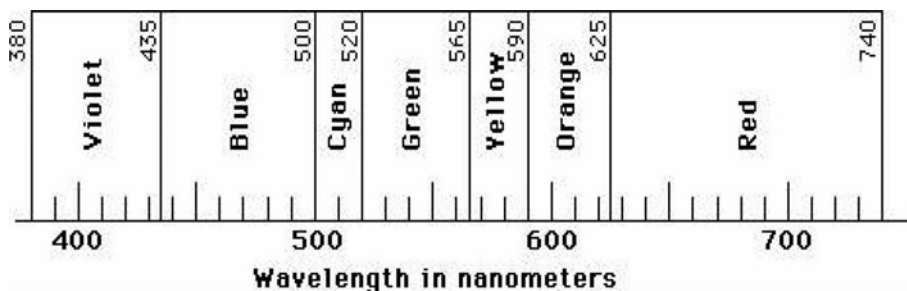
Εικόνα 3.11 - Εντοπισμός βελονισμών μέσω της χρήσης φθορίζοντος επικαλυπτικού [40]

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά

Η φθορίζουσα ιδιότητα των επικαλυπτικών επιτυγχάνεται με την προσθήκη κατάλληλων πιγμέντων, σε μορφή σκόνης, π.χ. 2,5-thiophenediylbis (5-tert-butyl-1,3-benzoxazole). Τέτοιες ουσίες χρησιμοποιούνται ήδη στη βιομηχανία, ως πρόσθετα στην κατασκευή πλαστικών πολυμερών, για την ενίσχυση της λάμψης των ινών στην υφαντουργία, στην κατασκευή χαρτιού εκτύπωσης υψηλής ποιότητας για έγχρωμες εκτυπώσεις, στην κατασκευή συνθετικού δέρματος κ.α. Η δράση των πιγμένων αυτών, ουσιαστικά η απορρόφηση και κατά ένα μέρος η ανάκλαση του υπεριώδους φωτός, είναι η ιδιότητα που ενδιαφέρει τη βιομηχανία των επικαλύψεων (Εικόνα 3.11). Θεωρητικά, για τις επικαλύψεις αυτές, ένας επιθεωρητής μπορεί να καλύψει έκταση 13,5 m<sup>2</sup> επικαλυμμένης επιφάνειας σε 1 λεπτό της ώρας. Επίσης, η απαιτούμενη απόσταση από τη μεταλλική επιφάνεια για την ανίχνευση βελονισμών μεγέθους οπής 0,5 mm είναι 1,5 m, δηλαδή δεν απαιτείται επαφή με την κατασκευή.

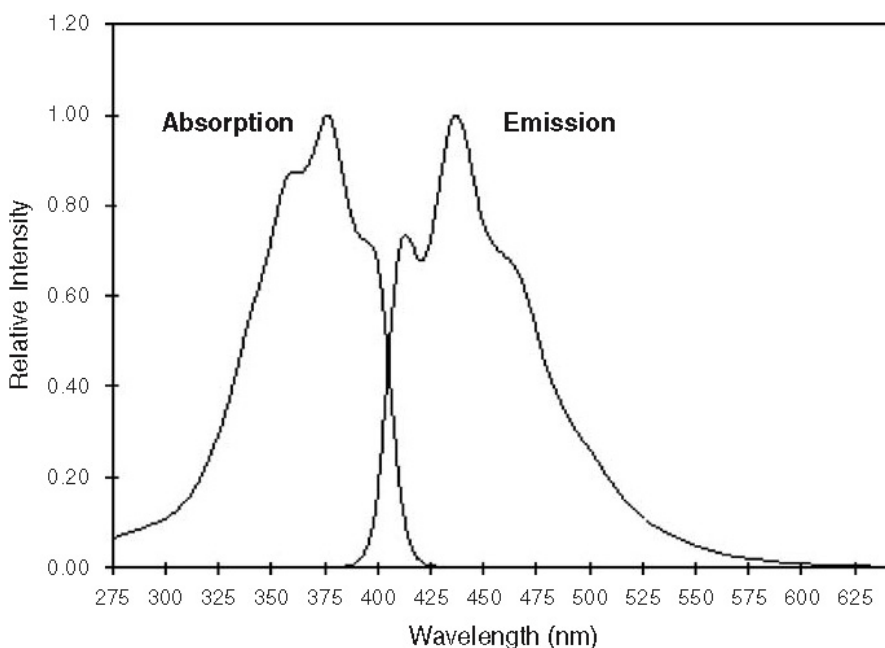
### Πειραματικά αποτελέσματα

Το χρώμα που αποδίδει η φθορίζουσα επιφάνεια, εξαρτάται από το μήκος κύματος της πηγής φωτός. Για τις εφαρμογές που αφορούν στις επικαλύψεις, χρησιμοποιείται η περιοχή κάτω από 500 nm (Εικόνα 3.12).



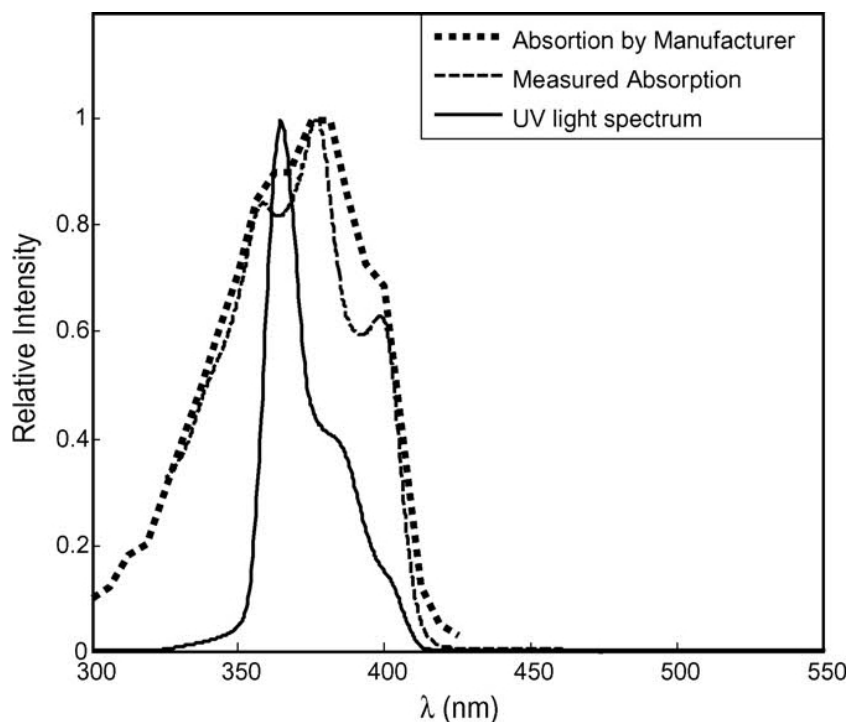
Εικόνα 3.12 - Χρωματική παράθεση ανάκλασης υπεριώδους ακτινοβολίας ανά μήκος κύματος [42]

Η συχνότητα εκπομπής ακτινοβολίας, τόσο του φθορίζοντος παράγοντα, όσο και της διεγείρουσας πηγής φαίνεται στην ακόλουθη φωτογραφία (Εικόνα 3.13). Στο αριστερό μέρος απεικονίζεται η πηγή ακτινοβολίας, ενώ στο δεξιό μέρος του γραφήματος η συχνότητα εκπομπής της ανάκλασης για την ουσία: 2,5-thiophenediylbis (5-tert-butyl-1,3-benzoxazole).



Εικόνα 3.13 - Ένταση απορρόφησης και ανάκλασης υπεριώδους ακτινοβολίας ανά μήκος κύματος [36]

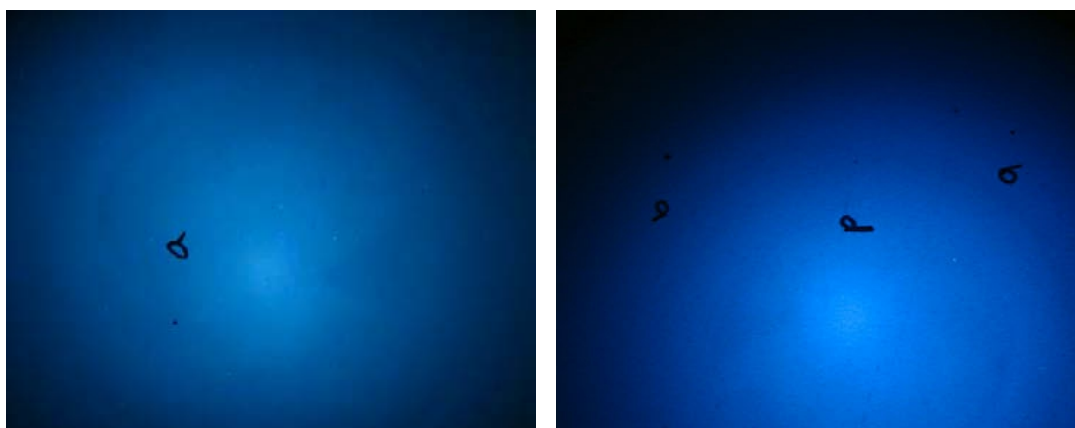
Είναι σημαντική η συμβατότητα της συχνότητας εκπομπής ακτινοβολίας, τόσο της φθορίζουσας ουσίας, όσο και της πηγής φωτός και του φασματογράφου, ο οποίος μετρά το ποσοστό απορρόφησης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (Εικόνα 3.14). Το αποτέλεσμα της συμβατότητας αυτής είναι η μέγιστη ένταση της ανακλώμενης ακτινοβολίας, προς διευκόλυνση του επιθεωρητή.



Εικόνα 3.14 - Συμβατότητα της συχνότητας ακτινοβολίας [36]

Από τις εικόνες 3.13 και 3.14 προκύπτει ότι η ιδανική συχνότητα εκπομπής δέσμης υπεριώδους ακτινοβολίας για τη συγκεκριμένη ουσία, είναι τα 375 nm. Σε πραγματικό προϊόν η απαίτηση για μήκος κύματος είναι μεταξύ 300-410 nm.

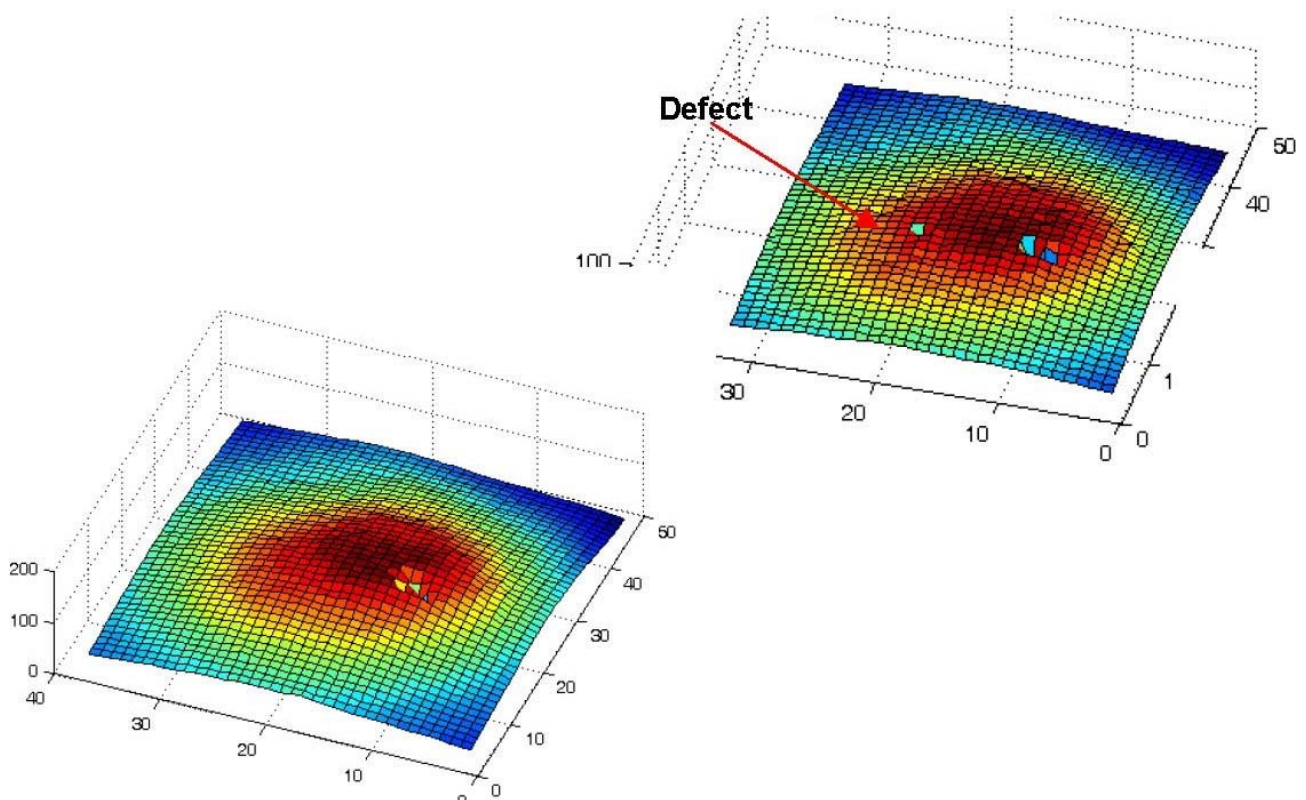
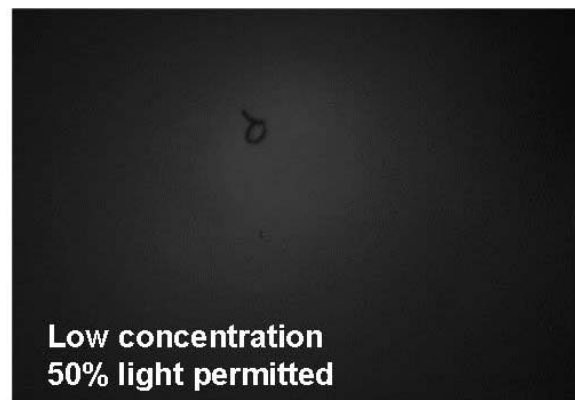
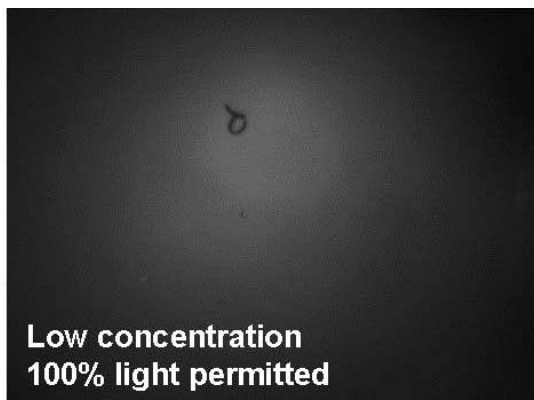
Η ικανότητα ανάκλασης του φθορίζοντος συστατικού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σύσταση του επικαλυπτικού. Είναι γνωστό ότι προστίθενται ουσίες που προστατεύουν το επικαλυπτικό από την υπεριώδη ακτινοβολία του ηλιακού φωτός και την πρόωρη γήρανση αυτού. Κάτι τέτοιο φυσικά δε συμβαίνει στις δεξαμενές (έρματος και υπόλοιπες). Παρόλα αυτά, η όποια σύσταση αλλοιώνει την απόδοση του υπεριώδους φωτός από το επικαλυπτικό. Έτσι λοιπόν η προσθήκη της ουσίας είναι αρμοδιότητα του κατασκευαστή επικαλυπτικών και δε συνιστάται η κατά βούληση προσθήκη του από το συνεργείο βαφής. Στις ακόλουθες φωτογραφίες καταδεικνύεται η διαφοροποίηση της ακτινοβολίας που εκπέμπουν δύο διαφορετικά επικαλυπτικά, με ίδιες περιεκτικότητες φθορίζουσας ουσίας και ίδιο φωτισμό (Εικόνα 3.15).



Εικόνα 3.15 - Σύγκριση εκπομπής ακτινοβολίας σε δύο διαφορετικά επικαλυπτικά [41]

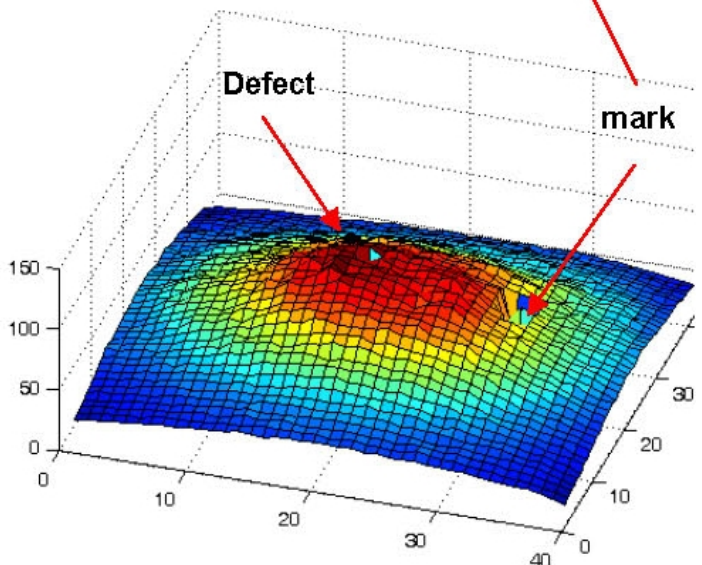
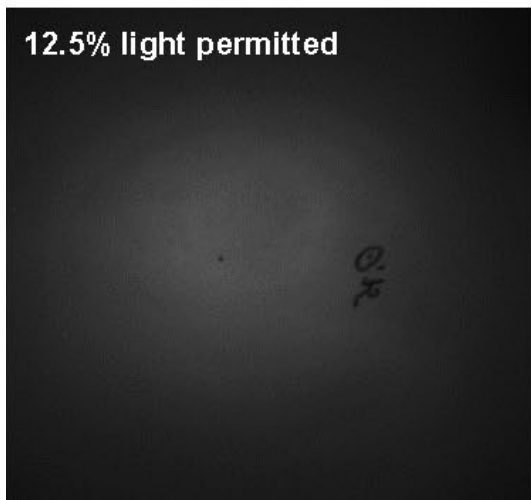
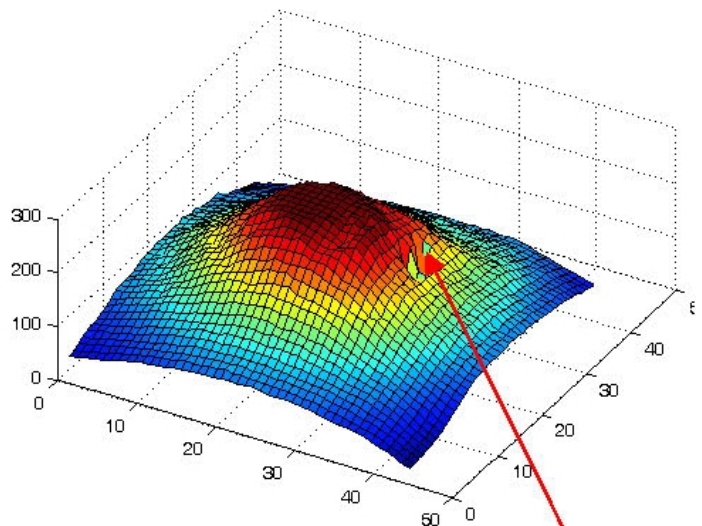
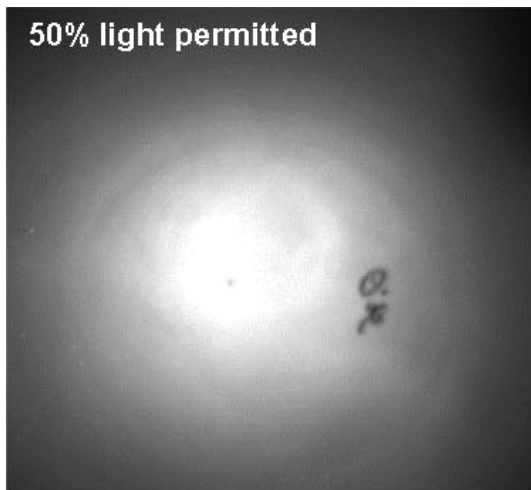


Η περιεκτικότητα του επικαλυπτικού σε φθορίζουσα ουσία δεν είναι ανάλογη με την αύξηση της δυνατότητας ανίχνευσης βελονισμών. Η υπερβολική περιεκτικότητά της οδηγεί σε «φωτισμό» της επιφάνειας, ο οποίος δυσχεραίνει την ανίχνευση αστοχιών. Στις ακόλουθες φωτογραφίες (Εικόνα 3.16, 3.17), γίνεται μια σύγκριση της δυνατότητας ανίχνευσης αστοχιών, σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε φθορίζουσα ουσία (πολλή ή λίγη) και της έντασης υπεριώδους φωτισμού της επιφάνειας (ποσοστό %).



Εικόνα 3.16 - Οι εικόνες που λαμβάνει ο επιθεωρητής σε επικαλυπτικά με χαμηλή περιεκτικότητα σε φθορίζουσα ουσία και οι αναπαραστάσεις αυτών σε Η/Υ [41]

Είναι προφανές ότι και η ένταση του φωτισμού είναι καταλυτική στην ανίχνευση αστοχιών, όμως αυτό διορθώνεται πολύ πιο εύκολα με τη χρήση φακού χαμηλότερης ή υψηλότερης έντασης. Αντιθέτως η περιεκτικότητα της φθορίζουσας ουσίας έχει ήδη καθορισθεί (από τον κατασκευαστή).



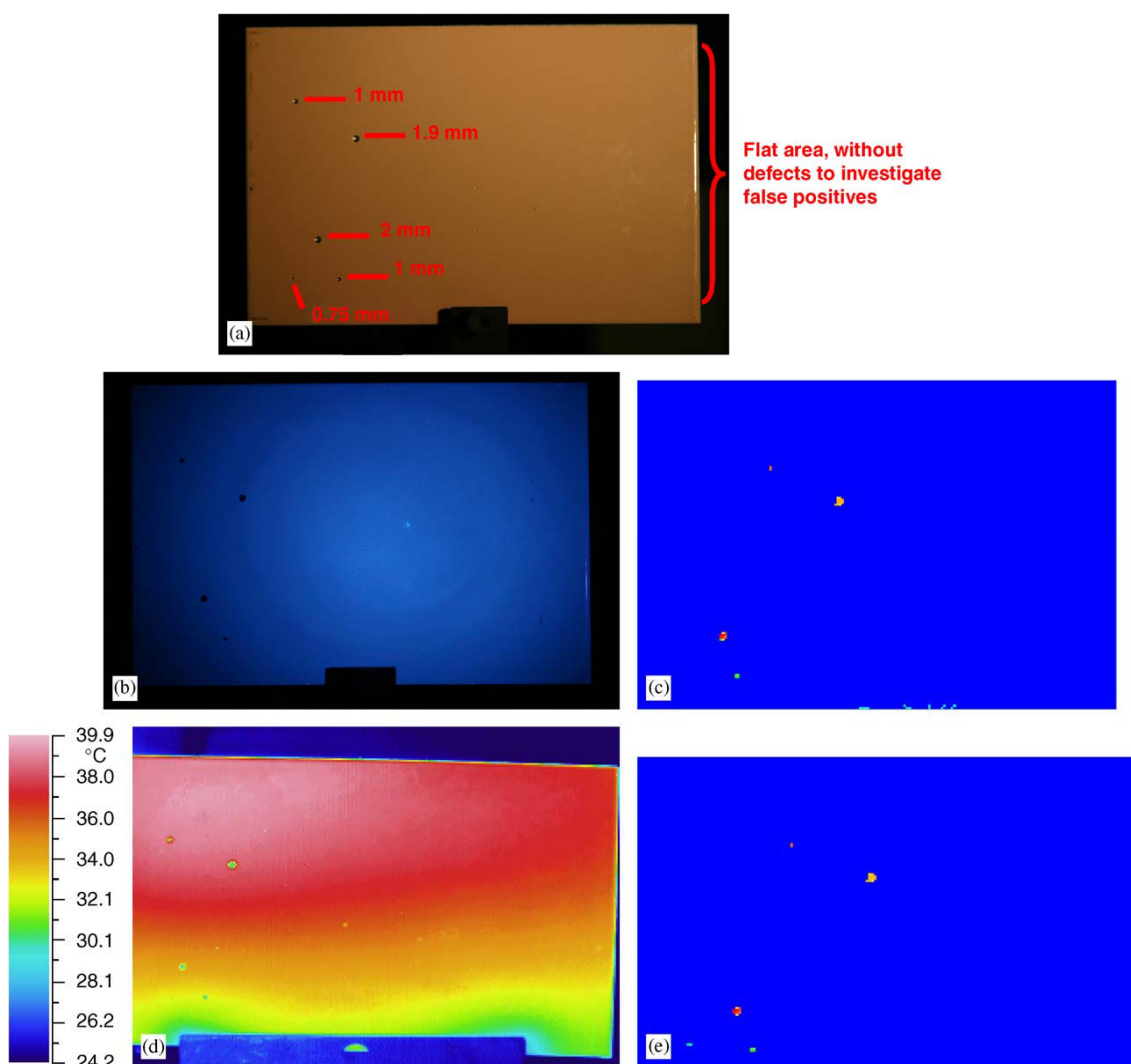
Εικόνα 3.17 - Οι εικόνες που λαμβάνει ο επιθεωρητής σε επικαλυπτικά με υψηλή περιεκτικότητα σε φθορίζουσα ουσία και οι αναπαραστάσεις αυτών σε Η/Υ [41]

Από πειράματα που έγιναν σε συνήθη εποξειδικά επικαλυπτικά με προσθήκη της φθορίζουσας ουσίας, τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά. Η ανίχνευση βελονισμών ανήλθε στο 66% των υπαρκτών.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι προηγούμενες φωτογραφίες αποδίδουν πειραματικές διατάξεις, με την προσθήκη της φθορίζουσας ουσίας να γίνεται μεταγενέστερα της παρασκευής του επικαλυπτικού από τον κατασκευαστή. Συνεπώς οι διακυμάνσεις στην ένταση εκπομπής του επικαλυπτικού, σε πρακτική εφαρμογή, εξαρτώνται μόνο από την ένταση του φωτισμού που χρησιμοποιείται.

### Σύγκριση με υπέρυθρη θερμογραφία (*Infra-Red Thermography - IRT*)

Προγενέστερη της χρήσης φθοριζόντων επικαλυπτικών είναι η χρήση υπέρυθρης θερμογραφίας για την ανίχνευση αστοχιών. Η μέθοδος αυτή λειτουργεί ανεξάρτητα από την προσθήκη φθοριζουσών ουσιών στο επικαλυπτικό και χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια στην αυτοκινητοβιομηχανία. Αν και η ικανότητα ανίχνευσης φτάνει το 83%, είναι δηλαδή σαφώς ανώτερη εκείνης της UVF, εντούτοις υπάρχει δυσκολία εφαρμογής της στη ναυπηγική βιομηχανία, καθώς απαιτείται προηγουμένως να θερμανθεί η κατασκευή, ώστε να ενεργοποιηθεί η διακριτή ικανότητα του εξοπλισμού ελέγχου (θερμική κάμερα). Προφανώς η δυνατότητα θέρμανσης κατασκευών μεγέθους τμήματος πλοίου είναι μέχρι σήμερα περιορισμένη. Η μέθοδος πάντως έχει σαν αρχή λειτουργίας τη θερμοκρασιακή διαφοροποίηση των αστοχιών επικάλυψης, λόγω του ότι δεν μονώνονται θερμικά από το ίδιο το επικαλυπτικό. Οπτική σύγκριση των δύο μεθόδων ανίχνευσης δίνεται παρακάτω (Εικόνα 3.18).



Εικόνα 3.18 - Η εικόνα του δοκιμίου (πάνω), εικόνες UVF πριν και μετά την επεξεργασία τους (μέση) και εικόνες IRT πριν και μετά την επεξεργασία τους (κάτω) [37]

### Τεχνική επιθεώρησης

Η τεχνική που απαιτείται για τη σωστή επιθεώρηση είναι γενικά απλή και εφόσον η ικανότητα ανίχνευσης αυξάνεται (Εικόνα 3.19), θεωρητικά βελτιώνεται και η ποιότητα του τελικού προϊόντος. Ο απαραίτητος εξοπλισμός από πλευράς επιθεωρητή είναι μόνο ένας φακός με λυχνία υπέρυθρου φωτός. Όπως αναφέρθηκε, η ένταση φωτισμού ίσως χρειάζεται να αυξομειωθεί, γι' αυτό ο κατασκευαστής προτείνει εναλλαγή μεταξύ φακών υψηλής και χαμηλότερης έντασης (Εικόνα 3.20).



Εικόνα 3.19 - Ο φωτισμός των δεξαμενών έρματος είναι πάντα σημαντικό στοιχείο των επιθεωρήσεων [42]

Η εφαρμογή των επικαλυπτικών που περιέχουν φθορίζουσες ουσίες λειτουργεί με τον εξής τρόπο. Η ουσία προστίθεται από τον κατασκευαστή στο επικαλυπτικό μιας μόνο στρώσης, εφόσον το σύστημα βαφής αποτελείται από δύο στρώσεις, που είναι η συνήθης περίπτωση. Εφόσον η πρώτη στρώση αντιδρά εκπέμποντας ακτινοβολία όταν διαγείρεται από εξωτερική πηγή υπεριώδους φωτός, είναι ορατή η κάλυψη ή μη της επιφάνειας, ακόμα και σε οπτικά δυσμενείς συνθήκες, όπως είναι το εσωτερικό δεξαμενών. Οι περιοχές που δεν έχουν επαρκές «φωτεινό» ίχνος είναι αυτές που έχουν πάχος στρώσης κάτω του ελάχιστου που ορίζει ο κατασκευαστής και πρέπει να καλυφθούν επιπλέον (Εικόνα 3.21).

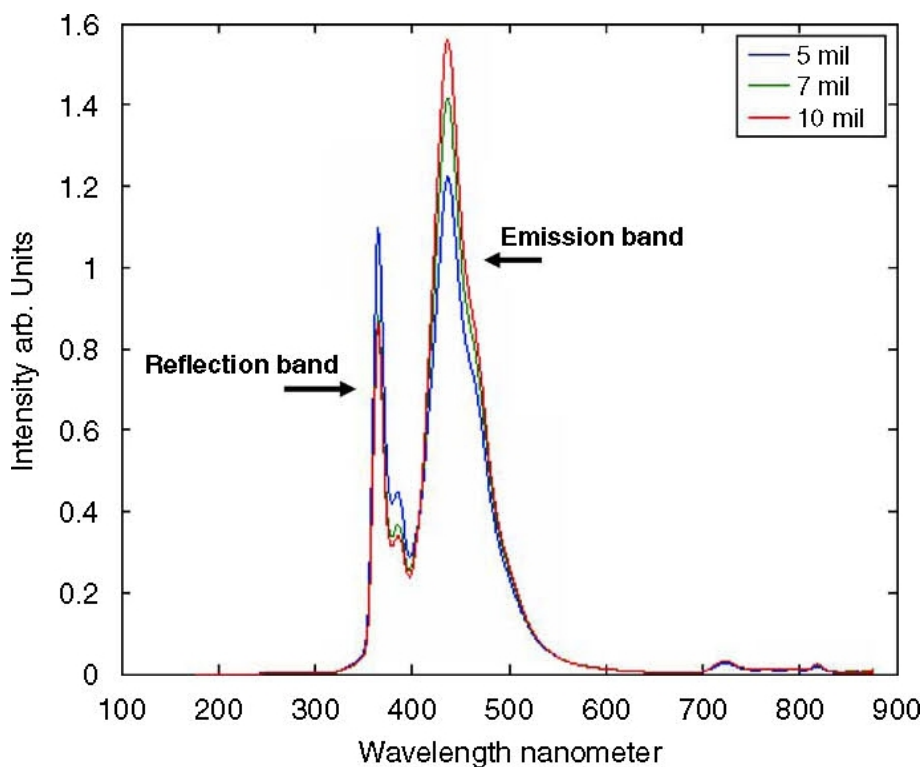
Η διακριτική ικανότητα παρουσιάζεται ευθύς αμέσως με την εφαρμογή του επικαλυπτικού, δεν χρειάζεται δηλαδή να περάσει κάποιο χρονικό διάστημα για να ενεργοποιηθεί η ουσία. Αυτό βοηθά τον επιθεωρητή να εντοπίσει αστοχίες πριν πολυμεριστεί το επικαλυπτικό, όταν η στρώση είναι ακόμα νωπή (Εικόνα 3.22). Επίσης ωφελείται το συνεργείο βαφής, καθώς κατά την εφαρμογή εντοπίζει «προβληματικές» περιοχές και τις διορθώνει άμεσα, ενώ παράλληλα αναπτύσσει σωστή τεχνική στη χρήση του εξοπλισμού βαφής για την επίτευξη του ελάχιστου πάχους στρώσης (Εικόνα 3.23).

Όταν γίνει η εφαρμογή της δεύτερης στρώσης, αντίστοιχα, μπορεί να εντοπιστεί η κάλυψη που επιτυγχάνεται, όχι μόνο δια γυμνού οφθαλμού, λόγω του διαφορετικού χρώματος της δεύτερης στρώσης από την πρώτη, αλλά και λόγω της κάλυψης της φθορίζουσας υπάρχουσας επιφάνειας από τη συμβατική δεύτερη. Οι περιοχές με ελλιπή κάλυψη, είναι πλέον φωτεινές, σε αντίθεση με την πρώτη στρώση.

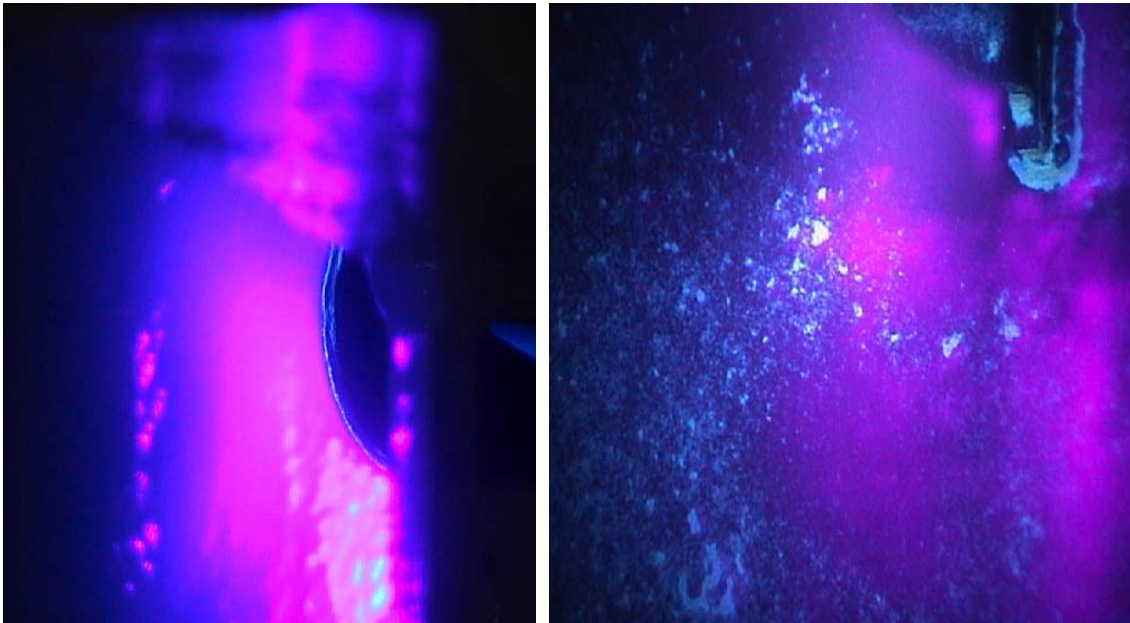
Η ικανότητα ανάκλασης της υπέρυθρης ακτινοβολίας που δέχεται δε μειώνεται με το πέρας του χρόνου, επομένως καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της κατασκευής μπορεί να διαπιστωθεί εύκολα η διάρρηξη της εξωτερικής στρώσης από κρούση ή διάβρωση και να αντιμετωπιστεί έγκαιρα.



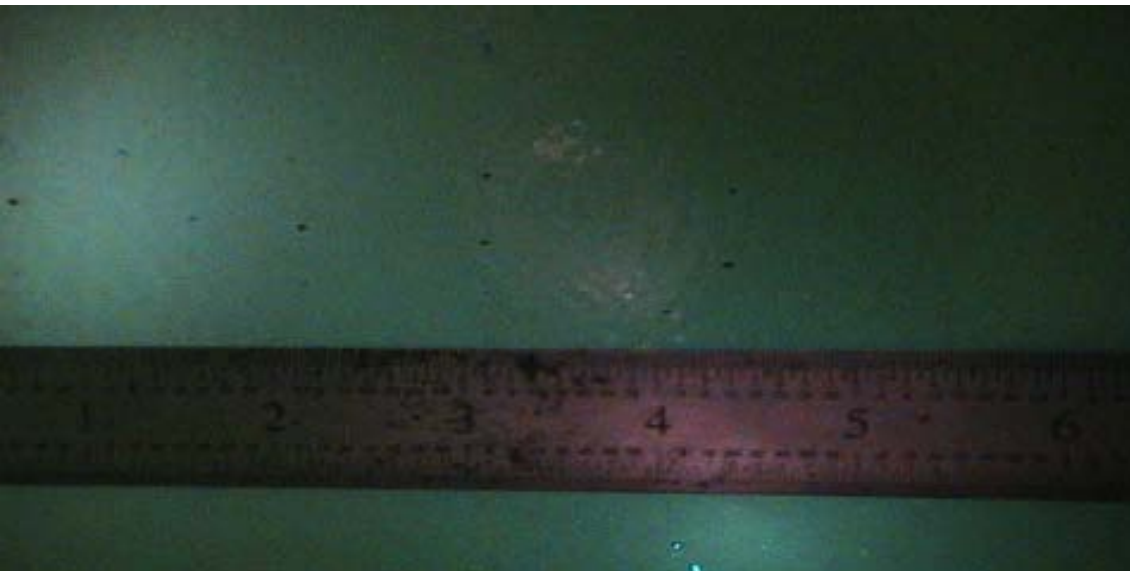
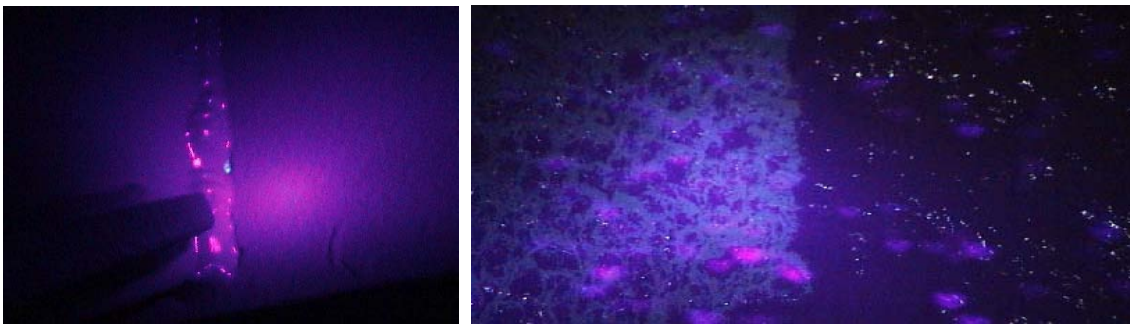
Εικόνα 3.20 - Ο φακός αριστερά είναι έντασης 35W, κατάλληλος για μεγάλες επιφάνειες, ενώ ο φακός δεξιά είναι κοινός 4D με λυχνία LED [42]



Εικόνα 3.21 - Η ένταση της εκπομπής ακτινοβολίας είναι ανάλογη του πάχους στρώσης [37]



Εικόνα 3.22 - Η αριστερή εικόνα δείχνει ανθρωποθυρίδα, η δεξιά λεπτομέρεια ελλειπούς στρώσης [42]



Εικόνα 3.23 – Επάνω: Δύο φωτογραφίες εντοπισμού αστοχιών, με χρήση φθορίζοντος επικαλυπτικού, μετά τη δεύτερη στρώση. Η αριστερή εικόνα δείχνει συγκόλληση, η δεξιά επιστρωση με ρολό, όπου οι «φωτεινές» περιοχές έχουν καλυφθεί ανεπαρκώς. Κάτω: Ανεπαρκής κάλυψη βελονισμών με επικαλυπτικό, κατά την πρώτη στρώση. Αξίζει να σημειωθεί η δυσκολία διάκρισης όταν υπάρχει επιπλέον φυσικός φωτισμός [58]

### Περιορισμοί χρήσης

Όπως με κάθε νέα τεχνολογία, έτσι και με τη χρήση φθοριζόντων συστατικών, δημιουργούνται προβληματισμοί για τη σωστή εφαρμογή τους στη ναυπηγική βιομηχανία. Στην πράξη, η χρήση τέτοιων ουσιών πρέπει να λειτουργεί θετικά. Αυτό αποδεικνύει η υιοθέτησή τους σαν συστατικό των επικαλυπτικών για τις δεξαμενές έρματος στα πλοία του Πολεμικού Ναυτικού των Η.Π.Α. Ήδη κυκλοφορεί στην εμπορική αγορά τουλάχιστον ένα τέτοιο προϊόν. Ο χρόνος ζωής των φθοριζουσών ουσιών μένει να αποδειχθεί και πρακτικά ότι υπερβαίνει εκείνον του επικαλυπτικού. Οι όποιοι προβληματισμοί για την χρήση τους παρατίθενται στη συνέχεια:

- Οι πειραματικές διατάξεις χρησιμοποιούν πάχος στρώσης μέχρι 250μm. Τα σύγχρονα επικαλυπτικά για δεξαμενές έρματος ξεπερνούν τα 300 μm.
- Οι προδιαγραφές σύστασης του επικαλυπτικού προστατεύουν τη στρώση από το ελάχιστο πάχος, όχι από το μέγιστο, που είναι συχνά αιτία αστοχίας.
- Ο σωστός φωτισμός, στη σωστή ένταση, είναι σημαντικότερη παράμετρος στην επιτυχή επιθεώρηση. Ο υπεριώδης φωτισμός αλλοιώνεται με την ταυτόχρονη ύπαρξη φυσικού φωτισμού. Συνιστάται η διπλή επιθεώρηση, με φυσικό και υπεριώδη φωτισμό.
- Η ανίχνευση αστοχιών περιορίζεται στις περιπτώσεις καταστροφής μόνο της εξωτερικής στρώσης. Σε περιοχές που υπάρχει πλήρης κατάρρευση του επικαλυπτικού, η ένδειξη θα είναι περιορισμένη. Επίσης, αστοχίες όπως η αποκόλληση στρώσεων και οι φλύκταινες, δεν ανιχνεύονται επαρκώς.
- Υπάρχει προφανώς αύξηση κόστους του επικαλυπτικού, η οποία για κάποιους πλοιοκτήτες θα λειτουργήσει αποτρεπτικά.
- Η ανίχνευση γενικής φθοράς της εξωτερικής στρώσης θα γίνει αντιληπτή, μόνο όταν η φθορά θα είναι αρκετά προχωρημένη, ώστε να εμφανιστεί η εσωτερική στρώση.
- Ο μεγαλύτερος κίνδυνος είναι η τυφλή αποδοχή των ενδείξεων αυτών και κυρίως η αμέλεια χρήσης συμβατικών μεθόδων επιθεώρησης. Η χρήση εξελιγμένων προϊόντων λειτουργεί επιβλητικά και δεν είναι η απόλυτη προστασία από τη διάβρωση.

Η χρήση αυτών των επικαλυπτικών αυξάνει κατά πολύ την ταχύτητα επιθεώρησης, ειδικά αν συγκριθεί με μεθόδους ηλεκτρικής αγωγιμότητας, οι οποίες λειτουργούν τοπικά και απαιτούν επαφή με την επιφάνεια (μερικός πολυμερισμός επικαλυπτικού). Η σωστή χρήση τους εξαρτάται από τους επιθεωρητές κατά κύριο λόγο, αλλά και από τα συνεργεία βαφής.

### 3.3.3 - Επικαλυπτικά άκαμπτης πολυουρεθάνης [33], [34], [41], [45], [46], [47], [48], [49], [50]

#### Εισαγωγή

Σε προηγούμενες ενότητες έγινε αναφορά στις σύγχρονες μεθόδους επικαλύψεων των δεξαμενών έρματος. Όπως δείχνουν τα στοιχεία, τα εποξειδικά επικαλυπτικά κυριαρχούν στην αγορά, προσφέροντας μακροχρόνια αντιδιαβρωτική προστασία και καλές μηχανικές ιδιότητες. Πέρα όμως από τα πλεονεκτήματα αυτά υπάρχουν και περιορισμοί, τους οποίους οι κατασκευαστές ακόμα δεν έχουν ξεπεράσει.

Πέρα από την προστασία του χάλυβα, το χρονικό διάστημα επίστρωσης και στερεοποίησης των εποξειδικών, είναι πολύ μεγάλο (σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνά τις 3 εβδομάδες). Με βάση τα στενά χρονικά περιθώρια στις ναυπηγήσεις, καθώς και τις όποιες καθυστερήσεις εργασιών που προκύπτουν, συχνά το τμήμα των επικαλύψεων καλείται να μειώσει το χρόνο εργασίας του, οδηγώντας τις επικαλύψεις σε κακή ποιότητα.

Ένα ακόμα πρόβλημα των εποξειδικών είναι η μειωμένη ελαστικότητα στα μεγάλα πάχη στρώσης. Οι σημερινές τάσεις για αυξημένη προστασία οδηγούν το σύστημα βαφής σε πάχος που ξεπερνά τα 500μm. Σε περιοχές του πλοίου με έντονες μηχανικές παραμορφώσεις, όπως η μέση τομή, συχνά τα εποξειδικά καταρρέουν λόγω ψαθυρότητας.

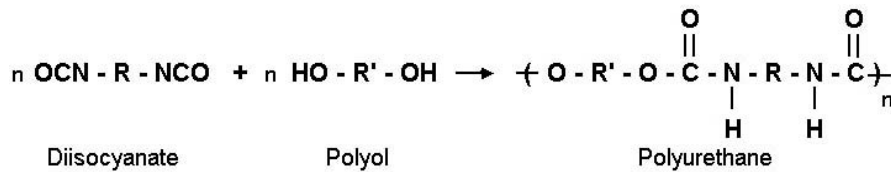
Τα παραπάνω προβλήματα των εποξειδικών δείχνουν να λύνονται με την εφαρμογή επικαλυπτικών διαφορετικής χημικής σύνθεσης, των λεγόμενων «επικαλυπτικών πολυουρεθάνης». Ο όρος δεν είναι όμως δόκιμος καθώς περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές υποομάδες. Μία πρώτη αναφορά στα επικαλυπτικά αυτά θα γίνει σε τούτη την ενότητα.

#### Ιστορική αναδρομή – Χημική σύνθεση

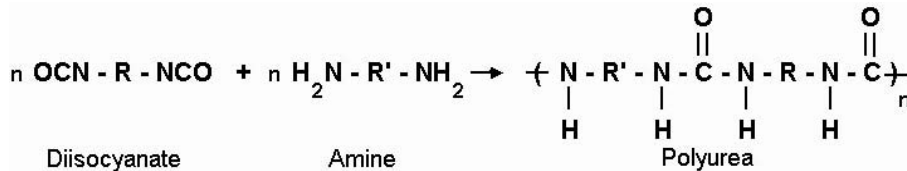
Προς τα τέλη της δεκαετίας του '30, ο Ότο Μπάγιερ ανακάλυψε την ένωση με πολυμερισμό των δι-ισοκυανικών, η οποία οδήγησε στην ανακάλυψη πολλών χημικών ενώσεων πολυουρεθάνων (Εικόνα 3.24). Η χημική αντίδραση πολυμερισμού μεταξύ δι- ή πολυ-ισοκυανικών και ριζών υδροξυλίου (πολυόλες), είναι εξώθερμη και οδηγεί σε γρήγορη στερεοποίηση με ικανότητα αύξησης του πάχους στρώσης ουσιαστικά απεριόριστη (στα προϊόντα χωρίς διαλύτες). Εάν αντί για ρίζες υδροξυλίου δοθούν αμίνες ή άλλες ενώσεις υδρογόνου, το προϊόν πλέον είναι η πολυουρία (Εικόνα 3.25). Η τελευταία αντίδραση είναι ακόμα πιο σύντομη σε δράση. Δεδομένου ότι υπάρχουν εκατοντάδες διαφορετικά ισοκυανικά και χιλιάδες πολυόλες και αμίνες, οι πιθανοί συνδυασμοί ενώσεων ανέρχονται σε εκατομμύρια. Κατηγορίες ισοκυανικών είναι τα αλειφατικά και τα αρωματικά, ενώ ομάδες πολυολών είναι οι πολυαιθέρες, οι πολυεστέρες, τα ακρυλικά κ.α. Προφανώς, η χημική σύσταση καθορίζει τις ευεργετικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Για παράδειγμα, από τα αλειφατικά ισοκυανικά, προκύπτουν αλειφατικές πολυουρεθάνες και πολυουρίες, οι οποίες είναι κατάλληλες σε εξωτερικές εφαρμογές, λόγω της αντοχής σε υπέρυθρη ακτινοβολία (UV) και στις εξωτερικές καιρικές συνθήκες γενικότερα. Αντιθέτως, οι αρωματικές πολυουρεθάνες είναι καταλληλότερες για δεξαμενές, καθώς έχουν αυξημένη αντοχή σε χημικές ουσίες και συγκριτικά με τις προηγούμενες, μικρότερο κόστος παρασκευής.



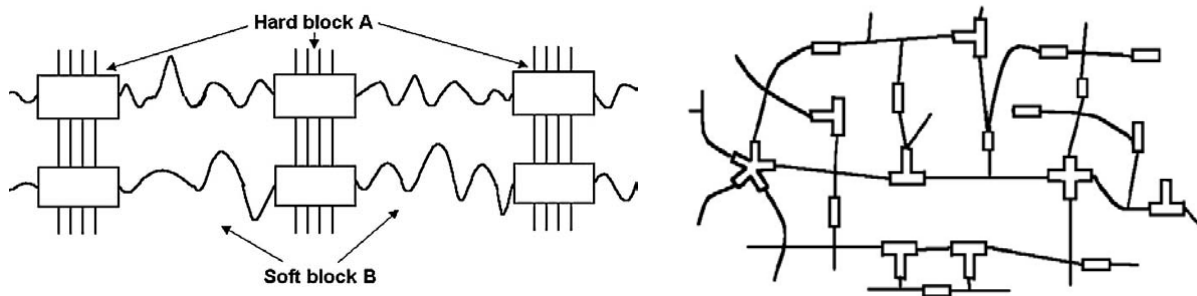
Ανάλογα με την επιλογή των αντιδρώντων ρητινών και την αναλογία ισοκυανικών /υδροξυλίων μεταβάλλονται οι δεσμοί πολυολών/αμινών και ισοκυανικών, και ρυθμίζεται η ελαστικότητα ή μη του τελικού προϊόντος (Εικόνα 3.26, 3.27).



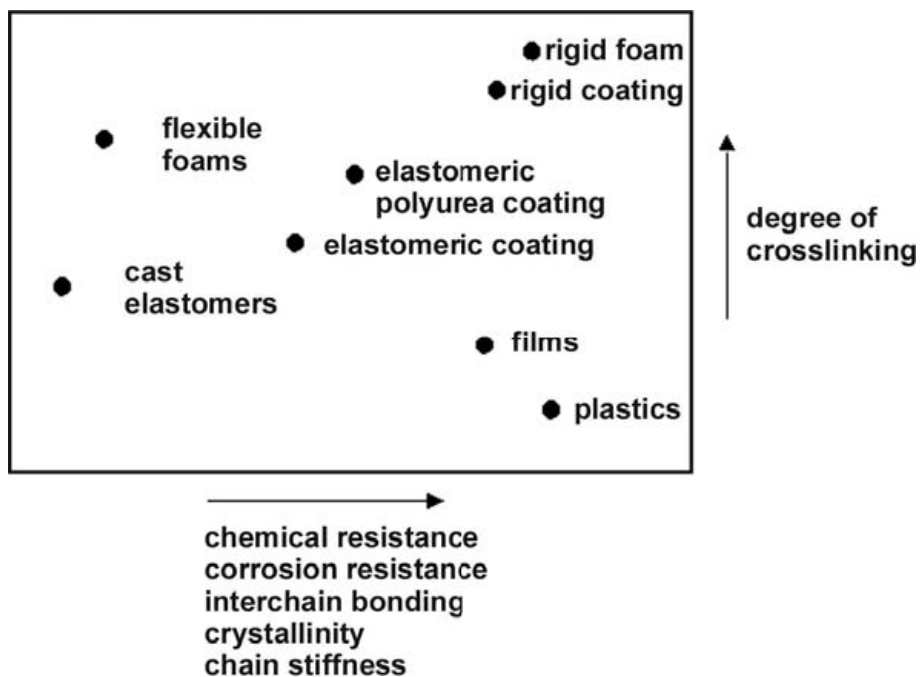
Εικόνα 3.24 - Αντίδραση πολυμερισμού πολυουρεθάνης [46]



Εικόνα 3.25 - Αντίδραση πολυμερισμού πολυουρίας [46]



Εικόνα 3.26 - Αναπαραστάσεις δεσμών, ελαστομερούς επικαλυπτικού πολυουρεθάνης (αριστερά) και άκαμπτου (δεξιά) [46]



Εικόνα 3.27 - Σχέσεις δομής-ιδιοτήτων για επικαλυπτικά πολυουρεθάνης και πολυουρίας, χωρίς διαλύτες (100% solids) [46]

Συνεχίζοντας την ιστορική αναδρομή, ενώ τις πρώτες δεκαετίες μετά το '30 δόθηκε έμφαση στην ανάπτυξη αφρωδών ελαστικών και συμπαγών από πολυουρεθάνες και μετά το '60 στη δημιουργία χυτών ελαστομερών πολυουρεθάνης για την αυτοκινητοβιομηχανία, έφτασαν μόλις το '80 να βρίσκουν και πάλι εμπορική εφαρμογή ως επικαλυπτικά, με μειωμένη αποδοχή. Η κύρια χρήση των τελευταίων ήταν στις υπόγειες δεξαμενές και προς το τέλος του '80 υπερκέρασαν πλήρως τα εποξειδικά επικαλυπτικά της εποχής (με πίσσα).

Εξαιτίας της πιθανότητας ύπαρξης δεσμών πολυουρίας σε προϊόντα πολυουρεθάνης, λόγω της χρήσης αμινών για την επέκταση της χημικής αλυσίδας ή ως συστατικά ρητινών για τη μερική αντικατάσταση πολυολών, μέχρι πρόσφατα δεν γινόταν διάκριση μεταξύ πολυουρίας και πολυουρεθάνης. Μόνο μετά το 2000 έγινε σαφής ο διαχωρισμός πολυουρίας/πολυουρεθάνης, ορίζοντας ως πολυουρίας το σύστημα που περιέχει αμίνη σε ποσοστό τουλάχιστον 80%. Αντίστοιχα για την πολυουρεθάνη, περιεκτικότητα σε πολυόλες τουλάχιστον 80%. Οι ενδιάμεσες καταστάσεις, οι οποίες είναι συνθέστερες, ονομάζονται υβριδικές ή μείγματα (*blends*).

### Κατηγορίες πολυουρεθάνης – πολυουρίας

Η κύρια κατηγοριοποίηση περιλαμβάνει μόνο χημικές ενώσεις χωρίς διαλύτες (*100% solids*), καθώς οι συγκεκριμένες είναι οι πλέον κατάλληλες για χρήση ως επικαλυπτικά. Υπάρχουν λοιπόν οι ελαστομερείς πολυουρεθάνες, οι ελαστομερείς πολυουρίες και οι άκαμπτες (ή δομικές) πολυουρεθάνες.

Οι ελαστομερείς πολυουρεθάνες έχουν ως κυριότερο πλεονέκτημα την υψηλή ελαστικότητα και ως μειονέκτημα τη μειωμένη αντοχή σε χημικά, διαλύτες και γενικότερα στη διάβρωση. Επιπρόσθετα, η ικανότητα πρόσφυσης τους μειώνεται με την αύξηση του μοριακού βάρους (μεγαλομορία). Προφανώς η κατηγορία αυτή δεν απασχολεί τη βιομηχανία επικαλυπτικών υψηλών επιδόσεων.

Οι ελαστομερείς πολυουρίες έχουν αυξημένες θερμικές αντοχές και ταχύτατο πολυμερισμό (3-10sec). Συνίστανται λοιπόν για εφαρμογή σε περιβάλλον με αυξημένη υγρασία ή σε ψυχρό περιβάλλον. Η εφαρμογή τους μπορεί να γίνει σε ελαφρά νωπή μεταλλική επιφάνεια, αν και κάτι τέτοιο για μακροχρόνια αντιδιαβρωτική προστασία δε συνίσταται. Ένα πιθανό πρόβλημα στην εφαρμογή μπορεί να προέλθει από την ελλιπή «διαβροχή» της επιφάνειας, κατά τον ψεκασμό, εξαιτίας του ταχύτατου πολυμερισμού. Επιπλέον εξέλιξη των επικαλυπτικών αυτών έχει γίνει με την προσθήκη μικρο-σφαιριδίων κεραμικού υλικού, για καλύτερη αντοχή στην τριβή και την κρούση.

Οι άκαμπτες (ή δομικές) πολυουρεθάνες χρησιμοποιούν ως αντιδρώντα πολυόλες και ισοκυανικά που είναι ρητίνες με πολύ πυκνότερη μοριακή δομή, επιτυγχάνοντας τελικό προϊόν πιο πυκνό και συμπαγές. Όλες οι μηχανικές ιδιότητες είναι βελτιωμένες σε σχέση με τα προηγούμενα είδη, ενώ η ελαστικότητα, η διαπερατότητα και η διαλυτότητα μειώνονται. Επιπλέον εξέλιξη των επικαλυπτικών αυτών έχει γίνει με την προσθήκη μικρο-σφαιριδίων κεραμικού υλικού, για καλύτερη αντοχή στην τριβή και την κρούση. Η κατηγορία αυτή είναι εξαιρετικά ενδιαφέρουσα για ναυπηγικές κατασκευές, καθώς επιλύει πολλά προβλήματα από την τρέχουσα χρήση εποξειδικών επικαλυπτικών. Ακολουθούν πίνακες με τις τρεις κατηγορίες και τις ιδιότητες αυτών προς σύγκριση (Πίνακας 3.1, 3.2).

Πίνακας 3.1 – Μηχανικές και χημικές ιδιότητες των τριών κατηγοριών επικαλυπτικών (100% solids) [46]

	<i>100% solids elastomeric polyurethane coating</i>	<i>100% solids elastomeric polyurea coating</i>	<i>100% solids rigid polyurethane coating</i>
<i>Tensile strength, psi</i>	<i>1,000 – 2,000</i>	<i>1,100 – 4,000</i>	<i>3,500 – 7,000</i>
<i>Shore Hardness</i>	<i>A20 to D65</i>	<i>A20 to D65</i>	<i>D50 - D90</i>
<i>Elongation, %</i>	<i>50 - 1,500%</i>	<i>20 - 1,000%</i>	<i>3 - 50%</i>
<i>100% Modulus, psi</i>	<i>300 – 1,000</i>	<i>500 – 2,000</i>	<i>800 – 3,500</i>
<i>Tear strength, pli</i>	<i>350 –700</i>	<i>250 - 600</i>	<i>200 - 500</i>
<i>Taber abrasion resistance (CS17, 1 Kg, 1000 cycles), after 3 hours of initial curing</i>	<i>60 – 200 mg weight loss</i>	<i>40 – 300 mg weight loss</i>	<i>40 – 80 mg weight loss 20 – 40 mg weight loss* * ceramic modified</i>
<i>Taber abrasion resistance (CS17, 1 Kg, 1000 cycles), fully cured</i>	<i>2 – 40 mg weight loss</i>	<i>6 – 70 mg weight loss</i>	<i>30 – 60 mg weight loss 10 – 30 mg weight loss* * ceramic modified</i>
<i>Impact resistance after 3 hours of initial curing, 40 mils (1 mm) DFT</i>	<i>60 - 150 in.lbs</i>	<i>5 – 35 in.lbs</i>	<i>25 – 120 in.lbs 40 – 150 in.lbs* * ceramic modified</i>
<i>Impact resistance, fully, cured, 40 mils (1 mm) DFT</i>	<i>80 - 200 in.lbs</i>	<i>60 – 200 in.lbs</i>	<i>30 – 125 in.lbs 45 – 160 in.lbs* * ceramic modified</i>
<i>Water absorption (ASTM 570 , immersed in water for 48 hours at 50°C/122°F)</i>	<i>5 - 15%</i>	<i>5 – 16%</i>	<i>1-2%</i>
<i>Chemical resistance (ASTM D716, 1,000 hours immersion)</i> <i>20% NaOH</i> <i>10% H2SO4</i> <i>25% H2SO4</i> <i>3% NaCl</i> <i>Gasoline</i> <i>Toluene</i>	<i>Pass</i> <i>Pass</i> <i>Fail</i> <i>Pass</i> <i>Fail</i> <i>Fail</i>	<i>Pass</i> <i>Pass</i> <i>Fail</i> <i>Pass</i> <i>Fail</i> <i>Fail (significant swelling &lt;24 hours)</i>	<i>Pass</i> <i>Pass</i> <i>Pass</i> <i>Pass</i> <i>Pass</i> <i>Pass</i>
<i>Cathodic disbondment (ATM G95, 3% NaCl, -1.5 volts, 30 days, 23°C)</i>	<i>10 mm to 35 mm disbonding radius</i>	<i>25 mm to 38 mm disbonding radius</i>	<i>3 mm to 15 mm disbonding radius</i>
<i>Adhesion to steel (SP10, 2 mil profile), psi</i>	<i>700 – 2,200</i>	<i>500 – 2,000</i>	<i>1,000 – 4,000</i>
<i>Adhesion to concrete, dry, no primer, psi</i>	<i>&gt; 350 Concrete failure</i>	<i>&gt;350 Concrete failure</i>	<i>&gt;350 Concrete failure</i>

Πίνακας 3.2 – Χαρακτηριστικά εφαρμογής των τριών κατηγοριών επικαλυπτικών (100% solids) [46]

	<i>100% solids elastomeric polyurethane coating</i>	<i>100% solids elastomeric polyurea coating</i>	<i>100% solids rigid polyurethane coating</i>
<i>Application temperature</i>	<i>-20°C to 65°C (- 13°F to 150°F)</i>	<i>-40°C to 50°C (-40°F to 122°F)</i>	<i>-40°C to 65°C (-40°F to 150°F)</i>
<i>Initial curing time</i>	<i>10 minutes to 2 hours @23oC/73oF</i>	<i>3-120 seconds @23°C/73°F</i>	<i>30 sec. to 45 minutes @23°C/73°F</i>
<i>Cure to handle time</i>	<i>1-12 hours @23°C/73°F</i>	<i>1- 3 hours @23°C/73°F</i>	<i>1 minute to 1.5 hours @23°C/73°F</i>
<i>Recoat time</i>	<i>30 minutes to 24 hours @23°C/73°F</i>	<i>1 minute to 12 hours @23°C/73°F</i>	<i>5 minutes to 8 hours @23°C/73°F</i>
<i>Cure to dry service</i>	<i>3 to 36 hours @23°C/73°F</i>	<i>2-5 hours @23°C/73°F</i>	<i>10 minutes to 4.5 hours @23°C/73°F</i>
<i>Cure to immersion service</i>	<i>12 hours to 7 days @23°C/73°F</i>	<i>12 - 48 hours @23°C/73°F</i>	<i>45 minutes to 48 hours @23°C/73°F</i>
<i>Ultimate cure</i>	<i>7-10 days @23°C/73°F</i>	<i>7-10 days @23°C/73°F</i>	<i>5-7 days @23°C/73°F</i>
<i>Service temperature, dry</i>	<i>-30°C to 80°C (-34°F to 182°F)</i>	<i>-45°C to 150°C (-42°F to 302°F)</i>	<i>-40°C to 125°C (-40°F to 250°F)</i>
<i>Service temperature, wet</i>	<i>-30°C to 50°C (-34°F to 122°F)</i>	<i>-45°C to 150°C (-42°F to 302°F)</i>	<i>-40°C to 90°C (-40°F to 195°F)</i>
<i>Typical dry film thickness requirements for service on a steel substrate</i>	<i>30 to 60 mils (0.76 mm to 1.5 mm)</i>	<i>40 to 60 mils (1 mm to 1.5 mm)</i>	<i>15 to 30 mils (0.38 mm to 0.75 mm)</i>
<i>Typical dry film thickness requirements for service on a concrete substrate</i>	<i>60 to 150 mils (1.5 mm to 3.8 mm)</i>	<i>60 to 150 mils (1.5 mm to 3.8 mm)</i>	<i>40 to 80 mils (1 mm to 2 mm)</i>
<i>Application methods</i>	<i>Spray, cast, trowel, roller, brush, pour</i>	<i>Spray, pour</i>	<i>Spray, cast, trowel, roller, brush, pour</i>
<i>Spray gun type</i>	<i>Plural or single component, static mixer or whip hose mixing possible</i>	<i>Plural component direct impingement, no static mixer</i>	<i>Plural or single component, static mixer or whip hose mixing possible</i>
<i>Spray pump</i>	<i>Plural component</i>	<i>Plural component</i>	<i>Plural component</i>
<i>Humidity sensitivity</i>	<i>Sensitive to little sensitive</i>	<i>Insensitive</i>	<i>Sensitive to insensitive</i>
<i>Requirement for perfect equipment operating</i>	<i>Important</i>	<i>Very critical</i>	<i>Important</i>
<i>General surface finish</i>	<i>Smooth to glossy to smooth</i>	<i>Orange peeling look</i>	<i>Smooth to glossy</i>

### Σύγκριση με εποξειδικά

Η χρήση επικαλυπτικών πολυουρεθάνης πλεονεκτεί έναντι των εποξειδικών στα εξής σημεία:

- Αντικαθιστά τα σημερινά συστήματα βαφής 3 στρώσεων
- Επιτυγχάνει σημαντικά υψηλότερο πάχος στρώσης με ικανοποιητική ελαστικότητα
- Είναι συμβατά με τις ολοένα αυστηρότερες περιβαλλοντικές διατάξεις για εκπομπές οργανικών διαλυτών (*VOC*)
- Ο χρόνος εφαρμογής- στερεοποίησης μειώνεται δραστικά (Πίνακας 3.3, 3.4).

Πίνακας 3.3 - Κατηγοριοποίηση επικαλυπτικών βάσει του χρόνου στερεοποίησης [33]

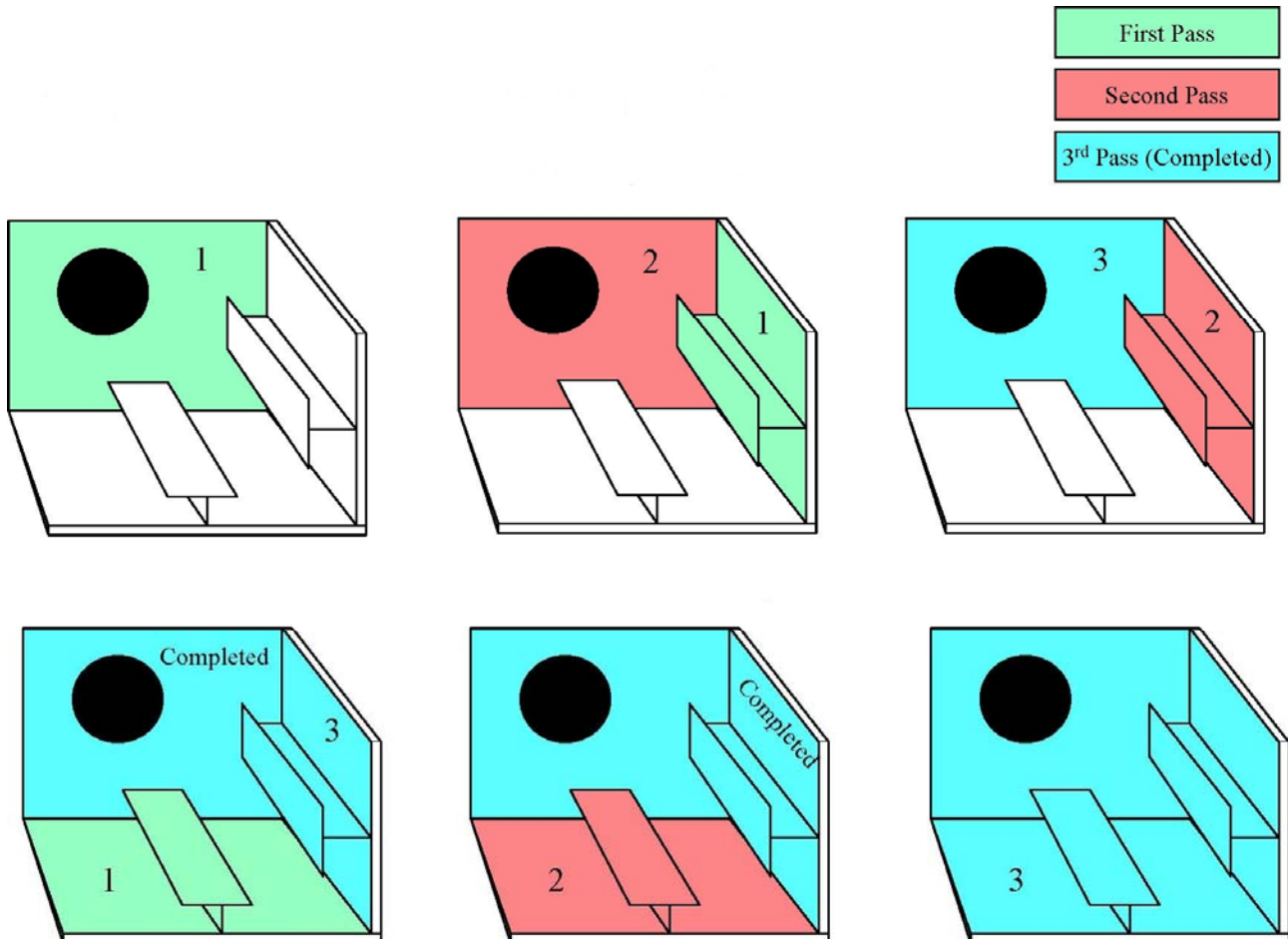
Τύπος Πολυμερισμού	Χημική Σύσταση Επικαλυπτικού
Συνήθης Πολυμερισμός	Συνήθη Εποξειδικά χωρίς Διαλύτες
Ταχύς Πολυμερισμός	Συνήθη Εποξειδικά χωρίς Διαλύτες, με χρήση Βελτιωμένων Καταλυτών
Εφαρμογή μιας Στρώσης	Πολυουρεθάνες και Πολυουρίες με χαμηλά επίπεδα Καταλύτη

Πίνακας 3.4 - Τυπικοί χρόνοι πολυμερισμού για τις εξεταζόμενες κατηγορίες επικαλυπτικών [33]

Τύπος Επικαλυπτικού/ Πολυμερισμού	Χρόνος Πολυμερισμού				
	4,4° C	15,6° C	23,9° C	32,2° C	43° C
Συνήθης Πολυμερισμός (Εποξειδικά)	Δεν Πολυμερίζεται	12-24 ώρες	8-12 ώρες	6-8 ώρες	4-6 ώρες
Ταχύς Πολυμερισμός (Εποξειδικά)	8 ώρες	5-7 ώρες	3-4 ώρες	2-3 ώρες	1-2 ώρες
Μια Στρώση (Ουρεθάνες)	40-60 λεπτά	20-30 λεπτά	10-20 λεπτά	5-10 λεπτά	< 1 λεπτό
Πολυουρίες	2-3 λεπτά	1-3 λεπτά	30-45 δευτερόλεπτα	5-10 δευτερόλεπτα	< 5 δευτερόλεπτα

### Τεχνική επικαλύψεων άκαμπτης πολυουρεθάνης – Χρόνος πολυμερισμού

Στην παρακάτω εικόνα περιγράφεται η διαδικασία επιστρώσης μιας δεξαμενής έρματος με επικαλυπτικά άκαμπτης πολυουρεθάνης (Εικόνα 3.28). Η επονομαζόμενη τεχνική «μιας στρώσης» δε σημαίνει ότι ο τεχνίτης ψεκάζει την επιφάνεια μόνο μια φορά. Σε αυτή τη φωτογραφία γίνονται 3 επάλληλες στρώσεις, με χρονικό περιθώριο 2-10 λεπτών μεταξύ τους. Η συντόμευση του χρόνου εκτέλεσης είναι σημαντική, το συνεργείο φεύγει από το χώρο (δεξαμενή), έχοντας ολοκληρώσει το σύστημα βαφής.



Εικόνα 3.28 - Προτεινόμενη τεχνική για την επαλληλία στρώσεων ίδιου προϊόντος [33]

Όσον αφορά τον εξοπλισμό για τις επιστρώσεις αυτές, δεν εφαρμόζεται ο συνήθως χρησιμοποιούμενος κοινός ψεκασμός χωρίς αέρα. Ενώ στα εποξειδικά επικαλυπτικά είναι σύνηθες να αναμειγνύονται τα δύο συστατικά πριν τη χρήση (επικαλυπτικό και καταλύτης), ίσως με τη χρήση μικρής ποσότητας διαλύτη, στις πολυουρεθάνες τα δύο συστατικά αναμειγνύονται κατά τον ψεκασμό, δηλαδή δύο αντλίες αναρροφούν τα δύο συστατικά από ξεχωριστά δοχεία. Ο λόγος αυτής της πρακτικής είναι ο πολύ μικρός χρόνος πολυμερισμού, γι' αυτό εξάλλου δε χρειάζεται να προστεθεί καταλύτης, εκ των προτέρων. Η απαίτηση για αυξημένη εκπαίδευση είναι προφανής, καθώς η στερεοποίηση γίνεται ταχύτατα, όμως ένας καλός τεχνίτης επιστρώνει το ίδιο καλά εποξειδικά επικαλυπτικά και πολυουρεθάνες.

Πέραν της χρήσης διπλής αντλίας ψεκασμού χωρίς αέρα, είναι απαραίτητη η θέρμανση των συστατικών πριν τη χρήση. Συνιστάται η θέρμανση των συστατικών στους 21-32° C, πριν αντληθούν για τον ψεκασμό, καθώς και η ανάμιξή τους χωρίς παρουσία αέρα. Το ακροφύσιο ψεκασμού πρέπει επίσης να θερμαίνεται στους 57-65° C. Η θερμοκρασία της βαφόμενης επιφάνειας πρέπει να παραμένει 3° C, άνω του σημείου δρόσου, όπως και στα εποξειδικά, για την αποφυγή σχηματισμού υγρασίας. Ολοκληρώνοντας τις απαιτήσεις για τη σωστή εφαρμογή ενός επικαλυπτικού πολυουρεθάνης, παρατίθενται οι ακραίες θερμοκρασιακές τιμές εφαρμογής του προϊόντος, καθώς και οι χρόνοι πολυμερισμού (Πίνακας 3.5, 3.6).

Πίνακας 3.5 - Συνιστώμενες συνθήκες εφαρμογής επικαλυπτικού άκαμπτης πολυουρεθάνης [33]

	Συνήθης	Ελάχιστη	Μέγιστη
Υλικό (στο ακροφύσιο)	60-65° C	57° C	77° C
Επιφάνεια	24-32° C	7° C	65° C
Περιβάλλον	24-32° C	2° C	49° C
Υγρασία	30-50%	0%	85%

Πίνακας 3.6 - Χρόνοι πολυμερισμού επικαλυπτικού άκαμπτης πολυουρεθάνης για συνθήκες 30-50% R.H. [33]

	10-15° C	21-27° C	32-40° C
Στεγνή επιφάνεια	4-10 λεπτά	3-4 λεπτά	0.5-2 λεπτά
Σκληρό φιλμ	10-20 λεπτά	5-10 λεπτά	5 λεπτά
Εφαρμογή νέας επικάλυψης (ελάχιστο)	4-10 λεπτά	3-4 λεπτά	0.5-2 λεπτά
Εφαρμογή νέας επικάλυψης (μέγιστο)	4 ώρες	2 ώρες	30 λεπτά
Πλήρης πολυμερισμός	3 ημέρες	2 ημέρες	24 ώρες

Τυπικό πάχος μιας στρώσης: 250 μm (εξαρτάται από τον τεχνίτη)

Ελάχιστο πάχος στρώσης (*DFT*): 375 μm

Μέγιστο πάχος στρώσης (*DFT*): 3100 μm (3.1 mm) σε επάλληλες στρώσεις

Βάσει του μέγιστου πάχους στρώσης, είναι εφικτή πλέον η υλοποίηση επίστρωσης μεγάλου πάχους, το οποίο συνεπάγεται αυξημένη αντιδιαβρωτική προστασία, χωρίς τον κίνδυνο ρωγματώσεων από παραμορφώσεις της μεταλλικής κατασκευής. Όμως, ο πολύ σύντομος πολυμερισμός οδηγεί τη διαδικασία επίστρωσης σε τεχνικές δυσκολίες. Πόσο γρήγορα άραγε μπορεί να επιστρωθεί η πλευρά ενός αμπαριού ώστε να επικαλυφθεί εκ νέου σε 30 λεπτά; Με αυτήν την λογική έχει νόημα η ύπαρξη συστάσεων για χρήση επικαλυπτικών πολυουρεθάνης ή εποξειδικών, ανάλογα με τις διαστάσεις της δεξαμενής (Πίνακας 3.7).

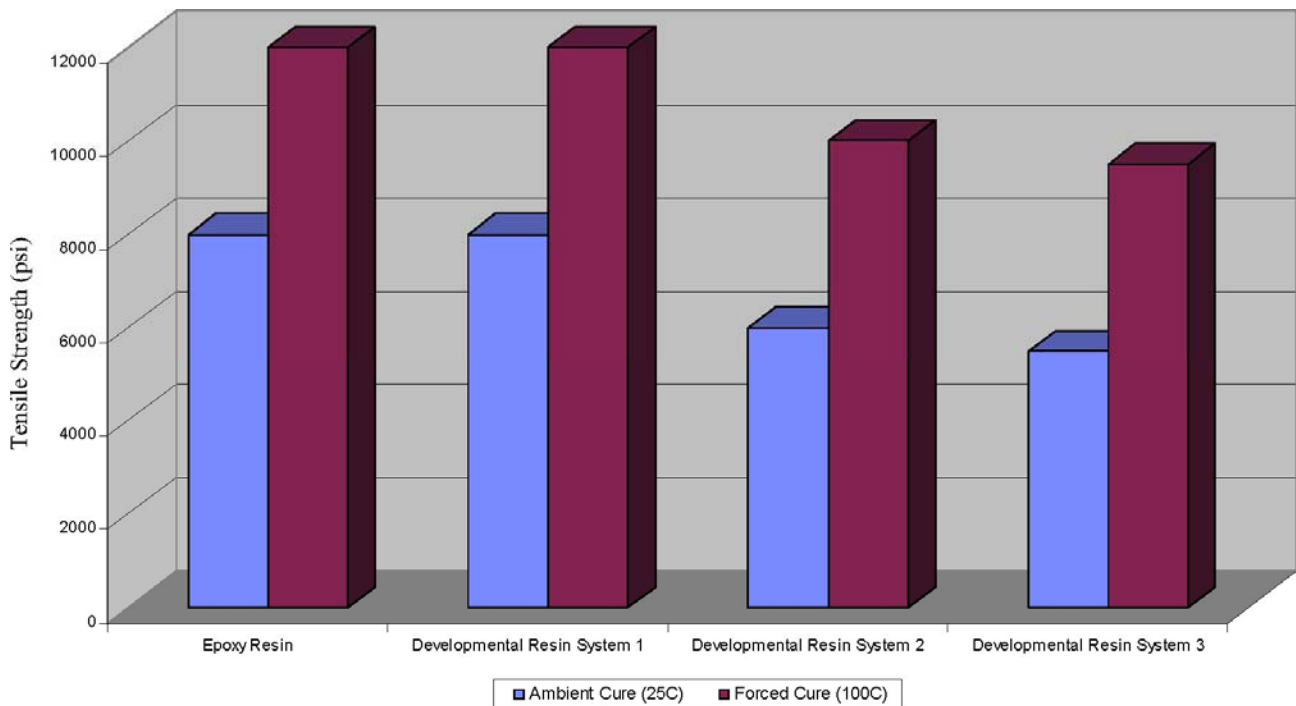
**Πίνακας 3.7 - Συστάσεις επιλογής συστήματος βαφής για δεξαμενές έρματος [33]**

Επιφάνεια Δεξαμενής (m <sup>2</sup> )	Πολυπλοκότητα κατασκευής	Θερμοκρασία	Σύστημα βαφής	Χρόνος στερεοποίησης	Χρονικό διάστημα νέας επικάλυψης
<450	Χαμηλή	10-32.2° C	Πολυουρεθάνη	20-30 λεπτά	4 ώρες
<450	Μεσαία	10-32.2° C	Πολυουρεθάνη	30-40 λεπτά	4 ώρες
<450	Υψηλή	10-32.2° C	Εποξειδικό	40-60 λεπτά	4 ώρες
>450	Χαμηλή	10-32.2° C	Εποξειδικό	3 ώρες	8 ώρες
>450	Μεσαία	10-32.2° C	Εποξειδικό	3 ώρες	8 ώρες
>450	Υψηλή	10-32.2° C	Εποξειδικό	3 ώρες	8 ώρες
<450	Οποιαδήποτε	>32.2° C	Εποξειδικό	3 ώρες	8 ώρες
>450	Οποιαδήποτε	>32.2° C	Εποξειδικό	3 ώρες	8 ώρες

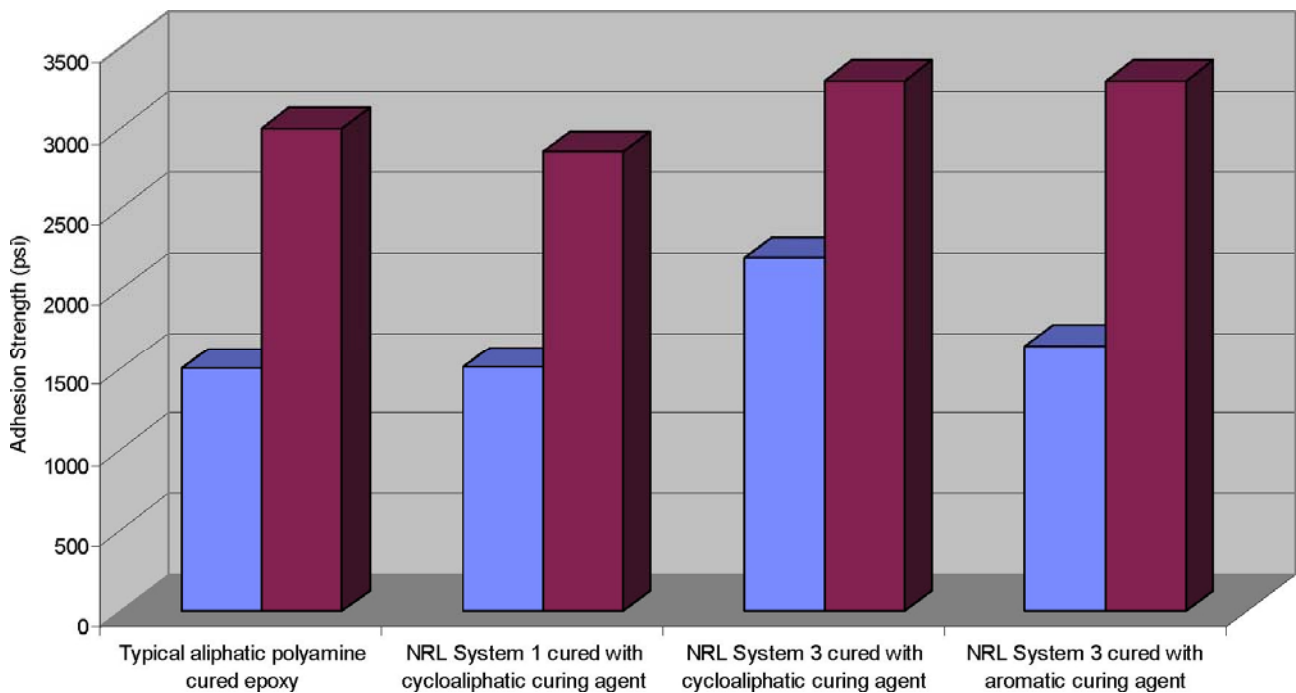
Όπως μπορεί να παρατηρήσει κάποιος, οι παραπάνω συστάσεις είναι πολύ συντηρητικές. Η μεγαλύτερη χρήση των επικαλυπτικών αυτών στη ναυπηγική βιομηχανία θα διευρύνει την εφαρμογή τους.

Στη φάση ανάπτυξης ευρίσκονται επικαλυπτικά πολυουρεθάνης με αρωματικές τετραμερείς πολυόλες, σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα από τα συνήθη, έτσι ώστε να αυξηθεί η αντοχή τους σε χημικά και να συγκρίνεται με εκείνη των εποξειδικών. Οι υπόλοιπες ιδιότητες σχετικά με την εφαρμογή παραμένουν ως έχουν. Σύγκριση των βελτιωμένων ρητινών με εποξειδικές δίνεται στα παρακάτω γραφήματα (Εικόνα 3.29, 3.30, 3.31).

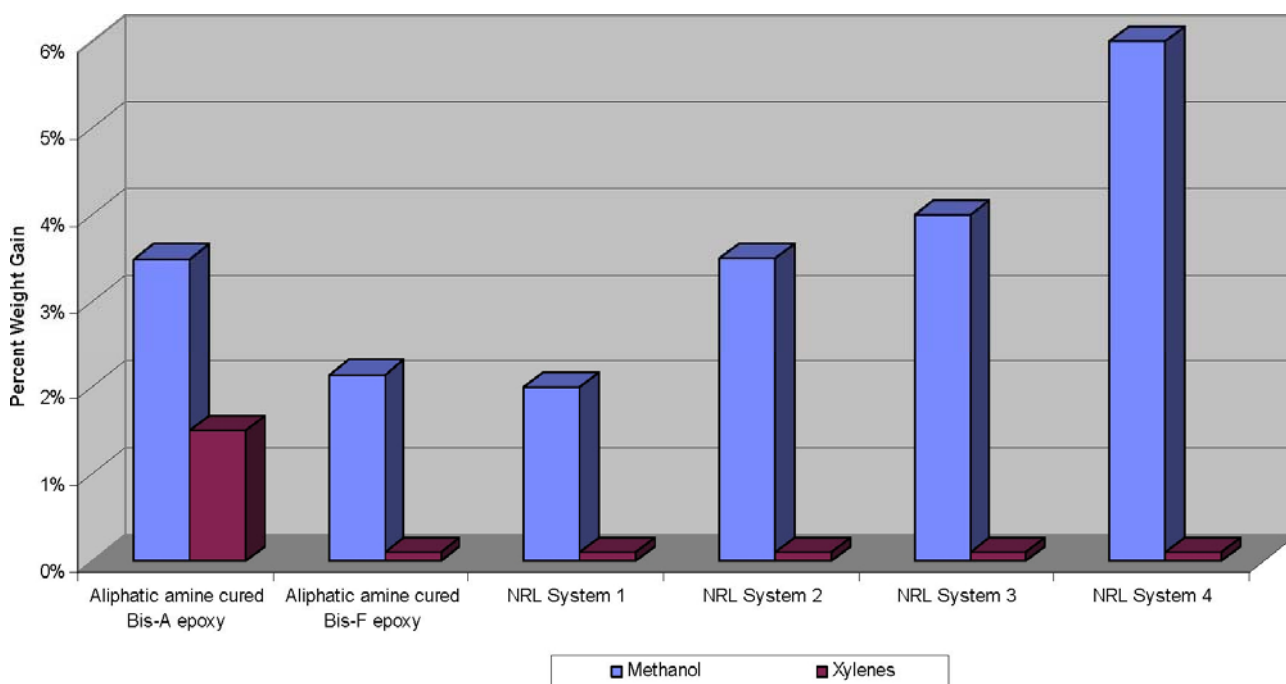




Εικόνα 3.29 - Αντοχή σε εφελκυσμό επικαλυπτικών, με η χωρίς θέρμανση στους 100° C. Εποξειδικό (πρώτο αριστερά) και πολυουρεθάνες με πειραματικές ρητίνες (επόμενα) [33]



Εικόνα 3.30 – Αντοχή σε πρόσφυση (ελάχιστη και μέγιστη τιμή) σε εποξειδικό (πρώτο αριστερά) και πολυουρεθάνες με πειραματικές ρητίνες (επόμενα) [33]



Εικόνα 3.31 - Χημική αντοχή σε μεθανόλη και ξυλένια για εποξειδικό (πρώτο αριστερά) και πολυουρεθάνες με πειραματικές ρητίνες (επόμενα) [33]

Από πειράματα που έγιναν σχετικά με την αντοχή των επικαλυπτικών πολυουρεθάνης όταν υπάρχει ρωγμάτωση στο σύστημα βαφής, παρουσία θαλασσινού νερού, τα αποτελέσματα ήταν πολύ ενθαρρυντικά. Οι συμπαγείς πολυουρεθάνες έδειξαν καλύτερη πρόσφυση μετά από ρωγμάτωση του προστατευτικού επιστρώματος, σε σχέση με τα εποξειδικά. Η πρόσφυση που επιτυγχάνεται την επιστροφή των πολυουρεθάνων είναι της τάξης των  $1400 \text{ N/cm}^2$ , ενώ για τα εποξειδικά, η αντοχή μειώνεται περίπου στο μισό ( $700 \text{ N/cm}^2$ ).

Το κόστος επικαλυπτικού προϊόντος προσεγγίζει τη διπλάσια τιμή ενός συμβατικού εποξειδικού επικαλυπτικού με 50% διαλύτες. Δεδομένης της ταχύτητας επιστρώσης όμως (η πολυουρεθάνη σε τρεις στρώσεις σε σχέση με ένα εποξειδικό σε δύο στρώσεις, επικαλύπτεται στο 60% του χρόνου, χωρίς ενδιάμεση αναμονή για στερεοποίηση), και της αυξημένης διαθεσιμότητας εξοπλισμού, προκύπτει τελικά οικονομία της τάξης του 20%, απ' ό,τι με χρήση εποξειδικού.

Ο χρόνος παράδοσης μειώνεται κατά 45% περίπου, λόγω του γρήγορου πολυμερισμού. Η αγορά επιπλέον εξοπλισμού από το ναυπηγείο για τις πολυουρεθάνες (ψεκασμός δύο συστατικών) αποσβένεται σύντομα, εξαιτίας της αύξησης της παραγωγικότητας. Ο χρόνος επιστρώσης των επικαλυπτικών πολυουρεθάνης μπορεί να φτάσει τα  $150 \text{ m}^2/\text{ώρα}$  σε πολύπλοκες κατασκευές ή ακόμα και τα  $400 \text{ m}^2/\text{ώρα}$  σε επίπεδες επιφάνειες. Οι χρόνοι αυτοί δε μπορούν να συγκριθούν με τις ταχύτητες επικάλυψης των εποξειδικών.

Αναφορικά με την τοξικότητα των συστατικών των επικαλυπτικών πολυουρεθάνης, σε σχέση με εκείνα των εποξειδικών, οι πολυουρεθάνες πλεονεκτούν (Πίνακας 3.8).

**Πίνακας 3.8 - Τοξικότητα συστατικών επικαλυπτικών πολυουρεθάνης και εποξειδικών [45]**

Συστατικά	Τοξικότητα μιας δόσης από το στόμα (mg/kg σωμ. βάρους)	Για βάρος ανθρώπου 70 kg (mg)
Πολυουρεθάνες		
Ισοκυανικά	10000	700
Πολυόλες	5000	350
Εποξειδικά		
Εποξειδικές ρητίνες	2000	140
Σκληρυντές αμινών	500-2000	35-140

### Συμπεράσματα

Τα επικαλυπτικά συμπαγούς πολυουρεθάνης αποτελούν την τελευταία τεχνολογική εξέλιξη στον τομέα των επικαλύψεων και φαίνεται πως είναι θέμα χρόνου να κυριαρχήσουν στην αγορά. Μαζί όμως με τα πλεονεκτήματα που έχουν (ελαστικότητα, ταχύτητα επίστρωσης, φιλικότητα στο περιβάλλον), πρέπει να αναπτυχθούν νέες τεχνικές για την αποτελεσματική χρήση τους. Η συνεργασία περισσότερων συνεργείων βαφής σε μια μεγάλη δεξαμενή μπορεί να επιτρέψει τη συμβατότητά τους με μεγαλύτερες κατασκευές. Η ευελιξία στη διάθεση ανθρώπινων πόρων (όλος ο εξοπλισμός βαφής και το συνεργείο μετακινούνται όταν ολοκληρωθεί η εργασία) θα ωφελήσει τα μέγιστα τη ναυπηγική βιομηχανία. Ακόμα και ο μειωμένος χρόνος πολυμερισμού έχει οικονομικά οφέλη για το ναυπηγείο και τον πλοιοκτήτη, ειδικά στις επισκευές. Δεν είναι τυχαίο ότι την εξέλιξη στα επικαλυπτικά αυτά προωθεί το Πολεμικό Ναυτικό των Η.Π.Α., αποβλέποντας στη μείωση των δαπανών συντήρησης των μονάδων του. Η δυνατότητα των επικαλυπτικών πολυουρεθάνης να προσκολλώνται απευθείας στη μεταλλική επιφάνεια, χωρίς να απαιτείται αστάρι, όπως συμβαίνει στα εποξειδικά, ίσως φέρει ριζικές αλλαγές στον τρόπο επικάλυψης των δεξαμενών. Ειδικά στη σύγχρονη εποχή που, ένα ποιοτικό σύστημα βαφής απαιτεί τον ολικό καθαρισμό της μεταλλικής επιφάνειας πριν την επικάλυψη με το μόνιμο σύστημα βαφής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Τεχνικές εφαρμογής επικαλύψεων

### 4.1 - Εισαγωγή

Η σωστή λειτουργία του συστήματος βαφής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σωστή εφαρμογή του. Κατά τη φάση της ναυπήγησης, οι συνθήκες είναι κατά το δυνατόν ελεγχόμενες και οι βέλτιστες για την εφαρμογή των επιστρώσεων. Ωστόσο δεν είναι το ίδιο εύκολο να διατηρηθούν ευνοϊκές οι συνθήκες και κατά τη συντήρηση των επικαλύψεων. Οι κυριότερες αντιξοότητες στην εφαρμογή των επικαλύψεων των δεξαμεμών έρματος είναι οι ακόλουθες:

- Ο κλειστός χώρος, με τις σχετικές δυσκολίες πρόσβασης και εξαερισμού
- Οι πολλαπλές επιστρώσεις για επαρκή αντιδιαβρωτική αντοχή, που απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα ευνοϊκών συνθηκών μεταξύ των διαφορετικών επιστρώσεων για τον πλήρη πολυμερισμό

Για την πληρέστερη ανάπτυξη της διαδικασίας επίστρωσης, στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται ξεχωριστά τα τρία τμήματα των εργασιών :

- Προετοιμασία της επιφάνειας
- Μέθοδοι επικάλυψης επιφανειών και οδηγίες εφαρμογής επικαλύψεων
- Συνήθειες αστοχίες και προτάσεις αντιμετώπισης

### 4.2 - Προετοιμασία της επιφάνειας [2], [3], [5], [11], [12], [21], [22], [26], [32]

Όλα τα επικαλυπτικά, ανεξαιρέτως, επιτρέπουν τη διείσδυση μορίων νερού και οξυγόνου διαμέσου της στρώσης τους. Το ποσό διείσδυσης εξαρτάται από το πάχος της στρώσης, τη διαπερατότητα του επικαλυπτικού και την ακεραιότητα του συστήματος βαφής. Έτσι λοιπόν, η ικανότητα πρόσφυσης του επικαλυπτικού αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο, σημαντικότερη ίσως και από τη φύση του ίδιου του επικαλυπτικού. Η πρόσφυση του επικαλυπτικού εξαρτάται κυρίως από την καθαρότητα της προς βαφή επιφάνειας (Εικόνα 4.1). Τυπικά εμπόδια στην πρόσφυση είναι η σκόνη, η σκουριά, σωματίδια (π.χ. από αμμοβολή), έλαια, γράσο και άλατα λόγω υγρασίας ή πλύσης. Ειδικά για την εναπομένουσα σκουριά-καλαμίνα, η παρουσία της επηρεάζει αρνητικά την πρόσφυση μόνο όταν η ίδια η σκουριά είναι χαλαρά προσκολλημένη. Αυτό σημαίνει ότι στόχος του καθαρισμού δεν είναι πάντα η εμφάνιση γυμνού μετάλλου στην επιφάνεια και σπάνια απαιτείται κάτι τέτοιο. Οι προϋποθέσεις για καλή πρόσφυση του επικαλυπτικού είναι:

- Καθαρή επιφάνεια, χωρίς ακαθαρσίες που θα επιτείνουν την αστοχία του επικαλυπτικού
- Επαρκής τραχύτητα για τη σωστή πρόσφυση της επικάλυψης στο μέταλλο
- Ευνοϊκή γεωμετρία της επιφάνειας που επιτρέπει την πλήρη διαβροχή της από το επικαλυπτικό
- Επιφάνεια με ομαλό προφίλ που επιτρέπει την ισοπαχή κάλυψη της



Εικόνα 4.1 - Ρυπασμένη επιφάνεια, ακατάλληλη για βαφή [26]

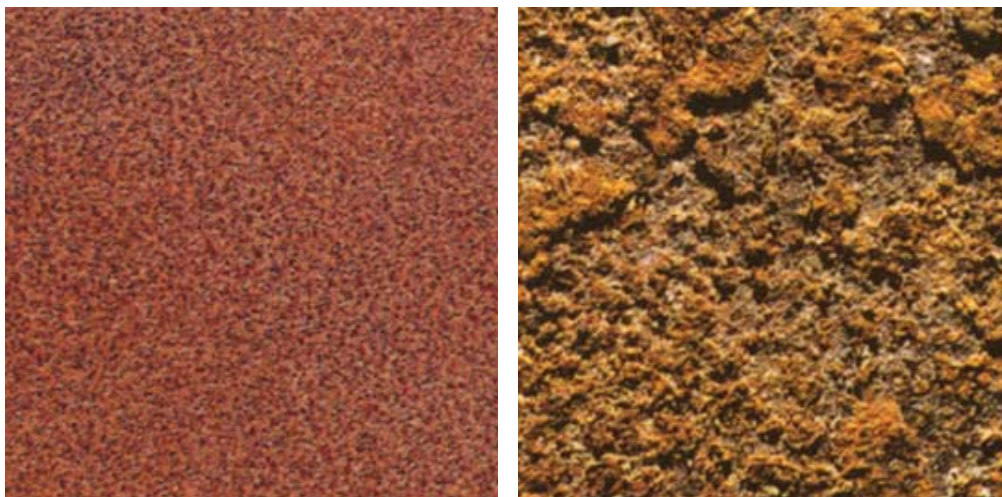
Η προετοιμασία της επιφάνειας, πριν τη βαφή, περιλαμβάνει τις εξής εργασίες:

- Εργασίες μεταλλικής κατασκευής για τη βελτίωση της ποιότητας (προφίλ) της επιφάνειας
- Απολίπανση και καθαρισμός από άλατα
- Αμμοβολή - Ψηματοβολή
- Υδροβολή - Υδροεκτόξευση
- Μηχανικός και χειρωνακτικός καθαρισμός
- Επίστρωση ασταριού

#### 4.2.1 – Πρότυπα ποιότητας μεταλλικής επιφάνειας

Η πρόσφυση του επικαλυπτικού εξαρτάται από την τραχύτητα της προς βαφή επιφάνειας. Αυξάνοντας την τραχύτητα, ουσιαστικά δημιουργείται ένα νέο προφίλ στην επιφάνεια με κορυφές και κοιλάδες, το οποίο αυξάνει την επιφάνεια επαφής του επικαλυπτικού με το μέταλλο. Η ψηματοβολή που δημιουργεί μια επιφανειακή τραχύτητα 50  $\mu\text{m}$  αυξάνει την επιφάνεια του μετάλλου κατά 40-50% σε σχέση με μια λεία πλάκα. Εφαρμόζοντας την παραπάνω θεώρηση, σε πλάκα επιφάνειας 1  $\text{m}^2$ , μετά την ψηματοβολή δημιουργείται επιφάνεια 1,5  $\text{m}^2$  για την πρόσφυση του επικαλυπτικού. Το πλεονέκτημα είναι προφανές, όμως μιας και η τραχύτητα αυτή δεν είναι διά γυμνού οφθαλμού ορατή, πρέπει να εφαρμόζονται αυστηρά κριτήρια πιστοποίησης της τραχύτητας της επιφάνειας. Η κατηγοριοποίηση των επιφανειών ξεκινά με την εκτίμηση της υπάρχουσας σκουριάς στην επιφάνεια, είναι η βασική ιδιότητα, πάνω στην οποία θα δομηθεί η υπόλοιπη διαδικασία (Εικόνα 4.2). Έτσι λοιπόν υπάρχουν 4 κατηγορίες σκουριάς:

- A. Η χαλύβδινη επιφάνεια είναι πλήρως καλυμμένη με καλαμίνα και λίγη ή καθόλου σκουριά
- B. Η επιφάνεια έχει αρχίσει να διαβρώνεται και η καλαμίνα έχει αρχίσει να αποκολλάται
- C. Η επιφάνεια έχει διαβρωθεί επαρκώς, ώστε η καλαμίνα να αποκολλάται εύκολα, ενώ μικροί βελονισμοί είναι ορατοί
- D. Η επιφάνεια έχει διαβρωθεί πλήρως, η καλαμίνα αποκολλάται εύκολα και αρκετοί βελονισμοί είναι πλέον ορατοί



Εικόνα 4.2 – Πρότυπα σκουριάς, C (αριστερά) και D (δεξιά) (Πρότυπο ISO 8501-1:1988) [23]

Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση κατά **ISO** (πρότυπο ISO 8501-1), τα επίπεδα καθαρισμού για τις παραπάνω επιφάνειες, είναι τα εξής:

- St – κατηγορίες για τριβή με συρμάτινη βούρτσα (St 2, St 3)
- Sa – κατηγορίες για ψηγματοβολή (Sa 1, Sa 2, Sa 2.5, Sa 3)

Η περιγραφή των παραπάνω κατηγοριών, είναι η εξής:

#### **St 2 – Εκτενής καθαρισμός με μηχανικά εργαλεία ή εργαλεία χειρός**

Όταν παρατηρείται χωρίς μεγέθυνση, η επιφάνεια είναι καθαρή από ορατά γράσα, έλαια, ακαθαρσίες, χαλαρά προσκολλημένη καλαμίνα, σκουριά, παλαιά επικαλυπτικά κ.τ.λ.

#### **St 3 – Πολύ εκτενής καθαρισμός με μηχανικά εργαλεία ή εργαλεία χειρός**

Όταν παρατηρείται χωρίς μεγέθυνση, η επιφάνεια είναι καθαρή από ορατά γράσα, έλαια, ακαθαρσίες, χαλαρά προσκολλημένη καλαμίνα, σκουριά, παλαιά επικαλυπτικά κ.τ.λ. Η επιφάνεια πρέπει να έχει ομοιογενές μεταλλικό χρώμα.

#### **Sa 1 – Ελαφρύς καθαρισμός με βολή σωματιδίων ή υδροβολή**

Όταν παρατηρείται χωρίς μεγέθυνση, η επιφάνεια είναι καθαρή από ορατά γράσα, έλαια, ακαθαρσίες, χαλαρά προσκολλημένη καλαμίνα, σκουριά, παλαιά επικαλυπτικά κ.τ.λ.

#### **Sa 2 – Εκτενής καθαρισμός με βολή σωματιδίων ή υδροβολή**

Όταν παρατηρείται χωρίς μεγέθυνση, η επιφάνεια είναι καθαρή από ορατά γράσα, έλαια, ακαθαρσίες, χαλαρά προσκολλημένη καλαμίνα, σκουριά, παλαιά επικαλυπτικά κ.τ.λ. Τα όποια κατάλοιπα μόλυνσης θα πρέπει να είναι ισχυρά προσκολλημένα στην επιφάνεια.

**Sa 2,5 – Πολύ εκτενής καθαρισμός με βολή σωματιδίων ή υδροβολή**

Όταν παρατηρείται χωρίς μεγέθυνση, η επιφάνεια είναι καθαρή από ορατά γράσα, έλαια, ακαθαρσίες, χαλαρά προσκολλημένη καλαμίνα, σκουριά, παλαιά επικαλυπτικά κ.τ.λ. Τα όποια εναπομείναντα ίχνη μόλυνσης θα φαίνονται μόνο ως ελαφροί λεκέδες (σημεία ή λωρίδες).

**Sa 3 – Καθαρισμός με βολή σωματιδίων ή υδροβολή που οδηγεί σε καθαρό μέταλλο**

Όταν παρατηρείται χωρίς μεγέθυνση, η επιφάνεια είναι καθαρή από ορατά γράσα, έλαια, ακαθαρσίες, χαλαρά προσκολλημένη καλαμίνα, σκουριά, παλαιά επικαλυπτικά κ.τ.λ. Η επιφάνεια πρέπει να έχει ομοιογενές μεταλλικό χρώμα.

Στα παραπάνω στάδια καθαρότητας της επιφάνειας υπάρχουν ομοιότητες, ως προς το αποτέλεσμα, μεταξύ μηχανικού καθαρισμού και ψηγματοβολής. Επίσης είναι σημαντική η διαπίστωση ότι στον έλεγχο εμπεριέχονται παρατηρήσεις για προηγούμενα στάδια καθαρισμού, όπως η απολίπανση και η αφαίρεση καλαμίνας. Είναι σωστό να ελέγχεται η επιφάνεια αφού έχει καθαριστεί από σωματίδια ή/και ψήγματα που δημιουργήθηκαν κατά τη δημιουργία του προφίλ. Ο έλεγχος για το επιθυμητό επίπεδο καθαρότητας γίνεται με χρήση απλών δοκιμίων όπως αυτό της ακόλουθης φωτογραφίας (Εικόνα 4.3).



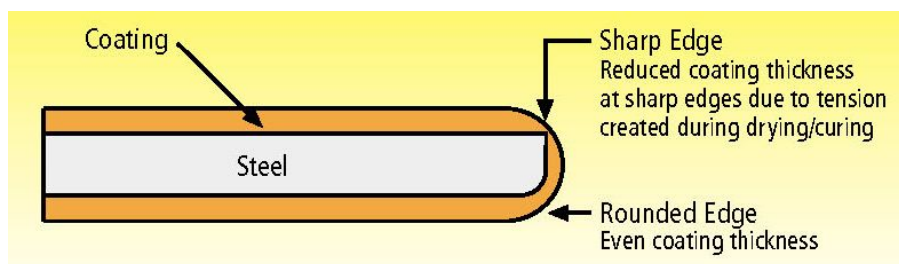
Εικόνα 4.3 - Έλεγχος καθαρότητας μεταλλικής επιφάνειας από 4 πρότυπες κατηγορίες [26]

#### 4.2.2 - Εργασίες μεταλλικής κατασκευής για τη βελτίωση της ποιότητας της επιφάνειας

Η γεωμετρική μορφή μιας κατασκευής μπορεί να επηρεάσει την προδιάθεση που θα έχει να διαβρωθεί. Τυπικές περιπτώσεις ελλειπούς σχεδιασμού είναι οι απότομες ακμές (Εικόνα 4.4), τα στενά-δυσπρόσιτα κοιλώματα και οι εσοχές που επιτρέπουν τη συγκέντρωση υγρασίας. Οι συνήθεις προδιαγραφές για να γίνει αποδεκτή μια επιφάνεια για αμμοβολή είναι:

- Όλες οι απότομες ακμές να εξομαλυνθούν με τροχό με ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας τα 2mm
- Όλες οι ακαθαρσίες, παράγωγες των συγκολλήσεων να απομακρυνθούν
- Όλες οι επιφανειακές ανωμαλίες να αφαιρεθούν ή να λειανθούν
- Οι υποκοπές από συγκολλήσεις να γεμισθούν πριν την αμμοβολή και να τροχισθούν
- Οι επιφάνειες που κόπηκαν με οξυ-ακετυλένιο να λειανθούν πριν την αμμοβολή

Οι παραπάνω εργασίες μπορούν και είναι καλό να γίνουν στο τμήμα συγκολλήσεων του ναυπηγείου. Οι ίδιες οι συγκολλήσεις πρέπει να ελεγχθούν για ατέλειες, οι οποίες δε μπορούν να καλυφθούν από το σύστημα βαφής. Οι οπές αποστράγγισης στα οριζόντια ενισχυτικά είναι καλό να έχουν ακτίνα τουλάχιστον 50mm, ώστε να μπορούν να λειανθούν εύκολα με τροχό.



Εικόνα 4.4 - Η σημασία της λείανσης των ακμών [26]

#### 4.2.3 - Καθαρισμός από άλατα και απολίπανση της επιφάνειας

Για την αποτροπή μεταφοράς αλάτων και ακαθαρσιών σε καθαρές επιφάνειες, το γράσο, τα έλαια και τα άλατα πρέπει να αφαιρούνται πριν την αμμοβολή. Μεγάλες ποσότητες γράσου και ελαίων μπορούν να αφαιρεθούν με χειρονακτική απόξεση. Τα υπολείμματα απομακρύνονται με χρήση απορρυπαντικών ουσιών (π.χ. γαλακτοματοποιητές ή αλκαλικούς απολιπαντές) οι οποίες διαλύονται σε κοινά απορρυπαντικά ή διαλύτες. Η διαδικασία έχει ως εξής:

1. Η επιφάνεια πρέπει να είναι καθαρή πριν την εφαρμογή των καθαριστικών
2. Η εφαρμογή του καθαριστικού γίνεται από κάτω προς τα πάνω
3. Η εργασία επαναλαμβάνεται συστηματικά σε ολόκληρη την επιφάνεια
4. Το καθαριστικό ενεργεί για 1-5 λεπτά
5. Γίνεται πλύση με φρέσκο νερό με ροή προς τα πάνω (από κάτω προς τα πάνω)
6. Συνιστάται η χρήση ζεστού νερού για καλύτερα αποτελέσματα
7. Η τελική πλύση έχει φορά από πάνω προς τα κάτω



Ο καθαρισμός της επιφάνειας από γράσα/έλαια με πανί εμποτισμένο με διαλύτη ή απορρυπαντικό δεν συνιστάται γιατί δεν απομακρύνει επαρκώς τις λιπαρές ουσίες.

Ως άλατα ορίζονται εκείνες οι ουσίες που μπορούν να διαλυθούν σε ένα ρευστό που θα έλθει σε επαφή με τη μεταλλική επιφάνεια. Όλες οι ουσίες επιτρέπουν τη διείσδυση νερού και ιόντων από τη στρώση του επικαλυπτικού στο μέταλλο. Η πιο συνήθης περίπτωση είναι φυσικά το θαλασσινό νερό. Τα άλατα παραμένουν στην επιφάνεια μετά την εξάτμιση του υγρού και δημιουργούν παρουσία υγρασίας ισχυρούς ηλεκτρολύτες, οι οποίοι προσελκύουν επιπλέον υγρασία εντός της διεπιφάνειας μετάλλου-επικαλυπτικού, λόγω οσμωτικής πίεσης.

Ο καθαρισμός των αλάτων γίνεται με πλύση φρέσκου νερού, ενώ η χρήση όξινου καθαριστικού για την απομάκρυνση θεικών χλωριδίων και κατόπιν η χρήση αλκαλικού καθαριστικού για την απομάκρυνση αλάτων αμμωνίας, κρίνεται ευεργετική. Η πλύση πάντα έχει φορά από κάτω προς τα πάνω και στο τελικό στάδιο αντιστρέφεται, ώστε να απομακρυνθούν οι εναπομένουσες ακαθαρσίες και καθαριστικά. Τυπικά αποδεκτά όρια εναπομείναντος χλωρίου είναι 15 mg/m<sup>2</sup>. Για τις δεξαμενές έρματος το όριο είναι πιο ελαστικό και ανέρχεται στα 50 mg/m<sup>2</sup> ως μέγιστη τιμή. Ακολουθεί πίνακας με οδηγίες για τις επιμέρους ακαθαρσίες και τον καθαρισμό αυτών (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1 - Επιμέρους οδηγίες για την απολίπανση μεταλλικών επιφανειών [26]

Υλικό προς αφαίρεση	Διαδικασία	Σημειώσεις
Γράσο και Έλαια	Καθαρισμός με νερό	Χρήση φρέσκου νερού με απορρυπαντικό, με πίεση νερού < 70 MPa και ξέπλυμα με φρέσκο νερό
	Καθαρισμός με ατμό	Χρήση φρέσκου νερού και αν χρησιμοποιηθεί απορρυπαντικό, ξέπλυμα με φρέσκο νερό
	Καθαρισμός με γαλάκτωμα	Ξέπλυμα με φρέσκο νερό
	Καθαρισμός με αλκαλικά διαλύματα	Επικαλυπτικά με συστατικά Αλουμινίου και Ψευδάργυρου δύνανται να διαβρωθούν με τη χρήση ισχυρών αλκαλικών διαλυμάτων, ξέπλυμα με φρέσκο νερό
	Καθαρισμός με οργανικό διαλύτη	Πολλοί οργανικοί διαλύτες είναι επικίνδυνοι για την υγεία. Αν χρησιμοποιηθούν σπουδιά για τον καθαρισμό, αυτά πρέπει να αλλάζονται τακτικά, ώστε να απομακρύνονται τα λίπη και να μη δημιουργείται λεπτό φιλμ μετά την εξάτμιση των διαλυτών
Υδατοδιάλυτες Ακαθαρσίες π.χ. Άλατα	Καθαρισμός με νερό	Χρήση φρέσκου νερού με πίεση < 70 MPa
	Καθαρισμός με ατμό	Ξέπλυμα με φρέσκο νερό
	Καθαρισμός με αλκάλια	Επικαλυπτικά με συστατικά Αλουμινίου και Ψευδάργυρου δύνανται να διαβρωθούν με τη χρήση ισχυρών αλκαλικών διαλυμάτων, ξέπλυμα με φρέσκο νερό

#### 4.2.4 – Ψηγματοβολή (*abrasive blasting*) – Αμμοβολή (*sand blasting*)

Ο καθαρισμός μεταλλικών επιφανειών με ψηγματοβολή αποτελεί την πιο συνηθισμένη μέθοδο προετοιμασίας των μεταλλικών επιφανειών, με ικανοποιητικά αποτελέσματα στις περισσότερες περιπτώσεις. Πριν εφαρμοστεί η παραπάνω διαδικασία καθαρισμού, όπου είναι απαραίτητη, η επιφάνεια θα πρέπει να έχει απολιπανθεί, να έχει απομακρυνθεί η καλαμίνα, τα υπολείμματα των συγκολλήσεων και όλες οι τυχόν ακαθαρσίες, έτσι ώστε η επιφάνεια να έχει γίνει λεία. Μετά τον καθαρισμό με ψηγματοβολή η επιφάνεια ελευθερώνεται από τη σκόνη και το πρώτο στρώμα βαφής επιχρίεται όσο το δυνατόν πιο σύντομα.

Κατά την ψηγματοβολή πραγματοποιείται πρόσκρουση με μεγάλη ταχύτητα μικρών μεταλλικών ή ορυκτών σωματιδίων (ψηγμάτων) πάνω στη χαλύβδινη επιφάνεια που καθαρίζεται. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της μεθόδου, οι διαφορές των οποίων συνίστανται στο μέγεθος των τυποποιημένων ψηγμάτων, στο μέσο μεταφοράς τους (π.χ. νερό, αέρας) και στον τύπο και είδος του απαιτούμενου μηχανολογικού εξοπλισμού. Η επιλογή της κατάλληλης παραλλαγής της μεθόδου εξαρτάται από τα είδη των ακαθαρσιών, τα υπολείμματα καλαμίνας, και τα διάφορα παλαιά φθαρμένα και κατεστραμμένα επικαλυπτικά συστήματα. Η επιφάνεια που θα προκύψει δεν πρέπει να είναι εξαιρετικά λεία, αλλά τραχιά και σε τέτοιο βαθμό ώστε να αποτυγχάνεται η ικανοποιητική πρόσφυση του επικαλυπτικού στο μέταλλο. Σημαντικοί παράγοντες για το σωστό καθαρισμό με ψηγματοβολή είναι οι εξής:

- Κατάλληλη επιλογή ψήγματος
- Έγκαιρη απομάκρυνση σκόνης και ακαθαρσιών
- Κατάλληλη πίεση βολής
- Ξηρός αέρας (όταν χρησιμοποιείται)
- Κατάλληλη αναλογία ψήγματος και μέσου μεταφοράς (αέρας ή νερό)

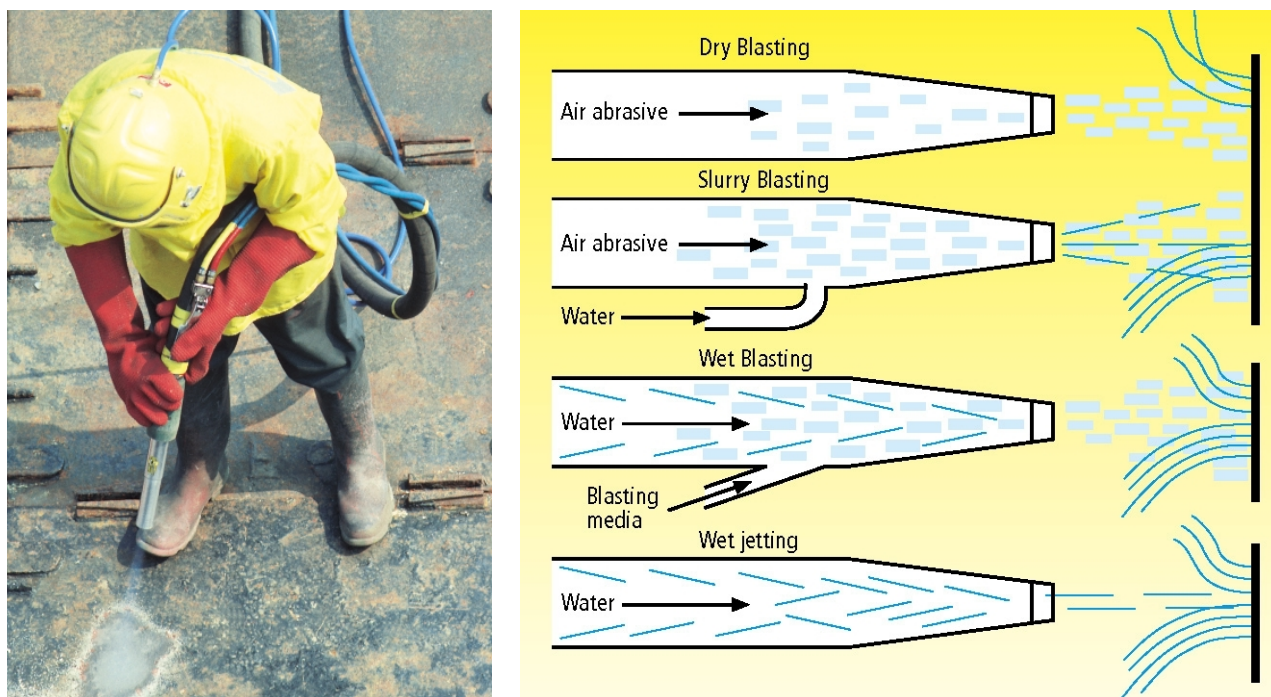
Οι πιο σημαντικές μέθοδοι καθαρισμού των μεταλλικών επιφανειών με ψηγματοβολή είναι οι παρακάτω:

##### Ψηγματοβολή με χρήση ακροφυσίων (*nozzle blasting*)

Στη μέθοδο αυτή, η οποία εφαρμόζεται συνήθως για τον καθαρισμό μεγάλων επιφανειών, τα ψήγματα προωθούνται μέσω πεπιεσμένου αέρα. Ειδικότερα, όταν εφαρμόζεται σε ναυπηγικές κατασκευές, η όλη εργασία πραγματοποιείται σε ανοικτούς χώρους χωρίς να γίνεται ανακύκλωση των ψηγμάτων. Γενικά, η εφαρμογή της μεθόδου σε ανοικτούς χώρους θα πρέπει να αποφεύγεται, καθώς προκαλείται μόλυνση του γειτονικού περιβάλλοντος από τη σκόνη και τα απορρίμματα που δημιουργούνται από τα μη ανακυκλώσιμα ψήγματα, ενώ σημαντική είναι και η ηχορύπανση. Επίσης, οι γύρω φρεσκοβαμμένες κατασκευές, εφόσον υπάρχουν, θα πρέπει να προστατευτούν από τη σκόνη που παράγεται. Πρόσφατες παραλλαγές της μεθόδου κάνουν χρήση συστημάτων τα οποία ελαττώνουν την σκόνη που απελευθερώνεται. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι προσθήκη νερού ή ατμού στο ρεύμα αέρα-ψηγμάτων (Εικόνα 4.5).

Η πίεση του αέρα κυμαίνεται στα 100 psi, μετρούμενη στο ακροφύσιο και εφόσον μειωθεί, μειώνεται η παραγωγικότητα του συστήματος (πτώση πίεσης στα 60 psi ισοδυναμεί με μείωση κατά 50% της παραγωγικότητας). Τα ακροφύσια έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής (κοντά στις 200-300 ώρες λειτουργίας). Η ταχύτητα βολής σωματιδίων που επιτυγχάνεται, με πίεση αέρα 100 psi, φθάνει τα 700 km/h. Συνιστάται,

μετά τη βολή σωματιδίων, να καθαρίζεται η επιφάνεια από κατακρατήσεις βαλλόμενων σωματιδίων και σκόνης, εξαιτίας της τραχύτητας που απέκτησε. Η πρακτική εμπειρία έδειξε ότι μέχρι και το 25% της προς καθαρισμό επιφάνειας καλύπτεται με σωματίδια βολής, όταν η διαδικασία καθαρισμού ολοκληρωθεί.



Εικόνα 4.5 – Αριστερά: Εργασία ψηγματοβολής (πρότυπο Sa κατά ISO). Δεξιά: Αρχές λειτουργίας μεθόδων καθαρισμού με βολή σωματιδίων ή/και εκτόξευση νερού [26]

Μια άλλη σημαντική παραλλαγή της μεθόδου είναι η ταυτόχρονη ψηγματοβολή σε συνδυασμό με επίχριση ασταριού (*blast cleaning/priming system*). Στη μέθοδο αυτή γίνεται καθαρισμός της επιφάνειας με τη χρήση ορυκτών ψηγμάτων και ακολουθεί επίχριση του μετάλλου με την πρώτη στρώση επικαλυπτικού (αστάρι). Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η γρήγορη αποπεράτωση της εργασίας και η δυνατότητα επίχρισης ακόμα και υγρών επιφανειών υπό μη ευνοϊκές συνθήκες. Από την άλλη, βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι το γεγονός ότι η βαφή ακολουθεί αμέσως μετά την ψηγματοβολή, με αποτέλεσμα την αδυναμία ελέγχου της τελικής ποιότητας της επιφάνειας. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις το επικαλυπτικό περιέχει αδρανή ψήγματα τα οποία ελαττώνουν την πρόσφυση του στην επιφάνεια. Γενικά, η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη μόνο για επίπεδες επιφάνειες, ενώ σε μη επίπεδες περιοχές γίνεται αρχικά προ-ψηγματοβολή και μετά εφαρμόζεται η μέθοδος.

#### Ψηγματοβολή με χρήση φυγόκεντρου συμπιεστή (*impeller/centrifugal blasting*)

Τα ψήγματα (σφαιρικά συνήθως) εκτοξεύονται προς την επιφάνεια του χάλυβα από φυγόκεντρες μηχανές με εξωθητήριους τροχούς (*impeller wheels*), ενώ ταυτόχρονα μηχανές κινούνται σε όλη την έκταση της επιφάνειας. Συνήθως, ο χάλυβας προθερμαίνεται μέχρι τη θερμοκρασία των 35-40° C και, αμέσως αφού απομακρυνθεί η μηχανή, καλύπτεται με ένα αστάρι προσωρινής προστασίας για το χρόνο ανέγερσης του πλοίου. Τα χρησιμοποιούμενα ψήγματα διαχωρίζονται από τυχόν ακαθαρσίες σε ένα ειδικό διαχωριστήρα και στη συνέχεια επαναχρησιμοποιούνται, αποφεύγοντας με τον τρόπο αυτό την περιβαλλοντική μόλυνση.

Ο βαθμός τραχύτητας της τελικής επιφάνειας του χάλυβα καθορίζεται από την ταχύτητα με την οποία η μηχανή διατρέχει την επιφάνεια και από τη φύση και τον κύκλο ανανέωσης του ψήγματος. Εξαιτίας του σφαιρικού σχήματος των σωματιδίων, η τελική επιφάνεια είναι συνήθως πιο λεία από εκείνη που προκύπτει από την ψηγματοβολή με χρήση ακροφυσίων. Τραχιά επιφάνεια μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη ψηγμάτων πολλαπλών εδρών (*grit*), αλλά αυτό αποφεύγεται λόγω προβλημάτων που δημιουργούνται στα πτερωτά στροφέα των φυγόκεντρων μηχανών.

Αξιοσημείωτο είναι ότι υπάρχουν ειδικοί τύποι φορητών μηχανών καθαρισμού με χρήση φυγόκεντρου συμπιεστή, οι οποίοι διαθέτουν, μεταξύ άλλων, μονάδες για τις πλευρές και τα καταστρώματα των πλοίων. Οι μονάδες για τη γάστρα του πλοίου είναι δυνατόν να στηριχτούν σε ένα κινητό γερανό και με αυτό τον τρόπο να προσεγγίσουν και επεξεργαστούν ολόκληρη την έκταση της επιφάνειας της γάστρας, ακόμα και των μεγάλων πλοίων. Τα πλεονεκτήματα των φορητών αυτών μηχανών είναι η χωρίς σκόνη και μόλυνση λειτουργία τους, η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των ψηγμάτων και η μη ενόχληση άλλων συγχρόνως εκτελούμενων γειτονικών εργασιών. Τα μειονεκτήματά τους είναι η περιορισμένη χρήση τους εκεί όπου συναντώνται ασυνέχειες (ακμές ή προεξοχές), η συχνή συντήρησή τους και η συσσωματώσεις των ψηγμάτων σε συνθήκες υγρασίας.

### **Καθαρισμός με αμμοβολή (*sand blasting*)**

Κατά τη μέθοδο αυτή, ο καθαρισμός γίνεται με εκτόξευση σωματιδίων άμμου πάνω στη μεταλλική επιφάνεια. Αποτέλεσμα της πρόσκρουσης είναι η αφαίρεση παλαιότερων επιστρώσεων και οξειδίων, καθώς και η επίτευξη κατάλληλης τραχύτητας ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη πρόσφυση του επικαλυπτικού πάνω στο μέταλλο.

### **Ταξινόμηση των αποξεστικών υλικών**

Υπάρχουν διάφορα είδη και τύποι υλικών που χρησιμοποιούνται ως αποξεστικά μέσα ψηγματοβολής, τα οποία ταξινομούνται με διάφορους τρόπους. Ένας χρήσιμος είναι με βάση τη σύστασή τους και την πηγή προέλευσής τους. Τα αποξεστικά μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες:

- Φυσικά ορυκτά
- Μεταλλουργικές σκωρίες
- Βιομηχανικά υλικά

### **Φυσικά ορυκτά**

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει υλικά τα οποία βρίσκονται στη φύση και χρησιμοποιούνται ως αποξεστικά, αφού πλυθούν, θραυτούν και ταξινομηθούν. Είναι η πολυπληθέστερη κατηγορία αποξεστικών και περιλαμβάνει το σύνολο σχεδόν των βιομηχανικών ορυκτών που χρησιμοποιούνται ως αποξεστικά μέσα ψηγματοβολής. Σε αυτήν ανήκουν η πυριτική άμμος (*silica sand*), ο ολιβίνης, ο γρανάτης, ο σταυρόλιθος κ.α. Είναι επίσης η κατηγορία που εμφανίζεται ως η πλέον αξιόπιστη λύση για την αντικατάσταση των αποκαμινευμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα για τον καθαρισμό και την προς βαφή προετοιμασία των μεταλλικών επιφανειών. Πολλά από τα υλικά αυτά έχουν ήδη υιοθετηθεί σε πολλά ναυπηγεία του εξωτερικού. Όμως, η περιορισμένη τους διαθεσιμότητα, οι υψηλές τους τιμές και η έλλειψη συστηματικής

έρευνας για τη βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών τους αποτελούν ανασταλτικούς παράγοντες στην προσπάθεια ευρείας εδραίωσής τους στην αγορά των αποξεστικών μέσων ψηγματοβολής.

### Μεταλλουργικές σκωρίες

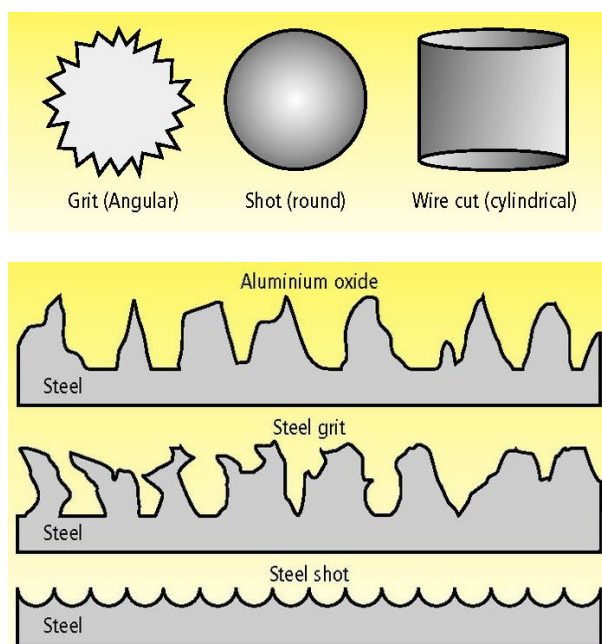
Τα σημαντικότερα υλικά αυτής της κατηγορίας αποτελούν τα παραπροϊόντα της μεταλλουργίας, όπως τα αποκαμινεύματα του άνθρακα, του χαλκού και του νικελίου. Τα υλικά αυτά, αρχικά αποτέλεσαν το ιδανικό μέσο για την αντικατάσταση της πυριτικής άμμου στις εργασίες ψηγματοβολής, λόγω του χαμηλού τους κόστους και των καλών αποξεστικών ιδιοτήτων που παρουσιάζουν.

### Βιομηχανικά υλικά

Τα μεταλλουργικά επεξεργασμένα ψήγματα, κυρίως χάλυβα ή σιδήρου, με τη μορφή σφαιριδίων (shot) ή ψηγμάτων πολλαπλών εδρών (grit) αποτελούν τα σημαντικότερα υλικά της κατηγορίας (Εικόνα 4.6). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν επίσης τα διάφορα καρβίδια (π.χ. πυριτίου) τα οξειδία (π.χ. αλουμινίου), τα γυάλινα σφαιρίδια (*glass beads*), τα πλαστικά κ.λπ.

Τα βιομηχανικά υλικά χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές λόγω συγκεκριμένων ιδιοτήτων τους, όπως είναι η σύσταση, η σκληρότητα, το σχήμα, κ.λπ. Λόγω της βιομηχανικής επεξεργασίας που έχουν υποστεί για να αποκτήσουν συγκεκριμένες ιδιότητες, εμφανίζονται με πολύ υψηλή τιμή πώλησης, γεγονός το οποίο αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για ευρεία χρησιμοποίησή τους σε εργασίες ανοικτής ψηγματοβολής.

Ανάλογα με την επιθυμητή τιμή τραχύτητας, επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος σωματιδίου. Ενδεικτικά, αναφέρονται: α) η πυριτική άμμος (16/35), για τραχύτητα 35  $\mu\text{m}$ , β) τα σωματίδια οξειδίου του αλουμινίου (36 grit), με τραχύτητα 35  $\mu\text{m}$ , γ) οι γωνιώδεις κόκκοι χάλυβα (G-40), για τραχύτητα 50  $\mu\text{m}$  και δ) τα σωματίδια χαλαζία (8/20), για τραχύτητα 75  $\mu\text{m}$ .



Εικόνα 4.6 - Διάφορα σχήματα ψηγμάτων και προφίλ επιφανειών σε μεγέθυνση [26]

#### 4.2.5 – Υδροβολή (*water blasting*) – Υδροεκτόξευση (*hydro-jetting*)

Στην υδροβολή χρησιμοποιείται ένας εκτοξευτήρας νερού υψηλής πίεσης (περίπου 150-300 bar). Ο καθαρισμός με νερό υψηλής πίεσης εφαρμόζεται σε εργασίες συντήρησης της γάστρας των πλοίων. Με τη μέθοδο αυτή απομακρύνονται θαλάσσιοι οργανισμοί που προσκολλώνται πάνω στην επιφάνεια της γάστρας λόγω του φαινομένου της ρύπανσης, η ελαφρώς προσκολλημένη σκουριά και τα υδατοδιαλυτά άλατα (Εικόνα 4.7).



Εικόνα 4.7 - Εργασίες υδροβολής (αριστερά) και υδροεκτόξευσης (δεξιά) [26]

Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί ειδικός εξοπλισμός, η παραπάνω διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί με αρκετά υψηλότερη πίεση, της τάξης των 3000 bar. Η μέθοδος τότε ονομάζεται υδροεκτόξευση (*hydro-jetting*) και επιτυγχάνει την απομάκρυνση ακόμη και των παλαιών στρωμάτων βαφής και πολύ καλά προσκολλημένης σκουριάς. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα απομάκρυνσης παλαιών στρωμάτων επικαλύψεων στις περιοχές που είναι επιθυμητό. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν πρέπει να απομακρυνθεί μόνο κάποια ανώτερη στρώση επικαλυπτικού, χωρίς να υποστούν ζημιά οι υποκείμενες στρώσεις. Επίσης με υδροεκτόξευση απομακρύνονται στρώσεις θερμοπλαστικών επικαλυπτικών που με άλλες μεθόδους ψηγατοβολής δεν είναι δυνατόν να απομακρυνθούν.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο καθαρισμός της επιφάνειας όταν γίνεται με συνδυασμό πεπιεσμένου αέρα, νερού και ψήγματος. Τότε η διαδικασία ονομάζεται υδατο-ψηγατοβολή (*wet abrasive blast-cleaning*) και το μέσο μεταφοράς είναι ο πεπιεσμένος αέρας. Τα τρία συστατικά (αέρας-νερό-ψήγμα) αναμιγνύονται ελεγχόμενα πριν προωθηθούν στην προς καθαρισμό επιφάνεια, ενώ ο βαθμός καθαρισμού είναι εξαιρετικός (λευκό μέταλλο / *white metal*). Πολλές φορές, το χρησιμοποιούμενο νερό περιέχει ειδικές ουσίες (επιβραδυντές/*inhibitors*) που καθυστερούν την εμφάνιση διάβρωσης στην επιφάνεια του χάλυβα που μόλις έχει καθαριστεί. Απαιτείται, όμως, μεγάλη προσοχή στην επιλογή αυτών των επιβραδυντών διάβρωσης γιατί πρέπει να είναι απόλυτα συμβατοί με το επικαλυπτικό σύστημα που θα εφαρμοστεί μετέπειτα, διαφορετικά εμφανίζονται φλύκταινες, ιδιαίτερα στα ύφαλα των ναυπηγικών κατασκευών.

Η μέθοδος καθαρισμού με υδροβολή είναι ο αποτελεσματικότερος τρόπος απομάκρυνσης των αλάτων από τις ρυπασμένες επιφάνειες. Παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα όπως ο αποτελεσματικότερος καθαρισμός της επιφάνειας, η δυνατότητα εφαρμογής της κάτω από συνθήκες υγρασίας, η μικρή ποσότητα ψήγματος που χρησιμοποιείται, η αποφυγή περιβαλλοντικής μόλυνσης και η ασφάλεια της μεθόδου. Κύριο μειονέκτημά της είναι το γεγονός ότι μετά τον καθαρισμό η επιφάνεια είναι υγρή και ακατάλληλη για την επίχριση κάποιου επικαλυπτικού, εκτός αν χρησιμοποιηθούν ειδικά αστάρια, ανθεκτικά στη υγρασία.

#### 4.2.6 – Μηχανικός και χειρονακτικός καθαρισμός

Αυτού του είδους οι εργασίες καθαρισμού εφαρμόζονται σε μικρότερης έκτασης επιφάνειες, όταν η προς βαφή επιφάνεια δεν έχει ομοιόμορφη κατανομή σκουριάς ή ρύπανσης. Επομένως, σ' αυτά τα πλαίσια, είναι χρήσιμες και συνήθως συνδυάζονται με καθαρισμό βολής σωματιδίων, ώστε το τελικό προφίλ της επιφάνειας να είναι κοινό. Το συχνότερα χρησιμοποιούμενο μηχανικό εργαλείο είναι η περιστροφική βούρτσα, ενώ για πιο έντονη ρύπανση και δυσπρόσιτες περιοχές χρησιμοποιείται το πνευματικό βελόνι (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.8 - Συνήθης εξοπλισμός μηχανικού και χειρονακτικού καθαρισμού (πρότυπο St κατά ISO) [26]

Παράλληλα με το μηχανικό καθαρισμό, υπάρχει και ο χειρονακτικός, όμως η χρήση του περιορίζεται από τη μειωμένη παραγωγικότητα. Εργαλεία όπως, η συρμάτινη βούρτσα, η ξύστρα, το σμιριδόπανο και το ματσακόνι, απαιτούν σωστή τεχνική από το χειριστή, ώστε το αποτέλεσμα να βρίσκεται εντός των προδιαγραφών επιφανειακής κατεργασίας.

#### 4.2.7 – Παράγοντες επιλογής τεχνικής προετοιμασίας επιφάνειας

Έχοντας την επιλογή χρήσης μεταξύ μηχανικού καθαρισμού και ψηγματοβολής, μένει στο ναυπηγείο να επιλέξει την όποια από τις δύο μεθόδους, για την τελική διαμόρφωση της επιφάνειας. Η επιλογή εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

### Έκταση της ζημιάς

Εάν ολόκληρη η επιφάνεια έχει ομοιόμορφη ρύπανση, τότε μία εκ των δύο μεθόδων θα χρησιμοποιηθεί. Αν υπάρχουν μόνο μικρές περιοχές με κοινή ρύπανση, οι μέθοδοι θα συνδυαστούν. Γενικά συνιστάται η χρήση ψηγματοβολής για μεγάλες επιφάνειες, όμως ο σωστός προγραμματισμός θα καταδείξει τη μέθοδο.

### Τύπος διαθέσιμου εξοπλισμού

Υπάρχουν πάντα περιορισμοί στη χρήση εξοπλισμού καθώς η ψηγματοβολή δεν είναι πάντα δυνατή και ο εξοπλισμός ευχερής σε κάθε στάδιο της ανέγερσης. Έτσι ο μηχανικός καθαρισμός, όντας πιο ευέλικτος, καταλήγει να χρησιμοποιείται περισσότερο, με τους όποιους περιορισμούς του.

### Τύπος συστήματος βαφής

Σε πολλές περιπτώσεις ο κατασκευαστής του επικαλυπτικού ορίζει τη μέθοδο και την ποιότητα της επιφάνειας προς βαφή. Συνιστάται η τήρηση αυτών των οδηγιών.

### Τύπος επιφάνειας προς βαφή

Εδώ οι περιπτώσεις εξαρτώνται από τη γεωμετρία της επιφάνειας, δηλαδή αν είναι οριζόντια, κατακόρυφη, δύσκολα προσβάσιμη, έχει δυσκολία στον καθαρισμό από ψήγματα κ.τ.λ. Οι παραπάνω αντιξοότητες είναι συνήθεις στις δεξαμενές έρματος, ένας παραπάνω λόγος για ιδιαίτερη προσοχή και σωστό προγραμματισμό κατά την εκτέλεση των εργασιών. Άλλη περίπτωση διαφοροποίησης της εργασίας είναι η ύπαρξη στρώσεων επικαλυπτικού στην επιφάνεια προς βαφή, είτε είναι αστάρι, είτε κύρια στρώση (πρώτη στρώση). Για παράδειγμα, η ύπαρξη προηγούμενης στρώσης εποξειδικού, το οποίο έχει πολυμεριστεί πλήρως, υπαγορεύει την τράχυνση της επιφάνειας. Ακολουθεί πίνακας ο οποίος καταδεικνύει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς των μεθόδων καθαρισμού της μεταλλικής επιφάνειας (Πίνακας 4.2). Το συνολικό πόρισμα είναι ότι η ψηγματοβολή είναι η βέλτιστη μέθοδος καθαρισμού.

Πίνακας 4.2 - Μέθοδοι αφαίρεσης σκουριάς και παλαιών στρώσεων επικαλυπτικού [26]

Μέθοδος	Χρόνος (min/m <sup>2</sup> )	Αποτέλεσμα
Ψηγματοβολή	6,5	Ιδανική (Sa 3)
Μηχανικός καθαρισμός με βούρτσα	15	Κίνδυνος γυαλίσματος επιφάνειας (St 3)
Μηχανικός καθαρισμός με δίσκο	15	Μερικός κίνδυνος γυαλίσματος (St 3)
Μηχανικός καθαρισμός με βελόνι	37	Μερικός κίνδυνος δημιουργίας ακμών (St 3)
Μηχανικός καθαρισμός με ξύστρα	25	Ανεπαρκής, μερικός κίνδυνος δημιουργίας ακμών (St 2)
Καθαρισμός χειρός με βούρτσα και μηχανικός καθαρισμός με βούρτσα	13	Ελλιπής ο καθαρισμός χειρός, καλύτερα συνδυασμένος με μηχανικό καθαρισμό (St 1-2)
Καθαρισμός χειρός με ξύστρα και μηχανικός καθαρισμός με βούρτσα	15	Ελλιπής ο καθαρισμός χειρός, καλύτερα συνδυασμένος με μηχανικό καθαρισμό (St 2-3)
Υδροβολή με συνδυασμό ψηγμάτων	-	Πολύ καλή, με κίνδυνο όμως εμφάνισης σκουριάς κατά το στέγνωμα ( <i>flash rust</i> ) (Sa 3)
Καθαρισμός με ηλεκτρόλυση	-	Για δεξαμενές έρματος μόνο και μόνο για αφαίρεση σκουριάς, όχι για αφαίρεση επικαλυπτικών

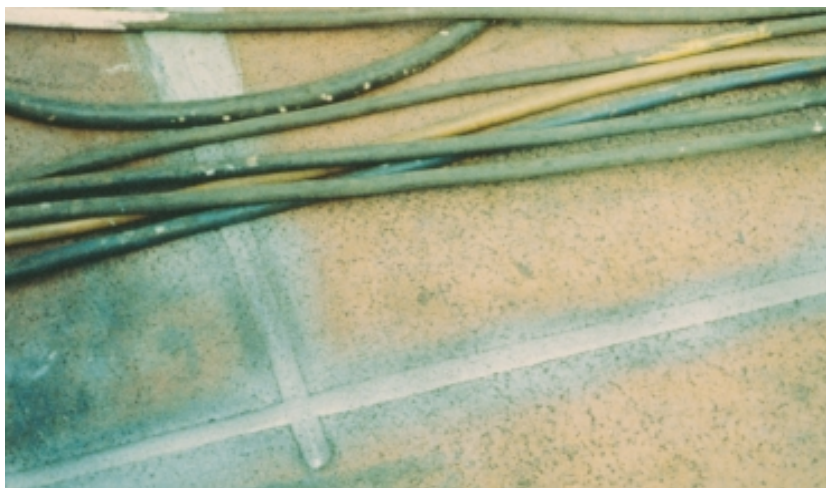


#### 4.2.8 – Επίστρωση με αστάρι

Πριν την κύρια επικάλυψη, η αρχική επίστρωση της μεταλλικής επιφάνειας με αστάρι είναι μια βασική παράμετρος στις εργασίες επικάλυψης. Το αστάρι είναι απαραίτητο για την καλή πρόσφυση των εποξειδικών επικαλυπτικών και εμποδίζει την ανάπτυξη σκουριάς από την υγρασία της ατμόσφαιρας, μέχρι την ολοκλήρωση της επίστρωσης. Στην περίπτωση της ψηματοβολής και της αμμοβολής, το πάχος στρώσης κυμαίνεται στα 15-20  $\mu\text{m}$  για αστάρι οξειδίου του σιδήρου και στα 10-15  $\mu\text{m}$  για αστάρι ψευδαργύρου. Η υπερβολική αύξηση του πάχους στρώσης ασταριού καθυστερεί τις εργασίες μεταλλικής κατασκευής (κοπή, συγκόλληση), επομένως πρέπει να αποφεύγεται (Εικόνα 4.9).

Για τις μεθόδους υδροβολής και υδροεκτόξευσης, κατά τις οποίες προσκολλάται υγρασία στη μεταλλική επιφάνεια, οι προδιαγραφές επίστρωσης ασταριού είναι πιο αυστηρές. Συγκεκριμένα, το αστάρι πρέπει να προσκολλάται στο μέταλλο και να έχει κάποια ανοχή σε υγρασία. Η επίστρωση με τέτοιο αστάρι πραγματοποιείται μόλις στεγνώσει η επιφάνεια (10-20 λεπτά μετά), πριν όμως δημιουργηθεί η λεγόμενη «ακαριαία σκουριά» (*flash rust*). Το πάχος στρώσης είναι μεγαλύτερο απ' ό,τι στην προηγούμενη περίπτωση (30-50  $\mu\text{m}$ ).

Ανεξάρτητα από τη μέθοδο καθαρισμού και τράχυνσης της επιφάνειας που θα χρησιμοποιηθεί, είναι καλό τέτοιου είδους εργασίες να γίνονται πριν τη συναρμολόγηση των ελασμάτων και των ενισχυτικών, ώστε να μη συγκεντρώνεται σκόνη, σωματίδια βολής και υγρασία στους κλειστούς χώρους που πρόκειται να βαφούν. Η υπάρχουσα λύση είναι να χρησιμοποιούνται μεταλλικά στοιχεία που έχουν ήδη καλυφθεί με αστάρι, το οποίο προστατεύει το μέταλλο περισσότερο χρονικό διάστημα απ' ό,τι το κοινό και λέγεται «αστάρι προκατασκευής». Αυτού του είδους η μέθοδος επικάλυψης αναπτύσσεται στο Κεφάλαιο 3 και αποτελεί την πιο παραγωγική μέθοδο επίστρωσης ασταριού.



Εικόνα 4.9 – Πρέπει να αφαιρείται η υπάρχουσα στρώση ασταριού, πριν την εκτέλεση εργασιών συγκόλλησης στη μεταλλική κατασκευή [26]

### 4.3 – Μέθοδος επικάλυψης επιφανειών [26]

Το επικαλυπτικό είναι χρήσιμο για την αντιδιαβρωτική προστασία, μόνο όταν έχει εφαρμοστεί σωστά σε μια προετοιμασμένη επιφάνεια. Οι διάφορες μέθοδοι επικάλυψης παρέχουν ευελιξία στην επιλογή αλλά δεν υποκαθιστούν η μία την άλλη. Για παράδειγμα, ενώ η χρήση ρολού είναι η πιο παραγωγική μέθοδος χειρός, αντενδεικνύεται σε εφαρμογή πρώτης στρώσης σε γυμνή μεταλλική επιφάνεια, λόγω της μειωμένης διείσδυσης στις πτυχώσεις που δημιουργήσε η ψηγματοβολή. Γενικά οι συνήθεις μέθοδοι εφαρμογής των επικαλυπτικών είναι τρεις:

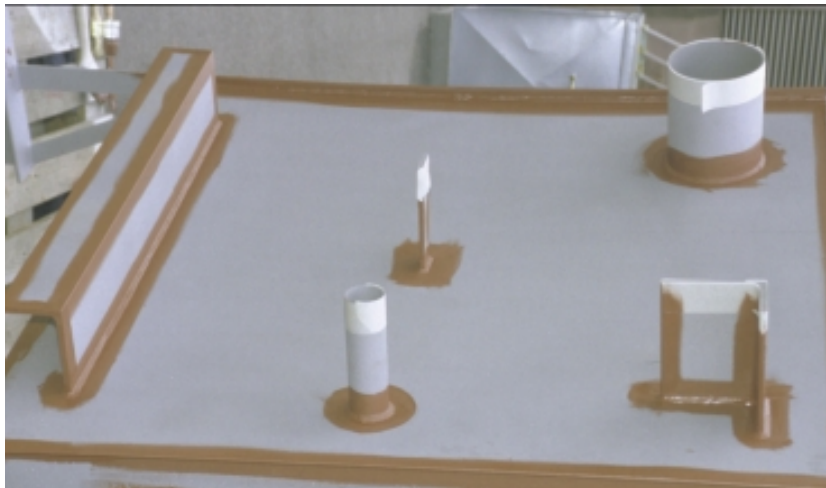
- Πινέλο
- Ρολό
- Ψεκασμός χωρίς ανάμιξη αέρα (*airless spray*)

#### 4.3.1 - Πινέλο

Από τεχνικής άποψης, η χρήση πινέλου για την επικάλυψη δίνει να καλύτερα αποτελέσματα, διότι επιτυγχάνεται πλήρης διείσδυση του επικαλυπτικού στις πτυχώσεις του προφίλ της επιφάνειας, μπορούν να καλυφθούν δυσπρόσιτες γεωμετρίες (ακμές, πείροι, ραφές συγκόλλησης κ.τ.λ.) και τέλος το πινέλο κινείται σε δύο άξονες και περνά τουλάχιστον δύο φορές από κάθε σημείο της επιφάνειας, λόγω της κίνησης του χεριού, απλώνοντας άριστα το επικαλυπτικό. Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά της χρήσης πινέλου είναι ότι επικαλυπτικά με μικρή ρευστότητα/μεγάλη πυκνότητα (συνήθως για στρώσεις μεγάλου πάχους) απλώνονται ικανοποιητικά, λόγω της πίεσης που ασκείται στο πινέλο (Εικόνα 4.10). Αντίστοιχη περίπτωση είναι η εφαρμογή επικαλυπτικών σε πολύ τραχιές επιφάνειες (συνήθης κατάσταση στις επισκευές). Το μεγάλο μειονέκτημα της εφαρμογής με πινέλο είναι η ταχύτητα επίστρωσης, όμως σε οποιαδήποτε περίπτωση δε μπορεί να γίνει βαφή με ψεκασμό, συνιστάται η χρήση πινέλου (Εικόνα 4.11). Από όλες τις γεωμετρίες βούρτσας πινέλου, η πιο εύχρηστη είναι η στρογγυλή ή ελλειπτική και πρέπει να προτιμάται. Όπως έχει αναφερθεί, η χρήση πινέλου είναι ιδανική για την πρώτη στρώση.



Εικόνα 4.10 - Η χρήση στρογγυλού πινέλου συνιστάται στις εργασίες χειρός [26]



Εικόνα 4.11 - Με το πινέλο επιτυγχάνεται η βέλτιστη πρόσβαση [26]

#### 4.3.2 - Ρολό

Η εφαρμογή επικαλυπτικών με ρολό είναι συνήθης στις μεταλλικές κατασκευές. Η χρήση του συνιστάται στις περιπτώσεις που δε μπορεί να γίνει χρήση ψεκασμού και ζητείται παραγωγικότητα μεγαλύτερη από αυτήν του πινέλου. Όπως αναφέρθηκε, η χρήση ρολού για την πρώτη στρώση σε μεταλλική επιφάνεια είναι ένδειξη κακής πρακτικής.

Οι λόγοι απόρριψης του ρολού οφείλονται στη λειτουργία του. Ενώ μπορεί να καλύψει μεγαλύτερη επιφάνεια από το πινέλο, ασκεί μικρότερη επιφανειακή πίεση, επομένως επιτυγχάνεται μερική διείσδυση του επικαλυπτικού. Λόγω του σχήματός του, έχει μειωμένη πρόσβαση σε δύσκολες περιοχές, ακριβώς εκεί που το πινέλο υπερτερεί. Τέλος, με την κίνηση του ρολού εγκλωβίζεται αέρας εντός της στρώσης, περισσότερος απ' ό τι με τις άλλες μεθόδους, με αποτέλεσμα τις συνήθεις αστοχίες στο επικαλυπτικό (φλύκταινες, πόροι και μειωμένη πρόσφυση).

#### 4.3.3 - Ψεκασμός χωρίς ανάμειξη αέρα (airless spray)

Αποτελεί την πιο συνήθη μέθοδο επικάλυψης. Χρησιμοποιείται πίεση για τη διάσπαση του επικαλυπτικού σε σωματίδια και την εκνέφωση αυτού. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Έχει υψηλή παραγωγικότητα
- Μπορούν να εφαρμοστούν όλες οι στρώσεις με τη μέθοδο αυτή (και η πρώτη)
- Ο ψεκασμός χωρίς ανάμειξη αέρα επιτυγχάνει μεγαλύτερο πάχος στρώσης, άρα μικρότερο αριθμό στρώσεων σε σχέση με πινέλο και ρολό. Τυπική περίπτωση οι δεξαμενές έρματος, όπου εφαρμόζονται στρώσεις πάχους έως 400μm
- Επιτυγχάνεται ομοιόμορφο πάχος στρώσης, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για την αντοχή στο χρόνο του συστήματος βαφής

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του ψεκασμού είναι τα εξής:

- Απαιτεί πολλή εκπαίδευση και εξάσκηση για να επιτευχθεί ισοπαχής, ομαλή στρώση στις απαιτούμενες προδιαγραφές πάχους
- Δεν είναι εύχρηστη για δυσπρόσιτες περιοχές (ανθρωποθυρίδες, πίσω από γωνίες κ.τ.λ.)
- Μέσω του ψεκασμού επηρεάζεται ο χώρος που περιβάλλει τη βαφόμενη επιφάνεια

Συνήθης πίεση στο ακροφύσιο του πιστολιού ψεκασμού είναι τα 25 MPa.

Υποκατηγορία του ψεκασμού χωρίς ανάμιξη αέρα είναι ο ψεκασμός δύο συστατικών, κατά τον οποίο γίνεται ανάμιξη δύο συστατικών, τα οποία περιέχουν ήδη τον καταλύτη και έχουν καθορισμένη αναλογία. Η χρήση αυτής της μεθόδου γίνεται σε επικαλυπτικά με μεγάλη περιεκτικότητα σε στερεά (*high volume solids*) ή έχουν μικρή περιεκτικότητα σε διαλύτες (*solvent free coatings*). Τα παραπάνω επικαλυπτικά έχουν πολύ μικρή διάρκεια χρήσης (*pot life*) και γι' αυτό δεν αναμιγνύονται παρά μόνο πριν την εφαρμογή στην επιφάνεια. Με τη χρήση δύο ξεχωριστών δοχείων για τα συστατικά επιτυγχάνεται επίσης αύξηση της αυτονομίας του ψεκασμού, καθώς η διακοπή για αλλαγή δοχείων και πλύση με διαλύτη του εξοπλισμού, συμβαίνει αραιότερα.

Για τη σωστή τεχνική εφαρμογής του ψεκασμού, ενός ή δύο συστατικών, ισχύουν τα εξής:

- Το πιστόλι ψεκασμού δέχεται διαφορετικά ακροφύσια, ανάλογα με την εργασία και το επικαλυπτικό. Ο κατασκευαστής δίνει οδηγίες για τη σωστή επιλογή, όμως σ' αυτήν την περίπτωση ο πειραματισμός δε βλάπτει
- Το ίδιο το ακροφύσιο φθείρεται με τη χρήση και αλλάζει η διασπορά του επικαλυπτικού. Είναι σωστή πρακτική η αλλαγή ακροφυσίου μετά τον ψεκασμό 400-500 λίτρων προϊόντος
- Η πίεση στη σκανδάλη του πιστολιού να αρχίζει όταν το χέρι έχει ήδη αρχίσει να κινείται και να σταματά πριν φτάσει ο εργάτης στο τέλος της βαφόμενης επιφάνειας. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ισοπαχής στρώση
- Είναι σημαντικό το πιστόλι να κινείται συνεχώς, όταν υπάρχει ψεκασμός, ώστε να αποφεύγονται οι αυξομειώσεις του πάχους στρώσης
- Το πιστόλι ψεκασμού να διατηρείται σε μια απόσταση 30-60 cm από την επιφάνεια. Η ύπαρξη ρευμάτων αέρα, υπερβολικού εξαερισμού και υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος μπορούν να επηρεάσουν το μήκος της απόστασης αυτής. Όταν η απόσταση αυξάνεται πέραν του επιτρεπτού, δημιουργούνται πόροι στη στρώση, εγκλείσματα αέρα και σκώνεται σκόνη, όλοι αρνητικοί παράγοντες
- Το πιστόλι να παραμένει κάθετο στην επιφάνεια που βάφεται καθ' όλη την κίνηση του χεριού. Η επικάλυψη προηγούμενης στρώσης να φτάνει στο 50%. Με τα παραπάνω, επιτυγχάνεται βέλτιστο αποτέλεσμα

- Οι δύσκολες επιφάνειες, όπως ακμές και γωνίες, καλύπτονται πρώτες με ψεκασμό
- Πρέπει να γίνεται συνεχής έλεγχος του πάχους νωπής στρώσης (*WFT*) για την αποφυγή αποκλίσεων από τις προδιαγραφές. Ένας έμπειρος χειριστής μπορεί εύκολα να τηρήσει το επιθυμητό πάχος στρώσης. Όταν παραλαμβάνεται νέος εξοπλισμός, να γίνονται δοκιμές σε λιγότερο κρίσιμες περιοχές για την πιστοποίηση και την εκπαίδευση του προσωπικού (Εικόνα 4.12)



Εικόνα 4.12 - Η επιστρωση με ψεκασμό απαιτεί σωστή προεργασία, εκπαίδευση και τήρηση των διατάξεων ασφάλειας [26]

#### 4.3.4 - Οδηγίες εφαρμογής επικαλυπτικού

Οι σημαντικότερες οδηγίες για τη σωστή εφαρμογή του επικαλυπτικού είναι οι εξής:

- Να γίνεται χρήση της σωστής μεθόδου επικάλυψης, όπως αναφέρθηκε το ρολό είναι ακατάλληλο για την πρώτη στρώση
- Να γίνονται μετρήσεις συνθηκών περιβάλλοντος (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία) στην περιοχή βαφής. Οι εργασίες να πραγματοποιούνται μόνο όταν η θερμοκρασία του μετάλλου είναι τουλάχιστον 3° C υψηλότερη του σημείου δρόσου (*dew point*) για την αποφυγή συμπύκνωσης. Να μη γίνονται εργασίες σε βρεγμένη επιφάνεια ή κατά τη διάρκεια βροχής.
- Να βρίσκονται τα εργαλεία βαφής στην καλύτερη δυνατή κατάσταση (Εικόνα 4.13)



Εικόνα 4.13 - Το πιστόλι ψεκασμού σε κακή λειτουργική κατάσταση λόγω ελλιπούς καθαρισμού [26]

- Πριν ξεκινήσουν οι εργασίες, να γίνει σωστή κατανομή των δοχείων επικαλυπτικού κατά τόπους στο χώρο που θα γίνει η βαφή
- Να καθαρίζονται τα καπάκια των δοχείων πριν το άνοιγμά τους και να ανοίγονται μόνο τα απαιτούμενα, ώστε να γίνει η ανάμειξη των συστατικών (εποξειδικά)
- Να ακολουθούνται οι τεχνικές οδηγίες του κατασκευαστή και να αποφεύγεται η χρήση διαλυτικού (*thinner*). Σε ψυχρό καιρό να παραμένουν τα δοχεία σε θερμοκρασία δωματίου
- Να γίνεται σωστή ανάμειξη των συστατικών, αποκλειστικά με μηχανικό αναδευτήρα. Μόνο με την πλήρη ανάμειξη επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση των αντιδιαβρωτικών χαρακτηριστικών του επικαλυπτικού
- Κατά την ανάμειξη εποξειδικών 2 συστατικών, να μένει το τελικό προϊόν σε κατάσταση ηρεμίας για 10-30 λεπτά, ώστε να ενεργοποιηθεί η αντίδραση πολυμερισμού
- Να γίνεται μέτρηση του πάχους υγρής στρώσης (*WFT*) σε τακτά διαστήματα κατά την εργασία επικάλυψης. Η μέτρηση πάχους σε επάλληλες στρώσεις που δεν έχουν στεγνώσει πλήρως οδηγεί συνήθως σε εσφαλμένες μετρήσεις. Για την επίτευξη στρώσεων μεγάλου πάχους να

γίνεται χρήση ψεκασμού του προϊόντος. Όταν γίνεται χρήση πινέλου ή ρολού πρέπει να αυξηθεί ο αριθμός στρώσεων για την επίτευξη ίδιου πάχους στρώσης με αυτό του ψεκασμού

- Ο χρόνος στερεοποίησης-πολυμερισμού καθορίζεται πάντα από τον κατασκευαστή στις τεχνικές οδηγίες του προϊόντος

#### 4.4 - Περιβαλλοντικές συνθήκες για την εφαρμογή και τη στερεοποίηση του επικαλυπτικού [26]

Οι τρεις κύριες συνιστώσες για την επίτευξη σωστών συνθηκών είναι:

- Θερμοκρασία
- Υγρασία
- Εξαερισμός

##### 4.4.1 - Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του μετάλλου και του αέρα επιδρούν σημαντικά στη διαδικασία πολυμερισμού της στρώσης, τόσο στο συνολικό χρόνο, όσο και στο ρυθμό στερεοποίησης. Μεγαλύτερο πρόβλημα υπάρχει στις χαμηλές θερμοκρασίες, όπου μειώνεται η ταχύτητα στερεοποίησης και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες διακόπτεται πλήρως. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, δίνονται οδηγίες από τον κατασκευαστή για την αραίωση του προϊόντος με ειδικό διαλύτη (πάντα με προσοχή στις αναλογίες) για τα συνήθη προϊόντα, ενώ για ακραίες θερμοκρασίες ( $-5^{\circ}\text{C}$ ) γίνεται χρήση επικαλυπτικών ειδικών για χρήση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Πλήρης αποκόλληση του επικαλυπτικού μπορεί να συμβεί εάν γίνει εφαρμογή του σε ψυχρή μεταλλική επιφάνεια και αμέσως μετά εκτεθεί σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. ήλιος, πηγές θερμότητας).

Ο απαιτούμενος χρόνος στερεοποίησης της στρώσης για εφαρμογή νέας στρώσης, εξαρτάται από τη θερμοκρασία του μετάλλου και εκείνη του αέρα και με αυτά τα δεδομένα γίνεται αναγωγή στα στοιχεία που δίνει ο κατασκευαστής. Τα επικαλυπτικά που εφαρμόζονται με συνθήκες εκτός των συνιστώμενων, μπορεί να έχουν ανεπαρκή πρόσφυση, στερεοποίηση ή πολυμερισμό με αποτέλεσμα μειωμένη απόδοση.

Τα καλύτερα αποτελέσματα προκύπτουν όταν η θερμοκρασία του προς βαφή μετάλλου είναι ελαφρά υψηλότερη από εκείνη του περιβάλλοντος. Η υπερβολικά υψηλή θερμοκρασία του μετάλλου, όμως, θα δημιουργήσει πόρους στην επιφάνεια της στρώσης.

##### 4.4.2 - Υγρασία

Η υγρασία επίσης επηρεάζει την ταχύτητα πολυμερισμού. Όταν η υγρασία είναι υψηλή ( $>85\%$ ), η εξάτμιση των διαλυτών, κατά συνέπεια και ο χρόνος στερεοποίησης, καθυστερούν πολύ. Δε συνιστάται η εργασία σε περιβάλλον με υγρασία μεγαλύτερη του 85%.

Το σημείο δρόσου είναι η θερμοκρασία κατά την οποία ο ατμοσφαιρικός αέρας υγροποιείται αφήνοντας υγρασία πάνω στη μεταλλική επιφάνεια. Τυπική μέθοδος για την αποφυγή του φαινομένου είναι οι εργασίες να γίνονται σε θερμοκρασίες μετάλλου τουλάχιστον  $3^{\circ}\text{C}$  υψηλότερες από το σημείο δρόσου του χώρου. Μετά την εφαρμογή του επικαλυπτικού, είναι σημαντικό να κρατηθεί η βαμμένη επιφάνεια σε συνθήκες που αποτρέπουν τη συμπύκνωση στην επιφάνειά της.

### 4.4.3 - Εξαερισμός

Ο σωστός εξαερισμός του χώρου είναι σημαντικός στην εφαρμογή των επικαλυπτικών, καθώς έτσι μεταφέρονται οι πτητικοί διαλύτες από το προϊόν στην ατμόσφαιρα και επιτυγχάνεται η στερεοποίησή του. Ειδικά για τις δεξαμενές, πρέπει να υπάρχει τόσο παροχή, όσο και αναρρόφηση αέρα. Η παροχή τοποθετείται ψηλά στο χώρο και η αναρρόφηση χαμηλά, έτσι ώστε οι διαλύτες που είναι βαρύτεροι του ατμοσφαιρικού αέρα, να απομακρύνονται επαρκώς.

Συνιστάται η θερμοκρασία του παρεχόμενου αέρα να είναι ελαφρά χαμηλότερη της θερμοκρασίας του προς βαφή μετάλλου. Με αυτόν τον τρόπο δε μένουν διαλύτες εγκλωβισμένοι εντός της στρώσης, επομένως δεν παρουσιάζονται προβλήματα φλукταινών και ελλιπούς πρόσφυσης.

Κατά την εφαρμογή και ξήρανση του επικαλυπτικού, ο ρυθμός εξαερισμού και αφύγρανσης είναι συνήθως υψηλός, ώστε να απομακρύνονται γρηγορότερα οι διαλύτες (Εικόνα 4.14). Δεν πρέπει όμως να λάβει πολύ υψηλές τιμές γιατί δημιουργείται πρόβλημα πρόσφυσης του επικαλυπτικού στη μεταλλική επιφάνεια.

Η συγκέντρωση ορισμένων διαλυτών, οι οποίοι είναι εύφλεκτοι, πρέπει να διατηρείται σε ασφαλή επίπεδα, χαμηλότερα του ορίου ανάφλεξης/έκρηξης. Πληροφορίες για επικίνδυνα συστατικά των επικαλυπτικών προϊόντων δίνονται στα φυλλάδια δεδομένων ασφάλειας (*MSDS*).

Προσοχή πρέπει να δοθεί επίσης στην αποτροπή ρευμάτων αέρα στην περιοχή βαφής, καθώς αυτά δημιουργούν «ξηρό ψεκασμό» (τα σωματίδια του επικαλυπτικού χάνουν μεγάλο μέρος των διαλυτών μέχρι να φτάσουν στη βαφόμενη επιφάνεια), πόρους στην επιφάνεια της στρώσης και βέβαια υψηλότερη κατανάλωση προϊόντος λόγω φύρας.



Εικόνα 4.14- Εγκατάσταση αφύγρανσης αέρα [26]



#### 4.5 - Συνήθεις αστοχίες και αντιμετώπισή τους [3], [10], [26], [31]

Παρόλο που οι προδιαγραφές για τις εργασίες επικαλύψεων γίνονται ολοένα πιο αυστηρές, εντούτοις χρειάζεται να γίνονται εργασίες συντήρησης στις επικαλύψεις. Ειδικά για τις δεξαμενές έρματος, η δυσκολία έγκειται στην πρόσβαση, όταν η κατασκευή λειτουργεί (Εικόνα 4.15). Οι αστοχίες δεν είναι απαραίτητο να συμβούν πολύ μετά την εφαρμογή των επικαλύψεων, η καλύτερη αντιμετώπισή τους όμως ξεκινά με την έγκαιρη διάγνυσή τους. Ακολουθούν πίνακες, οι οποίοι περιέχουν τόσο χαρακτηριστικά αστοχιών, όσο και οδηγίες επέμβασης για τη διόρθωση αυτών (Πίνακες 4.3.1 - 4.3.4).



Εικόνα 4.15 - Η δυσκολία πρόσβασης στις δεξαμενές έρματος, όταν το πλοίο λειτουργεί, είναι προφανής

Πίνακας 4.3.1 - Προβλήματα και λύσεις κατά την εφαρμογή επικαλυπτικού με ψεκασμό χωρίς αέρα [26]

<b>Μορφή επιφάνειας τύπου «φλοιός πορτοκαλιού» (<i>orange peel</i>)</b>	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Ακατάλληλο ή φθαρμένο ακροφύσιο	Χρήση σωστού μεγέθους και τακτική αντικατάσταση
Πολύ μεγάλο ιξώδες	Προσθήκη διαλύτη, σε ελεγχόμενη αναλογία
Χαμηλή διάσπαση του επικαλυπτικού σε σωματίδια	Αύξηση πίεσης, μείωση ρευστότητας, μείωση παροχής, αλλαγή γεωμετρίας ψεκασμού (ακροφύσιο)
Υπερβολικά ταχεία εξάτμιση διαλύτη	Χρήση διαφορετικού διαλύτη
Το πιστόλι πολύ κοντά στην επιφάνεια	Ρύθμιση της απόστασης στα 30-60 cm
Ανάμιξη αέρα στη ροή του επικαλυπτικού	Έλεγχος στην παροχή προϊόντος για διαρροή ή μειωμένη στάθμη
<b>Μορφή επιφάνειας τύπου «σβώλου - άμορφη» (<i>lumpy</i>)</b>	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Τα συστατικά δεν αναμίχθηκαν σύμφωνα με τις συστάσεις	Η μίξη να γίνεται όπως συνιστάται. Ίσως να χρειάζεται διήθηση του προϊόντος πριν τον ψεκασμό
Σκόνη ή σωματίδια στην επιφάνεια πριν τη βαφή	Επανεξέταση της διαδικασίας ελέγχου καθαρότητας
Μειωμένη παροχή υλικού στις σωληνώσεις του πιστολιού	Έλεγχος και τακτική καθαριότητα αυτού
<b>«Κρέμασμα» επικαλυπτικού (<i>sagging</i>)</b>	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Υπερβολική ποσότητα επικαλυπτικού	Χρήση μικρότερου ακροφυσίου ή ρύθμιση της κίνησης ψεκασμού
Υπερβολική ή λανθασμένη προσθήκη διαλύτη	Χρήση μικρότερης ποσότητας ή πιο πηκτικού διαλύτη
Οι επιφάνειες προς βαφή είναι πολύ ψυχρές	Έλεγχος των οδηγιών του κατασκευαστή για το κατώτατο όριο θερμοκρασίας εφαρμογής του προϊόντος
Το επικαλυπτικό δεν έχει αναμιχθεί σωστά	Χρήση μηχανικού αναδευτήρα και τήρηση οδηγιών
Λανθασμένη τεχνική ψεκασμού	Τήρηση της απόστασης στα 30-60 cm και επικάλυψης κατά 50%. Οι νέοι τεχνίτες συνήθως κινούν το πιστόλι αργά, με αποτέλεσμα πιο παχιές στρώσεις
Ο ψεκασμός έγινε από μικρή απόσταση	Όμοια με το προηγούμενο
<b>«Ξηρός» ψεκασμός (<i>dry spray</i>)</b>	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Λάθος χρήση του διαλύτη	Σωστή αναλογία διαλύτη. Σε συνθήκες ρεύματος αέρα συνιστάται η χρήση διαλύτη που εξαερώνεται πιο αργά
Η επιφάνεια βαφής είναι πολύ θερμή	Χρήση διαλύτη που εξαερώνεται πιο αργά ή αναμονή μέχρι η επιφάνεια να ψυχθεί αρκετά
Υπερβολική διάσπαση σωματιδίων επικαλυπτικού	Μείωση πίεσης παροχής, χρήση διαλύτη που εξαερώνεται πιο αργά ή χρήση μεγαλύτερου ακροφυσίου
Λανθασμένη τεχνική ψεκασμού ή τοποθέτηση της σκαλωσιάς πολύ κοντά στην επιφάνεια	Τήρηση της απόστασης στα 30-60 cm, το ακροφύσιο σε κάθετη προς την επιφάνεια θέση και βαφή πρώτα των λεπτομερειών της επιφάνειας. Ροή εργασίας προς τη φορά του αέρα και χρήση 3-5 εργατών ανά ομάδα

Πίνακας 4.3.2 - Προβλήματα και λύσεις κατά την εφαρμογή επικαλυπτικού με ψεκασμό χωρίς αέρα [26]

Βελονισμοί και πόροι στη στρώση του επικαλυπτικού ( <i>pinholes and pores</i> )	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Χρήση ακατάλληλων διαλυτών	Χρήση συμβατών διαλυτών για καλή ροή και διάσπαση των σωματιδίων του επικαλυπτικού
Η στρώση είναι πολύ παχιά/βαριά	Εφαρμογή λεπτότερων στρώσεων για καλή εξάτμιση του διαλύτη
Η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή	Μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, χρήση διαλυτών που εξατμίζονται πιο αργά
Ο εξαερισμός είναι πολύ καλός	Μείωση της παροχής αέρα στην περιοχή, χρήση διαλυτών που εξατμίζονται πιο αργά
Η απόσταση ψεκασμού είναι πολύ μεγάλη	Μείωση της απόστασης
Ύπαρξη ασαριού ψευδαργύρου στην επιφάνεια	Χρήση συνδετικής στρώσης, στρώσης διαλύτη
Μορφή επιφάνειας τύπου «ιστού» ( <i>cobwebbing</i> )	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Το υλικό έχει μεγάλο ιξώδες	Αύξηση της πίεσης εξόδου
Ο διαλύτης εξατμίζεται πολύ γρήγορα	Χρήση διαλύτη που περιορίζει τη ρευστότητα ή/και καθυστερεί να εξατμισθεί
Μορφή επιφάνειας τύπου «μάτια ψαριού» ( <i>fish eyes</i> )	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Ύπαρξη γράσου, βρωμιάς ή νερού στην επιφάνεια	Έλεγχος μεθόδων καθαρισμού. Να γίνεται χρήση καθαρών διαλυμάτων, διαλυτών, αλλά και στουπιών
Ύπαρξη σιλικόνης ή ελαίων στην επιφάνεια	Εύρεση πηγής μόλυνσης και καθαρισμός με αλκοόλη
Υπερβολικό πάχος στρώσης	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Η πίεση της αντλίας τροφοδοσίας είναι πολύ υψηλή	Μείωση της πίεσης
Η παροχή είναι πολύ υψηλή	Αλλαγή του ακροφυσίου σε μικρότερο μέγεθος
Λανθασμένη τεχνική χειριστή	Τήρηση της απόστασης στα 30-60 cm, το ακροφύσιο σε κάθετη προς την επιφάνεια θέση και αύξηση της ταχύτητας κίνησης του πιστολιού
Το πιστόλι ψεκασμού φράζει	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Δεν έγινε καθίζηση του προϊόντος πριν τη χρήση	Ορισμένα υλικά καθιζάνουν στο δοχείο κατά την αποθήκευση. Να γίνεται πλήρης ανάμιξη και το τελικό μείγμα να φιλτράρεται πριν την αναρρόφηση της αντλίας
Λανθασμένη επιλογή ακροφυσίου	Χρήση σωστού μεγέθους
Ύπαρξη ξηραμένου επικαλυπτικού στο ακροφύσιο	Καθαρισμός ή αλλαγή του ακροφυσίου
Χαμηλή διάρκεια χρήσης του προϊόντος επικάλυψης	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Υπερβολική ανάδευση των συστατικών του μείγματος	Κατά τη γρήγορη ανάδευση, δημιουργούνται φυσαλίδες στο μείγμα και με ζεστό καιρό επιταχύνεται ο πολυμερισμός
Υψηλή θερμοκρασία στο χώρο	Διατήρηση του δοχείου σε δροσερό και σκιώδη χώρο

Πίνακας 4.3.3 - Προβλήματα και λύσεις κατά την εφαρμογή επικαλυπτικού με ψεκασμό χωρίς αέρα [26]

Ανομοιογενές σχέδιο ψεκασμού	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Φθαρμένο ή ακατάλληλο ακροφύσιο	Αλλαγή ή αντικατάσταση, σύμφωνα με τις οδηγίες
Φραγμένο ακροφύσιο	Καθαρισμός ακροφυσίου και έλεγχος φίλτρου αντλίας
Άδειο δοχείο παροχής επικαλυπτικού	Επαναγέμιση/αντικατάσταση δοχείου παροχής
Υψηλή ρευστότητα υλικού	Έλεγχος οδηγιών κατασκευαστή για την αραιώση
Ατελής διάσπαση του ψεκασμού σε σωματίδια	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Φθαρμένο ή ακατάλληλο ακροφύσιο	Αλλαγή ή αντικατάσταση, σύμφωνα με τις οδηγίες
Φραγμένο φίλτρο στην αντλία	Καθαρισμός ή αντικατάσταση
Η πίεση της αντλίας τροφοδοσίας είναι πολύ χαμηλή	Ρύθμιση της πίεσης, καθαρισμός ή επισκευή της αντλίας
Δεν λειτουργεί η θέρμανση του προϊόντος πριν τον ψεκασμό (όπου εφαρμόζεται)	Καθαρισμός και επισκευή του θερμαντήρα
Οι σωλήνες παροχής είναι πολύ μακριοί ή μικρής διαμέτρου	Η αντίσταση στη ροή είναι πολύ υψηλή. Χρήση σωλήνων μικρότερου μήκους ή μεγαλύτερης διαμέτρου
Σχέδιο ψεκασμού τύπου «κλεψύδρας» ( <i>hour glass pattern</i> )	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Ανεπαρκής παροχή υλικού ψεκασμού	Αύξηση της πίεσης, μείωση της διατομής του ακροφυσίου, μείωση του ιξώδους, καθαρισμός πιστολιού και φίλτρου αντλίας, μείωση των πιστολιών που λειτουργούν ταυτόχρονα, με μία αντλία
Σχέδιο ψεκασμού στρογγυλό	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Φθαρμένο ή μερικώς φραγμένο ακροφύσιο	Καθαρισμός ή αντικατάσταση ακροφυσίου
Το υλικό είναι πολύ βαρύ για ψεκασμό	Αύξηση πίεσης, μείωση ιξώδους, αλλαγή ακροφυσίου
Ο ψεκασμός διακόπτεται	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Φθαρμένο ή ακατάλληλο ακροφύσιο	Αλλαγή ή αντικατάσταση, σύμφωνα με τις οδηγίες
Φραγμένο ακροφύσιο	Καθαρισμός ακροφυσίου και έλεγχος φίλτρου αντλίας
Άδειο δοχείο παροχής επικαλυπτικού	Επαναγέμιση/αντικατάσταση δοχείου παροχής
Τα σωματίδια του επικαλυπτικού είναι πολύ μεγάλα και περνούν από το εν σειρά φίλτρο και όχι από το ακροφύσιο	Γίνεται λάθος χρήση φίλτρου. Αλλαγή φίλτρου και καλύτερο φιλτράρισμα στην αρχή της παροχής, στο δοχείο
Το ακροφύσιο είναι πολύ μικρό	Αλλαγή ή αντικατάσταση, σύμφωνα με τις οδηγίες
Οι σωληνώσεις παροχής είναι βρώμικες ή περιέχουν ξηραμένο επικαλυπτικό	Αλλαγή ή αντικατάσταση, σύμφωνα με τις οδηγίες
Το φίλτρο φράζει πολύ γρήγορα	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Τα σωματίδια του επικαλυπτικού είναι πολύ μεγάλα	Αλλαγή του φίλτρου με μεγαλύτερες ανοχές
Χρήση λάθος τύπου διαλύτη	Μη συμβατοί διαλύτες οδηγούν το επικαλυπτικό σε συμπύκνωση ή συσσωμάτωση
Η διάρκεια χρήσης του προϊόντος έχει παρέλθει	Ορισμένα επικαλυπτικά συμπυκνώνονται ταχύτερα προς το τέλος της ενεργούς διάρκειας χρήσης τους. Να ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή

Πίνακας 4.3.4 - Προβλήματα και λύσεις κατά την εφαρμογή επικαλυπτικού με ψεκασμό χωρίς αέρα [26]

Υπαρξη κραδασμών στο πιστόλι ψεκασμού	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Η παροχή επικαλυπτικού είναι πολύ υψηλή	Το ακροφύσιο είναι πολύ μεγάλο, αλλαγή με μικρότερο
Λανθασμένα ή φραγμένα φίλτρα	Καθαρισμός ή αντικατάσταση φίλτρων
Η βαλβίδα ελέγχου πίεσης είναι κακώς ρυθμισμένη ή χαλασμένη	Έλεγχος και συντήρηση της βαλβίδας
Το πιστόλι εκτοξεύει σταγόνες κατά την έναρξη και το τέλος του ψεκασμού	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Η βελόνα στο ακροφύσιο δε λειτουργεί σωστά	Φθαρμένη βελόνα ή έδραση αυτής. Αντικατάσταση
Το πιστόλι ψεκασμού δεν εκτοξεύει επικαλυπτικό	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Φραγμένο ακροφύσιο	Καθαρισμός ακροφυσίου
Φθαρμένα, κατεστραμμένα ή φραγμένα μέρη πιστολιού	Καθαρισμός, συντήρηση και αντικατάσταση
Φραγμένο φίλτρο ρευστού	Καθαρισμός ή αντικατάσταση
Το δοχείο παροχής αδειάζει ή άδειασε	Επαναγέμιση δοχείου παροχής
Ο συμπιεστής της αντλίας δε λειτουργεί	Συντήρηση
Η βαλβίδα ελέγχου πίεσης είναι κακώς ρυθμισμένη ή χαλασμένη	Έλεγχος και συντήρηση της βαλβίδας
Το πιστόλι ψεκασμού δε σταματά να λειτουργεί	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Φθαρμένα, κατεστραμμένα ή φραγμένα μέρη πιστολιού	Καθαρισμός, συντήρηση και αντικατάσταση
Η παροχή επικαλυπτικού από την αντλία είναι χαμηλή	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Το δοχείο παροχής αδειάζει ή άδειασε	Επαναγέμιση δοχείου παροχής
Φραγμένο φίλτρο ρευστού	Καθαρισμός ή αντικατάσταση
Η βαλβίδα ελέγχου πίεσης είναι λάθος ρυθμισμένη ή χαλασμένη	Έλεγχος και συντήρηση της βαλβίδας
Η αντλία δεν αναρροφά επικαλυπτικό	
Πιθανές αιτίες	Λύσεις
Φθαρμένο ή φραγμένο σιφόνι αναρρόφησης	Καθαρισμός ή αντικατάσταση
Η βαλβίδα ποδός είναι λάθος ρυθμισμένη ή χαλασμένη	Έλεγχος και συντήρηση της βαλβίδας
Η αντλία λειτουργεί με απορυθμισμένο κύκλο διαδρομής εμβόλου	
Πιθανές αιτίες	Πιθανές αιτίες
Η κάτω (ή πάνω) βαλβίδα στη διαδρομή του εμβόλου δεν εδράζεται σωστά	Καθαρισμός ή αντικατάσταση
Η αντλία συνεχίζει να λειτουργεί όταν ο ψεκασμός σταματά	
Πιθανές αιτίες	Πιθανές αιτίες
Το υλικό διαπερνά τα στεγανοποιητικά κατά τη διαδρομή του εμβόλου	Έλεγχος και συντήρηση των στεγανοποιητικών
Η βαλβίδα υπερχείλισης του φίλτρου δεν είναι κλειστή	Η βαλβίδα πρέπει να είναι τελείως ανοικτή ή κλειστή
Φθαρμένη σωλήνωση παροχής υλικού	Έλεγχος του πλήρους μήκους των σωληνώσεων
Διαρροή στην αντλία παροχής	Έλεγχος για διαρροές
Το δοχείο παροχής αδειάζει ή άδειασε	Επαναγέμιση δοχείου παροχής

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Μηχανισμός δράσης και αστοχίες επικαλυπτικών**

### **5.1 - Μηχανισμός δράσης επικαλυπτικών [6], [12]**

#### **5.1.1 - Εισαγωγή**

Ο ρόλος του επικαλυπτικού είναι ο διαχωρισμός δύο αντιδρώντων στοιχείων, της μεταλλικής κατασκευής και του θαλασσινού νερού ή/και του ατμοσφαιρικού αέρα. Η στρώση, συνήθως, είναι πολύ λεπτή σε σχέση με την επιφάνεια της κατασκευής που καλύπτει. Για να προστατεύει επαρκώς, πρέπει η ακεραιότητά της να είναι πλήρης. Οποιαδήποτε ατέλεια/ασυνέχεια στη στρώση, αποτελεί εστία έναρξης διάβρωσης και αστοχίας του επικαλυπτικού. Παρακάτω αναπτύσσονται οι κύριες ιδιότητες που πρέπει να έχουν τα επικαλυπτικά, ώστε να προστατεύουν αποτελεσματικά τη μεταλλική κατασκευή:

- Αντοχή στην υγρασία
- Επαρκής ελαστικότητα
- Αντοχή στις περιβαλλοντικές συνθήκες
- Αντοχή στη ρύπανση
- Αντοχή σε βακτήρια και μύκητες
- Αντοχή στην καθοδική αποκόλληση
- Αντοχή στο χρόνο
- Κατάλληλος χρωματισμός
- Καλή πρόσφυση στη μεταλλική επιφάνεια
- Εύκολη εφαρμογή

Από τις παραπάνω ιδιότητες, η παράμετρος της ελαστικότητας του επικαλυπτικού εξετάζεται εκτενώς στην επόμενη παράγραφο (βλέπε § 5.2), όπου παρουσιάζονται και τα αίτια αστοχίας.

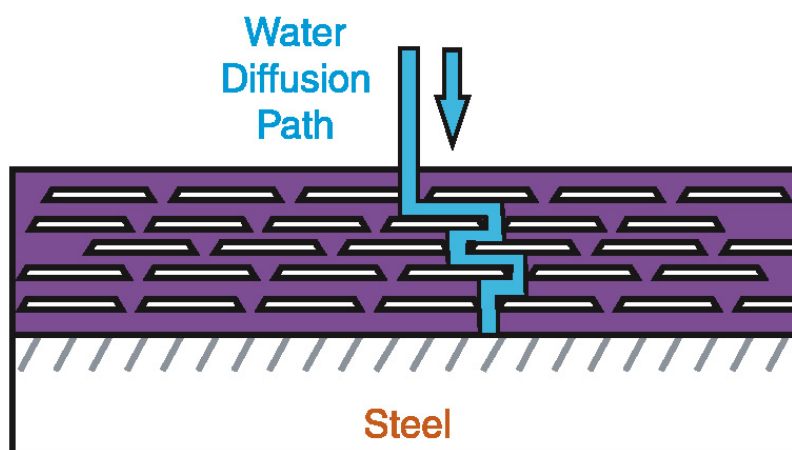
#### **5.1.2 - Αντοχή στην υγρασία**

Αυτή η παράμετρος αναλύεται στις εξής επιμέρους συνιστώσες:

- Απορρόφηση νερού
- Διαπερατότητα από υγρασία
- Όσμωση
- Ηλεκτροενδοόσμωση
- Διηλεκτρική αντοχή
- Αντοχή σε ιόντα αλάτων

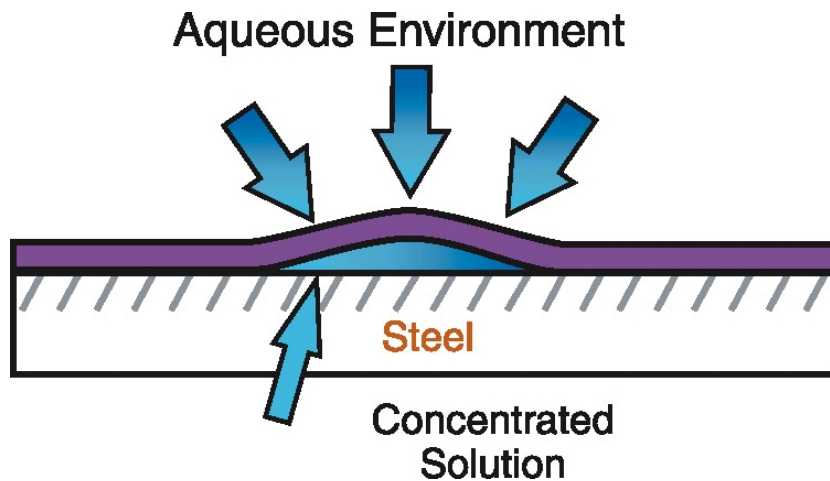
*Απορρόφηση νερού* – Μία εγγενής ιδιότητα των επικαλυπτικών είναι ότι περιέχουν υγρασία ακόμα και μετά τη στερεοποίησή τους, η οποία βρίσκεται σε ισορροπία με την υγρασία της ατμόσφαιρας. Στις δεξαμενές έρματος η υγρασία που εισέρχεται στην επικάλυψη περιέχει άλατα, με αποτέλεσμα τη συνεχή αύξηση της περιεκτικότητας αλάτων εντός της επικάλυψης, εξαιτίας των κύκλων εναλλαγής απάντλησης-πλήρωσης των δεξαμενών έρματος. Συνεπώς το επικαλυπτικό θα πρέπει να παρουσιάζει την ελάχιστη δυνατή απορρόφηση νερού.

*Διαπερατότητα από υγρασία* – Πρόκειται για τη μεταφορά υδρατμών μεταξύ των δυο πλευρών του επικαλυπτικού. Η διαφορά με την προηγούμενη περίπτωση είναι ότι εδώ η υγρασία μεταφέρεται από το περιβάλλον στην επιφάνεια του μετάλλου (το επικαλυπτικό λειτουργεί ως αγωγός υγρασίας) και όχι στο εσωτερικό του επικαλυπτικού (προκαλώντας του αύξηση βάρους). Η μονάδα μέτρησης είναι τα  $gr/m^2/24h$ . Οι μετρήσεις δεν αφορούν σε ατέλειες της επικάλυψης, δηλαδή φυσικών διόδων μεταφοράς υγρασίας, αλλά μόνο μεταφορά μέσω του συμπαγούς επικαλυπτικού (Εικόνα 3.1). Εάν το επικαλυπτικό έχει άριστη πρόσφυση, τότε δεν υπάρχει διαφορά στην πίεση των δύο πλευρών της στρώσης, άρα δε μεταφέρεται υγρασία. Εφόσον υπάρχει ελλιπής πρόσφυση και διαπεράσει υγρασία, με την αύξηση της θερμοκρασίας διαστέλλεται το ρευστό από την πλευρά του μετάλλου και δημιουργούνται φλύκταινες. Η μειωμένη διαπερατότητα θεωρείται προσόν για το επικαλυπτικό.



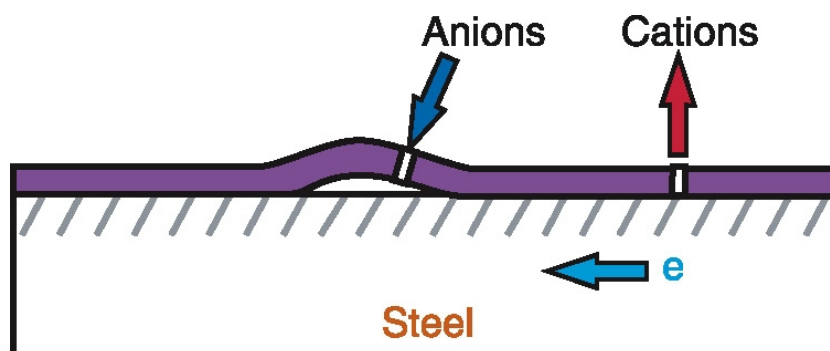
Εικόνα 3.1 – Η λειτουργία των μοριακών αλυσίδων του επικαλυπτικού για τη μείωση της διαπερατότητας [12]

*Όσμωση* – Το φαινόμενο της όσμωσης περιγράφεται ως η κίνηση ρευστού μέσω ημιδιαπερατής μεμβράνης, από αραιό διάλυμα προς πυκνό (Εικόνα 3.2). Στην περίπτωση των επικαλυπτικών για δεξαμενές, το φαινόμενο αυτό μπορεί να προέλθει, είτε από τον ελλιπή καθαρισμό της επιφάνειας πριν τη βαφή (ύπαρξη αλάτων), είτε από την εισχώρηση θαλασσινού νερού στη μεταλλική επιφάνεια. Το φαινόμενο διευρύνεται όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά πυκνότητας των εκατέρωθεν διαλυμάτων.



Εικόνα 3.2 – Το φαινόμενο της όσμωσης [12]

*Ηλεκτροενδόσμωση* – Πρόκειται για παρόμοια περίπτωση με την όσμωση, με τη διαφορά ότι, στην περίπτωση αυτή, η μετακίνηση του ρευστού γίνεται με ηλεκτρική διέγερση (διαφορά δυναμικού) και όχι χημική (διαφορά πυκνότητας διαλύματος). Η κίνηση του ρευστού γίνεται προς το πιο καθοδικό σώμα (μέταλλο) και το φαινόμενο εντείνεται όταν είναι εγκατεστημένη καθοδική προστασία. Το φαινόμενο, πάντως, προϋποθέτει την ύπαρξη ατελειών στην επιφάνεια, ώστε να δημιουργηθεί ροή ιόντων και να ενεργοποιηθεί η μεταφορά νερού (Εικόνα 3.3). Η ηλεκτροενδόσμωση παρατηρείται σε ελλειπώς συντηρημένα καθοδικά συστήματα δεξαμενών, όπου οι διαφορές δυναμικού ανά περιοχή είναι μεγάλες.

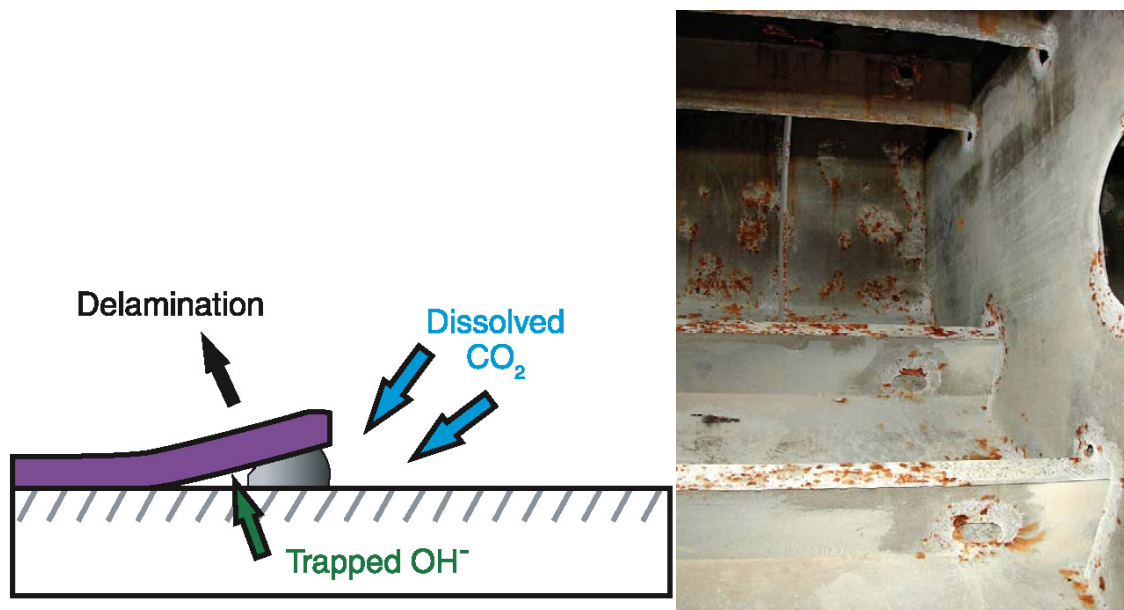


Εικόνα 3.3 – Το φαινόμενο της ηλεκτροενδόσμωσης [12]

*Διηλεκτρική αντοχή* – Είναι η ιδιότητα που επιτρέπει στο επικαλυπτικό να διακόπτει τη ροή ηλεκτρικού φορτίου. Η ιδιότητα λειτουργεί τόσο κατά το πάχος του επικαλυπτικού (ευεργετικά), όσο και στη γειτονική του μετάλλου περιοχή, εμποδίζοντας το καθοδικό ρεύμα (ανασταλτικά). Η διηλεκτρική αντοχή συνδέεται αντιστρόφως ανάλογα με την απορρόφηση νερού του επικαλυπτικού.

*Αντίσταση σε ιόντα αλάτων* – Εδώ, γίνεται αναφορά στην παρεμπόδιση των ιόντων αλάτων του περιβάλλοντος, να εισχωρήσουν στη στρώση (Εικόνα 3.4). Ένα επικαλυπτικό με πυκνή μοριακή δομή και υψηλό μοριακό βάρος, θεωρείται καταλληλότερο για τη χρήση αυτή. Τα φαινορικά επικαλυπτικά έχουν τη μεγαλύτερη αντίσταση, έπειτα βρίσκονται τα εποξειδικά, που επιτρέπουν μέρος της ροής ιόντων και τέλος τα αλκυδικά, τα οποία ενώ στην αρχή της ζωής τους είναι ανθεκτικά, αλλοιώνονται με το πέρασ του χρόνου και κρίνονται ανεπαρκή.





Εικόνα 3.4 – Ο μηχανισμός δημιουργίας επικαθήσεων αλάτων και η μετέπειτα όψη της επιφάνειας [12]

### 5.1.3 - Αντοχή στις περιβαλλοντικές συνθήκες

Με τον όρο αυτό, περιγράφονται τα φαινόμενα εναλλαγής θερμοκρασίας και υγρασίας στις δεξαμενές έρματος. Τα δύο αυτά φαινόμενα έχουν δριμεία επίδραση στις επικαλύψεις των δεξαμενών αυτών. Σχετικά με τις θερμοκρασιακές μεταβολές, η εναλλαγή αυτή αφαιρεί περισσότερο διαλυτή από το επικαλυπτικό, ο οποίος αντικαθίσταται εν μέρει από νερό και άλατα, μειώνοντας την ελαστικότητα του επικαλυπτικού. Η θερμοκρασία μπορεί να κυμανθεί από 0°C – 60+°C, στα ελάσματα οροφής των δεξαμενών. Η υγρασία, τις περισσότερες φορές παραμένει άνω του 85%, λόγω της μόνιμης παρουσίας νερού ακόμα και μετά την απάντληση της δεξαμενής.

### 5.1.4 - Αντοχή στη ρύπανση

Χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το αισθητικό μέρος, η αντοχή στη ρύπανση εμποδίζει τη συσσώρευση κλωριδίων και αλάτων στην επιφάνεια του επικαλυπτικού, μετά την απομάκρυνση του έρματος. Με τον τρόπο αυτό, μένοντας καθαρή η επιφάνεια, δυσχεραίνεται η διάβρωση.

### 5.1.5 - Αντοχή σε βακτήρια και μύκητες

Σε περιοχές όπου η ρύπανση είναι αναπόφευκτη (ελάσματα πυθμένα δεξαμενών), η αντοχή στα βακτήρια μειώνει τον κίνδυνο βιολογικής διάβρωσης. Τα επικαλυπτικά που δεν περιέχουν έλαια ή/και υδρογονάνθρακες ως συστατικά, είναι πιο ανθεκτικά σε βακτήρια και μύκητες. Αντίστοιχα, καλές επιδόσεις έχουν και τα υδατοδιάλυτα (*water borne*) επικαλυπτικά.

### 5.1.6 - Αντοχή στην καθοδική αποκόλληση

Η καθοδική αποκόλληση είναι συνυφασμένη με το φαινόμενο της ηλεκτροενδοσμούσης. Το επικαλυπτικό πρέπει να ανθίσταται στο ηλεκτρικό δυναμικό που δημιουργείται από την εγκατεστημένη καθοδική προστασία. Τα περισσότερα αποτρέπουν δυναμικό μέχρι 1.0 Volt, όμως όταν το δυναμικό ξεπεράσει την τιμή του 1.1 Volt, διευκολύνονται οι συνθήκες για καθοδική αποκόλληση. Παράμετροι όπως το πάχος του

επικαλυπτικού, η διηλεκτρική αντοχή και η αντοχή στην υγρασία, σαφώς συνηγορούν στο τελικό αποτέλεσμα. Τα προηγμένα εποξειδικά και οι πολυουρεθάνες με 100% στερεά, έχουν δείξει πολύ καλά αποτελέσματα κατόπιν συνεργασίας τους με καθοδική προστασία.

### 5.1.7 - Αντοχή στο χρόνο

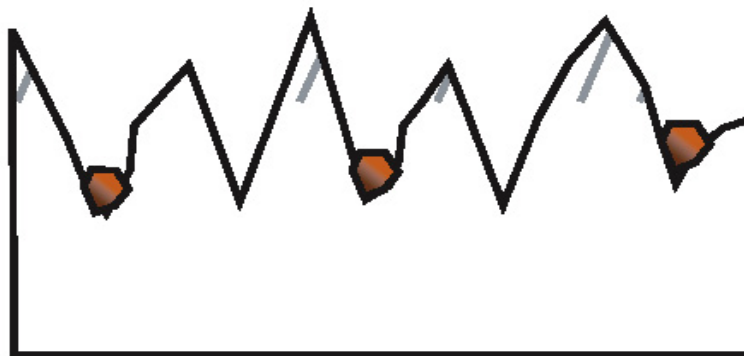
Δεδομένου ότι οι επικαλύψεις στις δεξαμενές έρματος είναι μια μακροχρόνια επένδυση, περιμένει κανείς την καλή λειτουργία τους για πολλά χρόνια (άνω των 10 ετών). Το επικαλυπτικό, για να μπορέσει να ανταπεξέλθει, πρέπει να παρουσιάζει καλές επιδόσεις σε καθεμιά από τις αναφερθείσες ιδιότητες. Εάν δε μπορεί να καλύψει έστω και μια από τις προηγούμενες ιδιότητες, η πρώιμη φθορά είναι αναπόφευκτη.

### 5.1.8 - Κατάλληλος χρωματισμός

Σχετικά με το χρωματισμό, πρέπει να σημειωθεί πως το χρώμα της τελικής στρώσης πρέπει να είναι ανοιχτό, ώστε η επιθεώρηση (που γίνεται σε σκοτεινό χώρο) να διευκολύνεται. Απαραίτητο χαρακτηριστικό είναι η εναλλαγή των χρωμάτων στις στρώσεις του συστήματος βαφής κατά την εφαρμογή, ώστε να διευκολύνεται ο έλεγχος για την επαρκή κάλυψη της επιφάνειας.

### 5.1.9 - Καλή πρόσφυση στη μεταλλική επιφάνεια

Η πρόσφυση συνδέεται άμεσα με την καλή λειτουργία του επικαλυπτικού, αποτρέποντας φαινόμενα όπως η όσμωση, η ηλεκτροενδοόσμωση και η καθοδική αποκόλληση. Τα εποξειδικά έχουν συγκεκριμένα συστατικά (ελεύθερες χημικές ρίζες, εντός του μορίου) που δημιουργούν ισχυρή σύνδεση με τη μεταλλική επιφάνεια. Για να μπορέσει να προσκολληθεί το επικαλυπτικό στη μεταλλική επιφάνεια, πρέπει να καλύπτονται δύο απαιτήσεις προετοιμασίας. Αυτές είναι, η καθαρότητα και η τραχύτητα της προς βαφή επιφάνειας. Τα πειράματα υποδεικνύουν ότι ένα επικαλυπτικό, όσο καλή πρόσφυση κι αν παρουσιάζει, αστοχεί γρήγορα όταν η καθαρότητα και η τραχύτητα δεν είναι επαρκείς (Εικόνα 3.5).

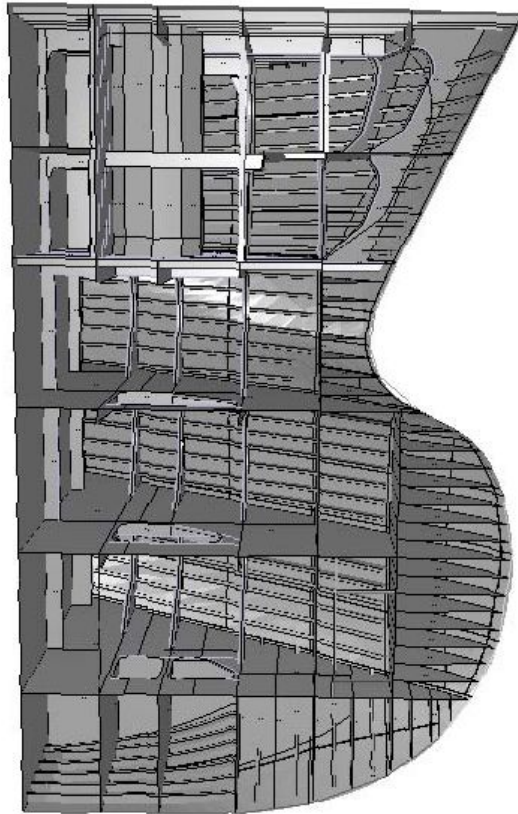


Εικόνα 3.5 – Η συσσώρευση ακαθαρσιών, πριν την επικάλυψη [12]

Η αντίσταση στην υποκοπή (*undercutting*) είναι μια σαφής ένδειξη καλής πρόσφυσης. Ο όρος αναφέρεται στη διακοπή σύνδεσης επικαλυπτικού-μέταλλου, λόγω διάβρωσης. Τα οργανικά επικαλυπτικά παρουσιάζουν τάση για υποκοπή, εξαιτίας της μεταβαλλόμενης πρόσφυσης στη μεταλλική επιφάνεια. Αυτός είναι ο λόγος που εφαρμόζονται πάνω από στρώση ανόργανων επικαλυπτικών, όπως αυτά του ψευδαργύρου, ώστε να μειωθεί η εμφάνιση υποκοπής. Τα επικαλυπτικά ψευδαργύρου, είναι γνωστό ότι έχουν άριστη πρόσφυση στα μέταλλα.

### 5.1.10 - Εύκολη εφαρμογή

Η ευκολία εφαρμογής είναι ιδιαίτερα σημαντική στα επικαλυπτικά για δεξαμενές, δεδομένου ότι τόσο η πολυπλοκότητα της κατασκευής (ενισχυτικά και συγκολλήσεις), όσο και οι συνθήκες εφαρμογής (σκοτάδι, υγρασία και θερμοκρασιακές μεταβολές), ωφελούν την ανάπτυξη και διάδοση εστιών διάβρωσης (Εικόνα 3.6). Όσο προηγμένα και «εύκολα στη χρήση» και να είναι τα σύγχρονα οργανικά επικαλυπτικά, η τεχνική κατάρτιση του συνεργείου βαφής παραμένει ο κύριος παράγων της σωστής εφαρμογής αυτών.



Εικόνα 3.6 – Η πολυπλοκότητα της γεωμετρίας κατασκευής [12]

## 5.2 - Αίτια αστοχίας επικαλυπτικών [56], [57]

### 5.2.1 - Εισαγωγή

Οι λόγοι που τα οργανικά επικαλυπτικά αστοχούν, εκτός από τη λανθασμένη εφαρμογή, έχουν να κάνουν κυρίως με τη μείωση της ελαστικότητάς τους. Οι αιτίες μείωσης της ελαστικότητας, είναι οι εξής:

- Εσωτερική δομή της επικάλυψης
- Θερμοκρασιακή εναλλαγή και μεταβολή του συστήματος ελάσματος-επικαλυπτικού
- Μεταβολή υγρασίας στην επιφάνεια του επικαλυπτικού

Ένας ακόμα λόγος σχετικός με την αστοχία του επικαλυπτικού είναι:

- Οι ελαστικές παραμορφώσεις των ελασμάτων λόγω μηχανικής κόπωσης, από τις κινήσεις του πλοίου

### 5.2.2 - Εσωτερική δομή επικάλυψης

Σχετική με το θέμα αυτό είναι η απαίτηση αύξησης του πάχους επικάλυψης για βελτίωση της αντιδιαβρωτικής προστασίας. Εφόσον τα εποξειδικά επικαλυπτικά έχουν μικρή ελαστικότητα, της τάξης του 5%, η υπερβολική αύξηση του πάχους στρώσης εγκυμονεί κινδύνους για την ακεραιότητα του συστήματος βαφής. Όσον αφορά τη σύσταση του επικαλυπτικού, είναι λάθος να θεωρείται το επικαλυπτικό αδρανές μετά την αρχική φάση στερεοποίησής του. Η απώλεια διαλυτών είναι μια μακροχρόνια χημική διαδικασία, διάρκειας πολλών ετών. Στις δεδομένες συνθήκες των δεξαμενών παρατηρείται αντικατάσταση των μορίων διαλύτη από μόρια νερού. Τυπικές μορφές αστοχίας στην αρχική φάση στερεοποίησης του επικαλυπτικού είναι οι φλύκταινες ενώ μακροπρόθεσμα, οι ρωγματώσεις.

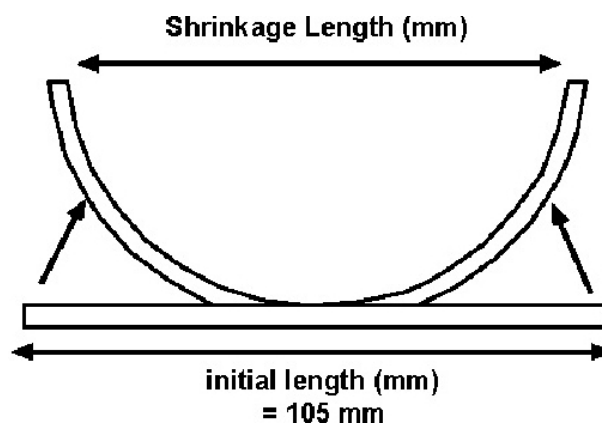
Πίνακας 5.1 – Επίδραση θερμοκρασίας εφαρμογής βαφής στην απορρόφηση νερού [57]

Θερμοκρασία του προς βαφή ελάσματος	Μεταβολή βάρους (% κ.β.), 24 ώρες μετά τη βαφή	Μεταβολή βάρους από ολική διαβροχή του επικαλυπτικού (% κ.β.)	Ποσοστό διαλύτη που απομακρύνεται (% κ.β.)	Ποσοστό νερού που απορροφάται (% κ.β.)
Εφαρμογή στους 5°C	-0.35	-3.35	4.93	1.57
Εφαρμογή στους 23°C	0.1	-1.59	3.12	1.53

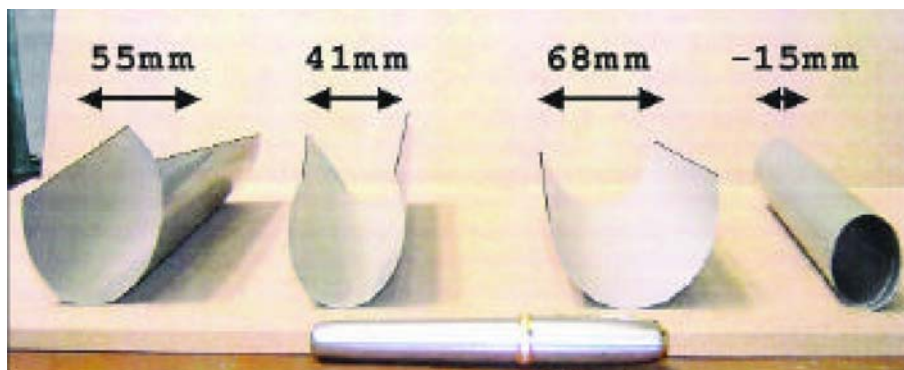
Πίνακας 5.2 – Σύγκριση απώλειας όγκου, απώλειας βάρους και πυκνότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας εφαρμογής του επικαλυπτικού [57]

Πυκνότητα επικαλυπτικού	1.15
Πυκνότητα διαλύτη	0.9
Ποσοστό απώλειας διαλυτών (5° C, % κ.β.)	3
Ποσοστό απώλειας διαλυτών (23° C, % κ.β.)	5
Ποσοστό απώλειας διαλυτών (5° C, % κ.ο.)	4
Ποσοστό απώλειας διαλυτών (23° C, % κ.ο.)	7

Από την εκτέλεση πειράματος (σχετικά με την απώλεια διαλύτη επικαλυπτικού, σε διάστημα 24 ωρών μετά την εφαρμογή, συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, κατά την εφαρμογή), προέκυψαν οι Πίνακες 5.1 και 5.2. Συγκεκριμένα, ο Πίνακας 5.1 δείχνει μόνο την απώλεια βάρους λόγω της εξάτμισης των διαλυτών, ενώ ο Πίνακας 5.2 επιχειρεί μια συσχέτιση απώλειας βάρους με απώλεια όγκου, μιας και η απώλεια όγκου ευθύνεται για τη μείωση της μηχανικής αντοχής του συστήματος του επικαλυπτικού. Οι πίνακες αυτοί δείχνουν ότι η απώλεια διαλυτών στη θερμοκρασία των 23°C είναι κατά 60% μεγαλύτερη από ότι στους 5°C, με αποτέλεσμα τη δημιουργία παραμενουσών τάσεων, όπως φαίνεται στις ακόλουθες φωτογραφίες, που προέρχονται από σχετικό πείραμα (Εικόνα 3.7).



\*Βαθμός συρρίκνωσης (%) = (αρχικό μήκος – συρρικνωμένο μήκος)/αρχικό



Εικόνα 3.7 – Συρρίκνωση στρώσης επικαλυπτικού, λόγω μεγάλης απώλειας διαλυτών [57]

Η συρρίκνωση είναι έντονο πρόβλημα στα εποξειδικά επικαλυπτικά διότι μετά την αρχική στερεοποίηση του επικαλυπτικού (*gelation*), τα κενά στη μικροδομή που αφήνει ο εξεαμιζόμενος διαλύτης δεν αναπληρώνονται επαρκώς. Η θερμοσκληρυνόμενη φύση των εποξειδικών σχηματίζει δεσμούς με τις γειτονικές μοριακές αλυσίδες κατά τη στερεοποίηση και εμποδίζει τη διοχέτευση των πληρωτικών ουσιών του επικαλυπτικού προς τα κενά αυτά. Όσο γρηγορότερα γίνει η εξάτμιση των διαλυτών, τόσο συντομότερα αναπτύσσονται εσωτερικές τάσεις στο σύστημα βαφής. Η εξάτμιση του διαλύτη εξαρτάται από τα εξής:

- Θερμοκρασία επιφάνειας προς βαφή
- Πάχος στρώσης
- Πίεση ατμοποίησης του διαλύτη
- Περιεκτικότητα διαλύτη στο επικαλυπτικό

Ένα παράδειγμα που μπορεί να δοθεί, προκειμένου να κατανοηθεί η επίδραση της θερμοκρασίας στην ικανότητα εξάτμισης των διαλυτών, αφορά στο ξυλένιο, τυπικό διαλύτη στα εποξειδικά, το οποίο μεταξύ των θερμοκρασιών 15° C - 5° C, μειώνει την ικανότητα εξαέρωσής του κατά 300%.

### 5.2.3 - Θερμοκρασιακή εναλλαγή

Η θερμοκρασιακή εναλλαγή, σε κάθε περίπτωση, μειώνει την αντοχή της επικάλυψης. Ειδικότερα, με τη μείωση της θερμοκρασίας μειώνεται ο όγκος οπότε αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις, εξαιτίας της διαφοράς του θερμικού συντελεστή μεταξύ επικάλυψης και υποστρώματος (χάλυβα).

Αντίστροφα, η αύξηση της θερμοκρασίας σε άμορφα υλικά όπως οι επικαλύψεις, αυξάνει την κινητική ενέργεια των μορίων με αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου της επικάλυψης, οδηγώντας σε διαστολή του και ανάπτυξη θλιπτικών τάσεων.

### 5.2.4 - Μεταβολή υγρασίας

Η εναλλαγή υγρασίας στις συνθήκες λειτουργίας της δεξαμενής έρματος, συμπεριλαμβανομένης της πλήρους διαβροχής/βύθισης σε θαλασσινό νερό αυξάνει το ρυθμό εξάτμισης του διαλύτη σε σχέση με το ρυθμό εξάτμισης σε σταθερές συνθήκες, φαινόμενο που οδηγεί σε πρόιμη ψαθυροποίηση. Οι δημιουργούμενες τάσεις έχουν την ονομασία «κυκλικές, υγροσκοπικές τάσεις» (*cyclic hygroscopic stresses*). Από πειράματα (τροποποιημένο πρότυπο ASTM D570), παρατηρήθηκε ότι με την κυκλική εναλλαγή υγρασίας και θερμοκρασίας (διαβροχή και ξήρανση) για ένα συγκεκριμένο επικαλυπτικό, ο ρυθμός εξάτμισης του διαλύτη αυξάνεται κατά 1,5% κ.β. ή 2% κ.ο., ποσοστό που προστίθεται στην αρχικά αναμενόμενη απώλεια διαλύτη.

### 5.2.5 - Ελαστικές παραμορφώσεις κατασκευής

Το πλοίο λειτουργεί στο θαλάσσιο περιβάλλον, το οποίο λόγω ύπαρξης κυματισμών καταπονεί την κατασκευή κυκλικά. Η κατάσταση επιβαρύνεται περισσότερο με την υιοθέτηση χρήσης χάλυβα υψηλής αντοχής, όπου τα ελάσματα είναι λεπτότερα και το εύρος παραμορφώσεων μεγαλύτερο. Οι περιοχές που γίνεται συσσώρευση τάσεων, όπως γωνίες, ακμές και συγκολλήσεις, μετατρέπουν τις συνθήκες φόρτισης από δισδιάστατες (πλάκες) σε τρισδιάστατες (κελύφη). Οι απαιτήσεις για ελαστική παραμόρφωση, από πλευράς επικαλυπτικών, δεν μπορούν να ικανοποιηθούν από τα σημερινά εποξειδικά επικαλυπτικά, με αποτέλεσμα τις συχνές αστοχίες αυτών (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8 – Εμφάνιση τοπικής διάβρωσης σε περιοχές που καταπονούνται από κόπωση [12]

### 5.2.6 - Συμπεράσματα

Από τα αίτια που αναφέρθηκαν, αυτό με τη μεγαλύτερη και πιο άμεση επίδραση είναι οι παραμορφώσεις της μεταλλικής κατασκευής. Όμως, και τα υπόλοιπα είναι σημαντικά, καθώς εντείνουν το φαινόμενο της πρόωρης ρωγμάτωσης του επικαλυπτικού.

### 5.3 - Συνθήκες περιοχές αστοχίας επικαλυπτικών στις δεξαμενές έρματος [55], [57]

Οι περιοχές των δεξαμενών έρματος που παρουσιάζουν πρόωμη αστοχία είναι οι εξής:

- Γωνίες και ακμές ελασμάτων, στις οποίες οι παραμορφώσεις διαδίδονται πέραν των κάθετων επιπέδων και στη διαγώνια διεύθυνση (κατά τη διεύθυνση του πάχους του επικαλυπτικού)
- Μέσο εσωτερικής πλευράς δεξαμενών, γειτονικής θερμαινόμενου φορτίου (για δεξαμενόπλοια), λόγω κύκλων εναλλαγής θερμότητας, με αποτέλεσμα την ταχύτερη απομάκρυνση των διαλυτών
- Μέσο εξωτερικής πλευράς δεξαμενών, λόγω κύκλων εναλλαγής θερμότητας, με αποτέλεσμα την ταχύτερη απομάκρυνση των διαλυτών (εντονότερο φαινόμενο από την προηγούμενη περίπτωση)

- Άνω έλασμα διπύθμενων, γειτονικών θερμαινόμενου φορτίου (για δεξαμενόπλοια), παρόμοια με τις εσωτερικές πλευρές των δεξαμενών έρματος. Συνήθως, οι διαλύτες αντικαθίστανται από νερό.
- Κάτω έλασμα διπύθμενων (περιοχή που πάντα έχει υγρασία), το επικαλυπτικό συρρικνώνεται από την αντικατάσταση διαλυτών με νερό
- Άνω εσωτερικό μέρος δεξαμενής, με υψηλά ποσοστά υγρασίας και θερμοκρασίας και μειωμένη κάλυψη από νερό. Εδώ οι διαλύτες διαφεύγουν γρηγορότερα.
- Άνω εξωτερικό μέρος δεξαμενής, με υψηλά ποσοστά υγρασίας και θερμοκρασίας και μειωμένη κάλυψη από νερό (Εικόνα 3.9). Εδώ οι διαλύτες διαφεύγουν γρηγορότερα (εντονότερο φαινόμενο από την προηγούμενη περίπτωση, λόγω επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας).



Εικόνα 3.9 – Ρωγμάτωση επικαλυπτικού, από συνδυασμό υψηλού πάχους στρώσης και απώλειας διαλύτη, εσωτερικά της οροφής δεξαμενής έρματος [12]

#### 5.4 – Συσχέτιση εργασιών ναυπηγείου με συγκεκριμένες αστοχίες επικαλυπτικών [28]

Η ναυπήγηση ενός πλοίου, διαιρούμενη στα επιμέρους στάδια κατασκευής, οδηγεί σε διαφορετικές μορφές αστοχίας. Έτσι λοιπόν, από την προμήθεια χάλυβα μέχρι την τελική εφαρμογή επικαλύψεων, εκτός κλίνης, οι αστοχίες μπορούν να προέλθουν από πλήθος αιτιών, όπως είναι ο ανθρώπινος παράγοντας και ο ακατάλληλος εξοπλισμός. Το εύρος των παραγόντων αστοχίας παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.3:



Πίνακας 5.3 - Αιτίες αστοχιών επικαλυπτικών [28]

Διαδικασία	Προετοιμασία Επιφάνειας	Εφαρμογή Επικαλυπτικού	Αιτία Αστοχίας
Χάλυβας σε αποθήκευση	-	-	Αστάθεια στην ποιότητα του χάλυβα από τον κατασκευαστή
Επίστρωση με αστάρι	Αυτοματοποιημένη περιστροφική τριβή	Επίστρωση ασταριού	Χαμηλό DFT, κακός χειρισμός χάλυβα, ελλιπής ξήρανση, κακό προφίλ επιφάνειας
Κοπή χάλυβα	-	-	Καψίματα, χειρισμός χάλυβα, μαρκαρίσματα, βύθιση στο νερό, κατάσταση ακμών
Συναρμολόγηση λαμαρινών	Συρματόβουρτσα και τριβείο	Επίστρωση ασταριού προκατασκευής	Συνήθως κακή σύνδεση των δύο ασταριών
Συναρμολόγηση βασικών κομματιών	-	-	Ζημιές από θερμές εργασίες, αναθυμιάσεις, χειρισμός και εξομάλυνση χάλυβα
Βαφή βασικών κομματιών	Μηχανικός καθαρισμός, μερική ή ολική αμμοβολή	Επίστρωση βασικών στρώσεων επικαλυπτικού με λέπτυνση του πάχους στρώσης στις ακμές	Χαμηλό DFT, υψηλό DFT, κενά, σκόνη, ελλιπής ξήρανση, ελλιπής εξοπλισμός, μεταφορά
Συναρμολόγηση μπλοκ	-	-	Ζημιές από θερμές εργασίες, αναθυμιάσεις, χειρισμός και εξομάλυνση χάλυβα
Βαφή μπλοκ	Μηχανικός καθαρισμός, μερική ή ολική αμμοβολή	Μερική ή ολική επίστρωση με λέπτυνση του πάχους στρώσης στις ακμές	Χαμηλό DFT, υψηλό DFT, κενά, σκόνη, ελλιπής ξήρανση, ελλιπής εξοπλισμός, μεταφορά
Ένωση τμημάτων πλοίου	-	-	Χειρισμός κατά την ανύψωση, θερμές εργασίες, εξομάλυνση
Βαφή στην κλίνη	Μηχανικός καθαρισμός, μερική ή ολική αμμοβολή	Μερική ή ολική επίστρωση, προετοιμασία διακοσμητικών επιστρώσεων	Ζημιές από θερμές εργασίες στις τοποθετήσεις εξαρτημάτων, απόξεση, μεταφορά, πρόσβαση
Βαφή εκτός κλίνης	Μηχανικός καθαρισμός, μερική ή ολική αμμοβολή	Εφαρμογή διακοσμητικών επιστρώσεων, ολοκλήρωση επιδιορθώσεων στα υπόλοιπα	Ζημιές από θερμές εργασίες, αστοχίες από κακή εφαρμογή επικαλυπτικών και ελλιπή ξήρανση

### 5.5 - Χρονικά στάδια εμφάνισης αστοχιών επικαλυπτικών [12], [26]

Εξετάζοντας επιμέρους τη διαδικασία επίστρωσης μιας μεταλλικής επιφάνειας με ένα προστατευτικό σύστημα βαφής, αστοχίες μπορούν να προκύψουν:

- A. Κατά την εφαρμογή του επικαλυπτικού
- B. Στο χρονικό διάστημα στερεοποίησης/πολυμερισμού του επικαλυπτικού
- Γ. Κάποια στιγμή κατά τη λειτουργία της κατασκευής

Στην κατηγοριοποίηση των αστοχιών θα γίνει χρήση του χρονικού σταδίου εμφάνισης τους, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα:

#### 5.5.1 - A. Κατά την εφαρμογή

1. Εφαρμογή υπερβολικής ποσότητας επικαλυπτικού σε αλληλεπικαλυπτόμενες στρώσεις (*overlapping*) ή ανεπαρκές διάστημα στερεοποίησης μεταξύ των στρώσεων (Εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.10 – Παχιές στρώσεις επικαλυπτικού [26]

2. Παρουσία ακαθαρσιών και σκόνης στην προς βαφή επιφάνεια, τα οποία αναμιγνύονται με το επικαλυπτικό προερχόμενα κυρίως από την αμμοβολή πριν την επίχριση, αποτελούν σημεία πιθανής διάβρωσης (Εικόνα 3.11). Μέθοδοι καθαρισμού των ακαθαρσιών είναι η χειρονακτική και η μηχανική τριβή.



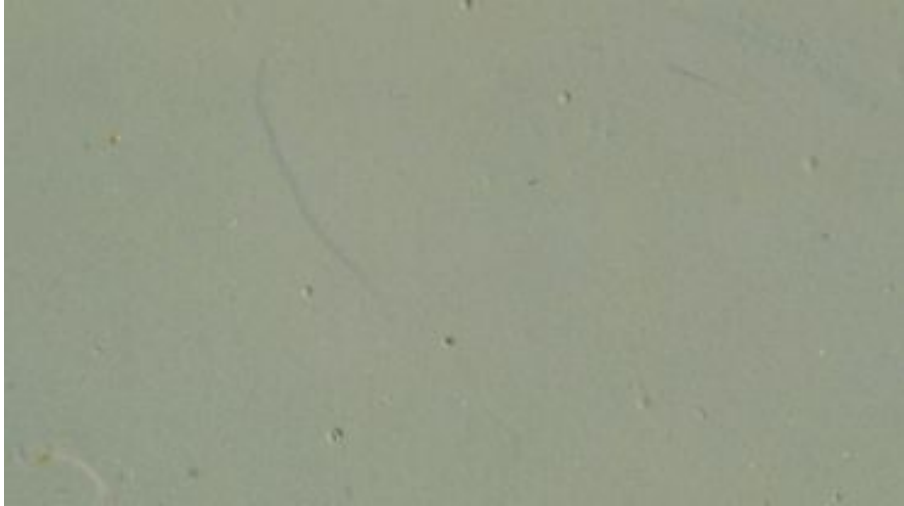
Εικόνα 3.11 – Ακαθαρσίες στην επιφάνεια [26]

3. Αδυναμία πρόσφυσης του επικαλυπτικού, λόγω υπέρβασης του μέγιστου πάχους υγρής στρώσης (*WFT*) ή προσθήκης περισσότερου διαλύτη ή ψεκασμού πολύ κοντά στην επιφάνεια (Εικόνα 3.12). Είναι διαφορετική περίπτωση από την πρώτη γιατί δεν έχουμε κατάρρευση της αρχικής στρώσης. Έχει τη μορφή «κουρτινών» στην επιφάνεια και διορθώνεται σκουπίζοντάς το στην υγρή κατάσταση και με μηχανική τριβή, αν στερεοποιηθεί.



Εικόνα 3.12 – «Κρέμασμα» επικαλυπτικού [26]

4. Παρουσία πόρων στο επικαλυπτικό (Εικόνα 3.13). Δημιουργούνται από: α) υπερβολική πίεση κατά τον ψεκασμό, β) ισχυρά ρεύματα αέρα στην περιοχή (εξαερισμός), γ) μεγάλο πάχος στρώσης, δ) μεγάλη απόσταση κατά τον ψεκασμό. Διορθώνεται με τριβή και επανάληψη του ψεκασμού.



Εικόνα 3.13 – Πόροι στο επικαλυπτικό [26]

5. Ελλιπής επικάλυψη ή μικρό πάχος στρώσης. Προκαλείται από λάθος ψεκασμό, σε συνδυασμό με ελλιπή επίβλεψη (Εικόνα 3.14). Διορθώνεται με εφαρμογή νέας στρώσης, στα χρονικά πλαίσια που ορίζει ο κατασκευαστής.



Εικόνα 3.14– Το αποτέλεσμα ελλιπούς πάχους στρώσης στην κατασκευή [26]

6. Υπερβολική επικάλυψη, πέραν του ορίου πάχους ξηρής στρώσης (*DFT*). Δημιουργεί σπατάλη υλικού και συχνά μειώνει τις μηχανικές ιδιότητες του επικαλυπτικού (Εικόνα 3.15). Επίσης δημιουργούνται κενά εσωτερικά της στρώσης και πιθανόν εκεί να συγκρατηθεί διαλύτης.



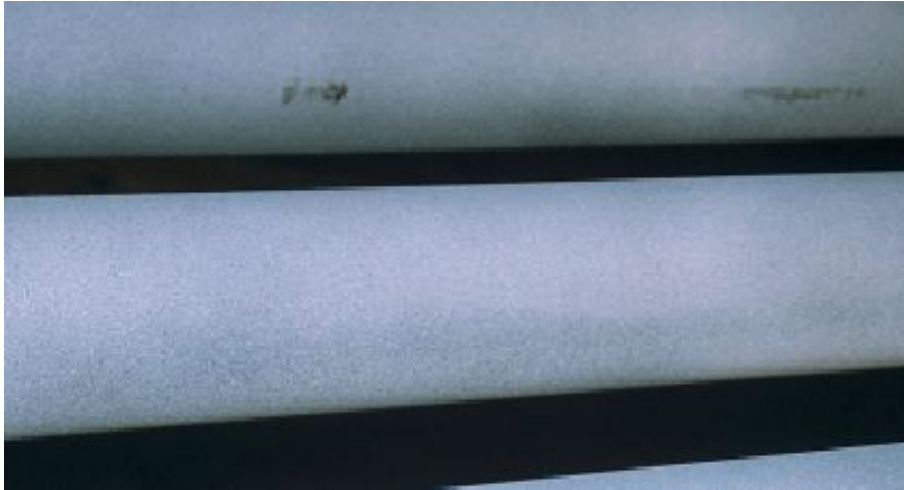
Εικόνα 3.15 – Μεγάλο τελικό πάχος επικαλυπτικού [26]

7. Κενά στην επικάλυψη ορίζονται περιοχές που είτε δεν έχουν βαφεί καθόλου, είτε το πάχος της επικάλυψης είναι ανεπαρκές. Συνήθεις περιοχές είναι όσες αδυνατούν να βαφούν με ψεκασμό λόγω πρόσβασης ή με απότομες γεωμετρίες (ενισχυτικά, συγκολλήσεις, ακμές κ.τ.λ.). Συνιστάται η εφαρμογή στρώσεων μικρού πλάτους (*stripe coat*) με πινέλο, πριν την τελική επικάλυψη με ψεκασμό (Εικόνα 3.16). Πρέπει να τονιστεί ότι, μεγάλο πάχος στρώσης δε σημαίνει καλύτερη προστασία από τη διάβρωση.



Εικόνα 3.16 – Τεχνική μερικής επικάλυψης με λωρίδες (*stripe-coats*) [26]

8. Υπερβολικός ή ξηρός ψεκασμός. Πρόκειται για περιπτώσεις κακής εφαρμογής ή λάθος ρύθμισης του πιστολιού ψεκασμού. Η επίστρωση έχει υφή υαλόχαρτου με αισθητή ασυνέχεια στη στρώση (Εικόνα 3.17). Δυσμενείς παράμετροι είναι η μεγάλη απόσταση ψεκασμού, η τοξοειδής ή ασταθής κίνηση του πιστολιού, η πίεση ψεκασμού, η υψηλή θερμοκρασία και τα ρεύματα αέρα. Εάν μείνει η στρώση ή καλυφθεί από άλλη, δημιουργούνται εστίες ανάπτυξης διάβρωσης. Χρειάζεται καθαρισμός/απόξεση και επανάληψη της διαδικασίας επίστρωσης.



Εικόνα 3.17 – Αστοχία ξηρού ψεκασμού [26]

#### 5.5.2 - Β. Κατά τη στερεοποίηση/πολυμερισμό

Ρυτίδωση στρώσης. Προκαλείται όταν επικαλυπτικά αλκυδικής ή ελαιώδους βάσης εφαρμοστούν σε στρώσεις μεγάλου πάχους (Εικόνα 3.18). Ενώ η εξωτερική στρώση στερεοποιείται, η ενδότερη συγκρατείται νωπή.

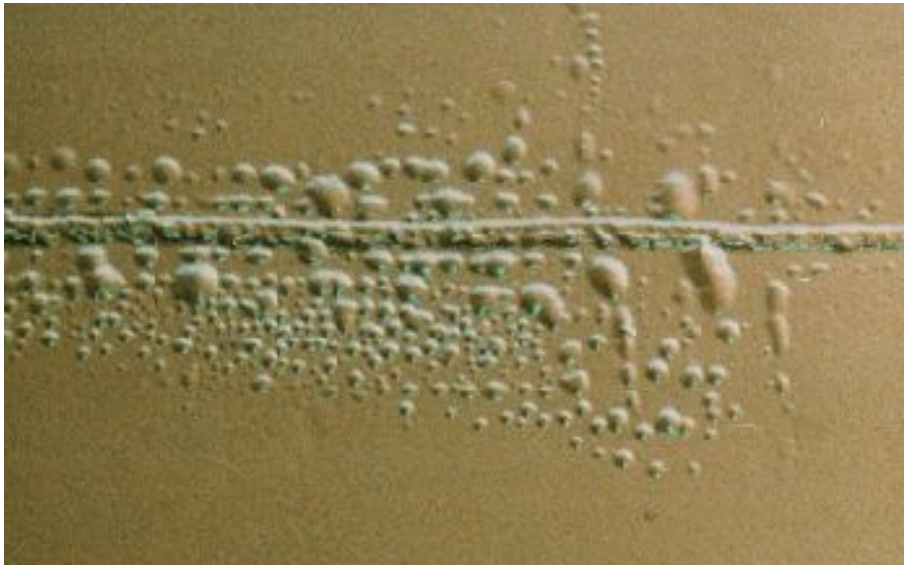


Εικόνα 3.18 – Ρυτίδωση στρώσης [26]

### 5.5.3 - Γ. Κατά τη λειτουργία της κατασκευής

Είναι σημαντικό να συλλέγονται όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία για τις συνθήκες αστοχίας του επικαλυπτικού, σε κατασκευή εν λειτουργία. Τα δεδομένα πρέπει να φτάνουν πίσω, μέχρι τότε που το επικαλυπτικό εφαρμόστηκε στην επιφάνεια. Τέτοια στοιχεία είναι:

- Οι προδιαγραφές του επικαλυπτικού
  - Οι αναφορές επιθεώρησης πριν την εφαρμογή
  - Το ημερολόγιο της εφαρμογής και άλλες σχετικές αναφορές
  - Οι συνθήκες εφαρμογής του συστήματος επικάλυψης
  - Η πιστοποίηση γνώσεων των τεχνιτών επίστρωσης
1. Φλύκταινες (*Blistering*). Είναι η πιο συνήθης μορφή αστοχίας, σχετική με την πρόσφυση του επικαλυπτικού. Οι φλύκταινες μπορούν να εσωκλείουν υγρό ή αέρα και είναι διαφόρων μεγεθών με ημισφαιρικό σχήμα (Εικόνα 3.19). Οι δύο πιο κοινές περιπτώσεις είναι να σχηματιστούν μεταξύ των στρώσεων του επικαλυπτικού ή μεταξύ επικαλυπτικού και προς βαφή μεταλλικής επιφάνειας.



Εικόνα 3.19 – Φλύκταινες σε επικαλυπτικό [26]

2. Ξεφλούδισμα (*Flaking*). Είναι επίσης σχετικό με την ελλιπή πρόσφυση στην προς βαφή επιφάνεια και συνήθως προκαλείται από ακαθαρσίες στην επιφάνεια πριν τη βαφή, από υπερβολικό χρόνο στερεοποίησης της προηγούμενης στρώσης επικαλυπτικού, καθώς και από γήρανση του επικαλυπτικού. Το ελάττωμα αυτό δεν προκαλείται από αστοχία κατά την εφαρμογή (Εικόνα 3.20).



Εικόνα 3.20 – Ξεφλούδισμα επικαλυπτικού [26]

3. Ρωγμάτωση (*Cracking*). Συνήθεις αιτίες γι' αυτήν την αστοχία είναι η πολύ γρήγορη στερεοποίηση και η γήρανση του επικαλυπτικού. Η ρωγμάτωση μπορεί να είναι μερικής (*Checking*) ή πλήρους διείσδυσης (*Cracking*), ακόμα και με μορφή «ξηραμένης λάσπης» (*Mud-Cracking*), όπως φαίνεται στην ακόλουθη φωτογραφία (Εικόνα 3.21).



Εικόνα 3.21 – Ρωγμάτωση μορφής «ξηραμένης λάσπης» [26]



Πέραν των προηγούμενων μορφών αστοχίας υπάρχουν και άλλες, λιγότερο συχνές (Εικόνα 3.22). Στην περίπτωση των ναυπηγικών κατασκευών, είναι σημαντικό να ανιχνεύονται έγκαιρα, ώστε να ελαχιστοποιείται η επέκτασή τους. Από τα παραπάνω στοιχεία καταδεικνύεται η σημασία της σωστής επιλογής συστήματος βαφής και ο σωστός τρόπος επίστρωσης της μεταλλικής κατασκευής.



Εικόνα 3.22 – Ανεπαρκής χρόνος στερεοποίησης, πριν την πλύση (επάνω) και αστοχία ψαθυρού επικαλυπτικού λόγω κρούσης από την άλλη πλευρά (κάτω) [12]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Οργάνωση ναυπηγείου για τις επικαλύψεις

### 6.1 - Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία παράθεση των προβλημάτων διαχείρισης της διαδικασίας επίστρωσης της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου. Λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν οι δεξαμενές έρματος, θα παρουσιαστεί το οικονομικό θέμα κυρίως από την πλευρά του ναυπηγείου (Εικόνα 6.1). Η διαδικασία επικάλυψης μπορεί να διαιρεθεί χρονικά σε δύο στάδια:

- Δραστηριότητες πριν την παραγωγή
- Δραστηριότητες κατά την παραγωγή



Εικόνα 6.1 - Η μεγάλη πολυπλοκότητα της κατασκευής επιβάλλει τη σωστή οργάνωση του ναυπηγείου [51]

## 6.2 - Δραστηριότητες πριν την παραγωγή [5], [28], [51]

Το αρχικό κόστος αγοράς των επικαλυπτικών είναι συνήθως μικρό σε σχέση με το συνολικό κόστος ναυπήγησης και συχνά δίνεται λίγη σημασία σ' αυτό το στάδιο. Ενδεικτικά αναφέρονται τα ακόλουθα ποσοστά επί του συνολικού κεφαλαίου:

- |  |     |
|--|-----|
| • Κόστος υλικών επικάλυψης σε σχέση με το κόστος κατασκευής του πλοίου | 1%  |
| • Κόστος εφαρμογής της επικάλυψης σε σχέση με το κόστος του πλοίου     | 7%  |
| • Εργατώρες για τα επικαλυπτικά σε σχέση με τις συνολικές              | 20% |
| • Εργατώρες διόρθωσης των επικαλύψεων κατά τη φάση της ναυπήγησης      | 60% |

Με βάση τα παραπάνω φαίνεται ότι η διαδικασία επίστρωσης κάθε άλλο παρά πρέπει να αμελείται καθώς πολύ συχνά το αρχικό κόστος διογκώνεται. Επίσης, ενώ συνεχώς υπάρχει εξέλιξη στην αυτοματοποίηση των εργασιών της μεταλλικής κατασκευής, οι μέθοδοι για την επίστρωση εξελίσσονται με πολύ βραδύτερους ρυθμούς. Στις δραστηριότητες πριν την παραγωγή περιλαμβάνονται τα εξής:

- Εκτίμηση απαιτούμενου κεφαλαίου
- Ακριβής εκτίμηση κόστους
- Στρατηγική διαδικασίας επίστρωσης
- Σχεδιασμός – Οργάνωση
- Αγορά Επικαλυπτικών
- Έλεγχος Αποθεμάτων
- Υγιεινή και ασφάλεια
- Περιβαλλοντική προστασία και διαχείριση
- Χρήση υποεργολάβων

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται αναλυτικά οι παραπάνω δραστηριότητες.

### 6.2.1 - Εκτίμηση απαιτούμενου κεφαλαίου

Το ναυπηγείο οφείλει να δημιουργήσει μια βάση δεδομένων σχετικά με την κατανάλωση των επικαλυπτικών. Παράγοντες που πρέπει να υπολογιστούν είναι:

- Η συνολική κατανάλωση
- Εκτίμηση της συνολικής επιφάνειας προς βαφή
- Η ευκολία εφαρμογής των επικαλυπτικών σε μια νέα κατασκευή
- Η απόδοση των επικαλυπτικών κατά τη διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής

Το ναυπηγείο οφείλει να ενημερωθεί από τους κατασκευαστές των επικαλυπτικών για τις ιδιότητες των προϊόντων, όπως ο χρόνος στερεοποίησης, το κατ' όγκο ποσοστό στερεών, η παρουσία βλαβερών αναθυμιάσεων κατά τη στερεοποίηση, η έκταση της χρήσης πινέλου/ρολού στην εφαρμογή του προϊόντος, κ.τ.λ.

### 6.2.2 - Ακριβής εκτίμηση κόστους

Ουσιαστικά πρόκειται για τη διαίρεση του κόστους σε επιμέρους, ανά τμήμα του ναυπηγείου, ώστε να ενημερωθεί και ο πλοιοκτήτης. Επειδή το κόστος αγοράς υλικών είναι πολύ μικρό σε σχέση με τα εργατικά, δίνεται συνήθως μικρή σημασία στην ποιότητα των επικαλυπτικών. Κάτι τέτοιο επηρεάζει διάφορους παράγοντες όπως, την ταχύτητα εργασίας, το τελικό αποτέλεσμα και ίσως το χρόνο αποπεράτωσης της εργασίας.

Τυπικό παράδειγμα αποτελούν προϊόντα με συγκρίσιμες αντιδιαβρωτικές ιδιότητες, αλλά διαφορετικούς χρόνους στερεοποίησης. Τα ναυπηγεία πάντοτε ενδιαφέρονται για προϊόντα γρήγορης στερεοποίησης, όπως εκείνα που χρησιμοποιούνται τους χειμερινούς μήνες, έτσι ώστε να αυξάνεται η παραγωγικότητα. Όμως, στη φάση της συμφωνίας με την κατασκευάστρια εταιρεία κάτι τέτοιο μπορεί να αμεληθεί, αν ο μόνος στόχος είναι η μείωση του κόστους αγοράς.

### 6.2.3 - Στρατηγική διαδικασίας επίστρωσης

Αυτό που εννοείται με το γενικό αυτό όρο, είναι η ύπαρξη από πλευράς ναυπηγείου, τυποποίησης στη διαδικασία επικάλυψης. Ακραία μορφή τυποποίησης είναι η επιλογή ενός και μόνο κατασκευαστή επικαλυπτικών. Ίδανικό στόχο αποτελεί η εφαρμογή συστηματικής διαδικασίας επίστρωσης για συγκεκριμένη περιοχή που επικαλύπτεται, με τους χρονικούς και ποιοτικούς παράγοντες που απαιτούνται. Συνήθως όμως υπεισέρχονται παράγοντες όπως η προσωπική επιλογή του πλοιοκτήτη ή η εφαρμογή αυστηρότερων κανονισμών διασφάλισης ποιότητας, οι οποίοι επηρεάζουν την τελική επιλογή.

Ακολουθούν οι παράγοντες που καθορίζουν τη στρατηγική:

- Οι προδιαγραφές του συστήματος βαφής για την κατασκευή
- Ο διαμερισμός της κατασκευής σε επιμέρους εργασίες ανά περιοχή/μπλοκ
- Οι επιμέρους συνθήκες που καθορίζονται από την προς επικάλυψη περιοχή
- Ο χώρος εφαρμογής της εργασίας (ανοιχτός/στεγαζόμενος)
- Η χρονική στιγμή που οι εργασίες θα πραγματοποιηθούν
- Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για κάθε μέρος της εργασίας
- Η προτιμώμενη μέθοδος εφαρμογής του επικαλυπτικού
- Η χρονική οργάνωση των επιθεωρήσεων
- Οι εναλλακτικές στρατηγικές σε περίπτωση αλλαγής παραμέτρων (πίεση χρόνου)
- Το συμβόλαιο ναυπήγησης του πλοιοκτήτη με το ναυπηγείο (π.χ. αριθμός πλοίων) και το αντίστοιχο συμβόλαιο του ναυπηγείου με τις εταιρείες προμήθειας επικαλυπτικών
- Οι απαιτήσεις για ειδικό εξοπλισμό
- Οι απαιτήσεις του πλοιοκτήτη
- Όποιες άλλες απαιτήσεις προκύψουν για το συγκεκριμένο συμβόλαιο

#### 6.2.4 - Σχεδιασμός – Οργάνωση

Είναι σύνηθες να αυξομειώνεται ο χρόνος που δίνεται για την επικάλυψη της μεταλλικής κατασκευής, λόγω καθυστερήσεων στις εργασίες άλλων τμημάτων όπως εκείνων της μεταλλικής κατασκευής. Αυτό σημαίνει τροποποίηση του προγράμματος χωρίς προειδοποίηση και χωρίς να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως ο χρόνος ξήρανσης του επικαλυπτικού. Επίσης, ο χρόνος που διατίθεται για τις επικαλύψεις προϋποθέτει 24ωρη εργασία, κάτι που συχνά δε μπορεί να εφαρμοστεί λόγω δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών (π.χ. υγρασία, σημείο δρόσου).

Συχνά, κατά τη ναυπήγηση, πρέπει οι εργασίες διαφόρων τμημάτων να γίνονται παράλληλα, για εξοικονόμηση χρόνου (Εικόνα 6.2). Στην περίπτωση της βαφής όμως οφείλει κανείς να ορίσει σαφή χρονοδιαγράμματα, τα οποία να παρέχουν και ελαστικότητα στο χρονικό περιθώριο που δίνεται για την αποπεράτωση των εργασιών.

Συνοψίζοντας για την οργάνωση παραγωγής, τα κύρια προβλήματα είναι οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες για την επίστρωση, ο χρόνος ξήρανσης των επικαλυπτικών και η ταυτόχρονη εργασία με άλλα τμήματα κατασκευής. Όλα τα παραπάνω πρέπει να αντιμετωπιστούν επιτυχώς.



Εικόνα 6.2 - Η σωστή διαχείριση του προσωπικού αποτελεί σημαντικό οικονομικό κίνητρο για το ναυπηγείο [26]

### 6.2.5 - Αγορά επικαλυπτικών

Δεδομένου ότι η αγορά ναυπηγήσεων ωθείται σε φθηνότερες κατασκευές και ο πλοιοκτήτης θέλει να έχει μεγαλύτερο έλεγχο στην όλη διαδικασία, η αγορά των επικαλυπτικών παρουσιάζει πολυπλοκότητα. Μερικές παράμετροι της τελικής επιλογής είναι:

- Η ποιότητα του προϊόντων να καλύπτει τις προδιαγραφές
- Η παράδοση των προϊόντων να καλύπτει χρονικά τη διαδικασία παραγωγής
- Η συμβατότητα των προϊόντων με τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους παραγωγής
- Η προμήθεια των επικαλυπτικών ενός πλοίου, κατά το δυνατόν, από έναν κατασκευαστή
- Το αρχικό κόστος αγοράς των επικαλυπτικών

Συνιστάται η επιδίωξη συμφωνίας ναυπήγησης περισσότερων του ενός πλοίων για μεγαλύτερο κέρδος, εφόσον βέβαια επιλεχθεί μοναδικός προμηθευτής επικαλυπτικών για το πλοίο. Η χρήση υποεργολάβων, ενώ φαινομενικά συμφέρει τα ναυπηγεία γιατί μειώνουν το μόνιμο προσωπικό τους και διατηρούν μια ελαστικότητα, εντούτοις εμποδίζει τα ναυπηγεία να αποκτήσουν βαθύτερη γνώση και εμπειρία της διαδικασίας βαφής. Αποτέλεσμα αυτών είναι να υπάρχει, από πλευράς ναυπηγείου, ασάφεια στον προσδιορισμό του επακριβούς κόστους των επικαλύψεων, κατά τους μειοδοτικούς διαγωνισμούς για ναυπήγηση νέων πλοίων.

### 6.2.6 - Έλεγχος αποθεμάτων

Ο έλεγχος αποθεμάτων είναι χρονοβόρος γιατί τα επικαλυπτικά προϊόντα παρέχονται από τον κατασκευαστή σε παλέτες ανά προϊόν και όχι ανά κατασκευαστικό μπλόκ. Για να αμβλυνθεί το πρόβλημα, γίνεται πλέον χρήση των ετικετών ραβδωτού κώδικα στις συσκευασίες. Πρέπει όμως το μέτρο αυτό να επεκταθεί και οι πληροφορίες που παρέχονται να υπερβαίνουν εκείνες του κατασκευαστή. Για παράδειγμα, ο κατασκευαστής αναγράφει στο ραβδωτό κώδικα το προϊόν, την παρτίδα και την ημερομηνία παρασκευής. Το ναυπηγείο θα ωφελείτο εάν είχε πληροφορίες για τις προδιαγραφές, τις οδηγίες ασφαλούς χρήσης (*MSDS*), το χρόνο ξήρανσης, τη διάρκεια αποθήκευσης, όλα αυτά γραμμένα σ' ένα κωδικό στην επιμέρους συσκευασία.

Μία επιπλέον λειτουργία που χρησιμοποιείται, αλλά πρέπει να επεκταθεί η χρήση της, είναι αυτή του ηλεκτρονικού εμπορίου. Περιλαμβάνει την έρευνα αγοράς προϊόντων, την επικοινωνία με τον κατασκευαστή, την επίτευξη συμφωνίας, την παραγγελία, τον έλεγχο αποστολής του φορτίου, κ.τ.λ. Το ζητούμενο από μια τέτοια επιχειρηματική κίνηση είναι η μείωση του ανθρώπινου δυναμικού, κυρίως όμως η ακριβής και άμεση ενημέρωση για την ανανέωση των αποθεμάτων.

### 6.2.7 - Υγιεινή και ασφάλεια

Ο τομέας της υγιεινής και ασφάλειας είναι ευρύς και οφείλει κανείς να ενημερώνεται σε επίπεδο εθνικό για τις επιμέρους διατάξεις που τον διέπουν (Εικόνα 6.3). Επιγραμματικά αναφέρονται οι αλλαγές που έχουν επέλθει στη χημική σύσταση ορισμένων επικαλυπτικών για δεξαμενές, κλειστούς γενικά χώρους, οι οποίες επιτρέπουν τη χαμηλή περιεκτικότητα σε πτητικούς διαλύτες, ώστε να είναι πιο φιλικές στον εργαζόμενο. Αντίστοιχη περίπτωση είναι και τα οργανικά επικαλυπτικά με υδατικά διαλυτικά, όταν είναι στην υγρή μορφή τους. Γενικά οι κανονισμοί ασφαλείας σπάνια απαγορεύουν τη χρήση συγκεκριμένων προϊόντων, προμηθευτών όμως κάποια τεχνολογικά καινοτόμα, έτσι ώστε η αλλαγή να γίνει απ' τη μεριά της αγοράς. Πάντως τέτοιες βελτιώσεις στη χημική σύσταση δε σημαίνουν βελτίωση της αντιδιαβρωτικής προστασίας, διευκολύνουν όμως το σχεδιασμό της παραγωγής και ωφελούν τις σχέσεις ναυπηγείου – ελεγκτικών οργανισμών.



Εικόνα 6.3 - Η τήρηση των κανονισμών ασφαλείας είναι ζωτικής σημασίας, από τα πιο απλά μέσα ατομικής προστασίας (πάνω αριστερά), μέχρι το σωστό εξαερισμό των δεξαμενών (κάτω) [21], [26]

### 6.2.8 - Περιβαλλοντική προστασία και διαχείριση

Όμοια με την προηγούμενη παράγραφο, κάποια επιγραμματικά στοιχεία είναι:

- Ο έλεγχος των διαλυτών στα επικαλυπτικά (*VOC*) και όποιες άλλες εκπομπές αερίων
- Η διαχείριση των υπολειμμάτων των προϊόντων (Εικόνα 6.4)

Προφανώς τα παραπάνω επιβαρύνουν το τμήμα βαφής ενός ναυπηγείου, δημιουργώντας έξοδα που καλό είναι να προβλεφθούν εκ των προτέρων. Συχνά, οι λόγοι που ένα ναυπηγείο χρησιμοποιεί υποεργολάβους για τη βαφή κατασκευών είναι περιβαλλοντικοί. Προσοχή πρέπει να δοθεί στο συγκεκριμένο ζήτημα, γιατί πέραν της περιβαλλοντικής ζημιάς, υπάρχουν κίνδυνοι επιβολής προστίμων σε περίπτωση μη συμμόρφωσης με τους ισχύοντες κανονισμούς.



Εικόνα 6.4 - Δοχείο συλλογής ψηγμάτων [26]



### 6.2.9 - Χρήση υποεργολάβων

Η χρήση υποεργολάβων, όπως αναφέρθηκε, είναι μια συνήθης πρακτική του ναυπηγείου η οποία προσφέρει ελαστικότητα στη διαχείριση προσωπικού, μπορεί να έχει οικονομικά οφέλη, αλλά είναι αμφίβολο εάν θα έχει ποιοτικό όφελος. Προφανώς για τα μικρά ναυπηγεία αποτελεί κανόνα, όμως στην περίπτωση μιας καλά οργανωμένης βιομηχανικής μονάδας παραγωγής λειτουργεί ανασταλτικά (Εικόνα 6.5). Η χρήση τους στο τμήμα βαφής, εκτείνεται από μια μέχρι όλες τις παρακάτω εργασίες:

- Βοηθητικό ανθρώπινο δυναμικό στο κυρίως προσωπικό του ναυπηγείου
- Ειδίκευση σε συγκεκριμένες-κρίσιμες περιοχές, π.χ. δεξαμενές
- Ολοκληρωτική ανάληψη εργασιών βαφής, χωρίς την αγορά των επικαλυπτικών
- Ολοκληρωτική ανάληψη εργασιών βαφής, συμπεριλαμβανόμενης της αγοράς των επικαλυπτικών

Συνήθως οι υποεργολάβοι αναλαμβάνουν εργασίες ανά πλοίο, που σημαίνει ότι το ενδιαφέρον τους για ενημέρωση από την αγορά νέων προϊόντων είναι περιορισμένο καθώς το κέρδος τους είναι μικρό. Συνιστάται στο ναυπηγείο να καταστρώνει τη διαδικασία παραγωγής και ο υποεργολάβος να την ακολουθεί. Ευεργετική θεωρείται η μακρόχρονη συνεργασία ναυπηγείου-υποεργολάβου, ώστε να είναι γνωστές οι όποιες αδυναμίες παραγωγής στο ναυπηγείο. Αντίστοιχα, τα συμβόλαια μεταξύ τους μπορούν να είναι πιο χαλαρά και συμφέροντα για το ναυπηγείο, αφού θα μπορεί να έχει παρέμβαση στο έργο του υποεργολάβου. Ωφέλιμο είναι να ζητά το ναυπηγείο σε κάθε νέα συμφωνία, βελτίωση της παραγωγής με νέες μεθόδους και τεχνικές στην επικάλυψη.



Εικόνα 6.5 - Το ναυπηγείο οφείλει να κρατήσει το επίπεδο εργασιών σε υψηλό επίπεδο, είτε αναθέσει την εργασία σε υποεργολάβους, είτε εργαστεί με το υπάρχον προσωπικό [21]

### 6.3 - Δραστηριότητες κατά την παραγωγή [3], [28], [51]

#### 6.3.1 - Εργασίες μεταλλικής κατασκευής, τοποθετήσεις τμημάτων και εφαρμογή επικαλύψεων

Στο παρελθόν, η εφαρμογή των επικαλύψεων θεωρείτο εργασία δευτερεύουσας σημασίας, σίγουρα λιγότερο σημαντική από εκείνες της μεταλλικής κατασκευής και της τοποθέτησης εξαρτημάτων. Ίσως αυτό να οφείλεται στο γεγονός ότι δεν συμβαδίζουν απόλυτα οι εργασίες μεταξύ τους και στο ότι η κατασκευή μετά τη βαφή είναι ευαίσθητη στις εργασίες που φθείρουν την τελική επιφάνειά της (Εικόνα 6.6). Η αλληλουχία εργασιών για τη δημιουργία του συστήματος επικάλυψης, αποτελείται από τα εξής στάδια:

- Εφαρμογή ασταριού
- Εφαρμογή ασταριού προκατασκευής
- Εφαρμογή κύριων στρώσεων επικαλυπτικού στο κατασκευαστικό τμήμα
- Εφαρμογή επικαλύψεων μετά τη συναρμολόγηση των τμημάτων του πλοίου
- Εφαρμογή επικαλύψεων μετά την καθέλκυση του πλοίου
- Τοπική εφαρμογή επικαλύψεων και επιδιόρθωση



Εικόνα 6.6 - Η συνεργασία μεταξύ των διαφορετικών συνεργείων ωφελεί την ποιοτική εργασία [21]

### 6.3.2 - Εκτίμηση αύξησης κόστους λόγω επιδιορθώσεων στις επικαλύψεις

Η παράταση των εργασιών επικάλυψης κατά τη φάση της ναυπήγησης λόγω επιδιορθώσεων, οδηγεί σε άμεση αύξηση του κόστους των εργατικών, αλλά και έμμεσα, σε διόγκωση εργασίας άλλων τμημάτων του ναυπηγείου. Συνήθως το κόστος επίστρωσης ενός πλοίου κυμαίνεται στο 5-10% του συνολικού κόστους κτήσης. Όμως, μέχρι και το 60% των εργατωρών επικάλυψης αφιερώνονται στην επιδιόρθωσή τους κατά τη φάση της ναυπήγησης. Για ένα εκτιμώμενο κόστος ενός VLCC στα 85 εκατομμύρια δολάρια, καταλήγει κανείς σε 1 εκατομμύριο δολάρια για επιδιορθώσεις.

Όπως αναφέρθηκε, το επιπλέον κόστος δεν επηρεάζεται μόνο από τις εργατώρες, αλλά και από τις απαιτήσεις για εγκαταστάσεις, ενέργεια, αναλώσιμα, εξοπλισμό και επιθεώρηση. Όλα τα παραπάνω αποτελούν ζημία για το ναυπηγείο, συνήθως ωστόσο επιβαρύνουν τον πλοιοκτήτη.

Τυπικό παράδειγμα υπολογισμού του επιπλέον κόστους, για την περίπτωση ενός VLCC προκύπτουν:

Άμεσο κόστος εργατικών	= \$1 εκατομμύριο
Έμμεσο κόστος εργατικών	= \$0.25 εκατομμύρια
Επιπλέον εγκαταστάσεις	= \$0.08 εκατομμύρια
Επιπλέον αναλώσιμα ανά πλοίο	= \$0.02 εκατομμύρια
Υλικό αμμοβολής	= \$6,400 , κατανάλωση
	= \$6,500 , απόρριψη
Επικαλυπτικά προϊόντα ανά πλοίο	= \$82,100
Σύνολο ανά πλοίο	= \$1,445,000 ή 1,7% της τιμής του πλοίου

Προφανώς το παραπάνω κόστος πολλαπλασιάζεται εάν γίνουν επιδιορθώσεις σε περισσότερα του ενός πλοία. Επίσης η παραπάνω εκτίμηση είναι συντηρητική, διότι υπάρχουν πιο πολύπλοκες ναυπηγικές κατασκευές από τα πετρελαιοφόρα. Σε τέτοιες περιπτώσεις το κόστος εύκολα υπερδιπλασιάζεται.

### 6.3.3 - Αύξηση ζημίας λόγω καθυστέρησης εργασιών στις επικαλύψεις

Το ακριβές κόστος των εργασιών επιδιόρθωσης εκτιμήθηκε προηγουμένως. Όμως για το ναυπηγείο που ενδιαφέρεται να βελτιστοποιήσει την παραγωγή και να τηρεί επακριβώς τα επόμενα κατασκευαστικά συμβόλαια, η καθυστέρηση εξαιτίας των εργασιών επιδιόρθωσης αποτελεί το σημαντικότερο πρόβλημα. Εκτιμώντας ότι το 60% του συνολικού κόστους κατασκευής για το ναυπηγείο είναι τα υλικά, 20% οι κατασκευαστικές εργασίες και 20% οι εργασίες επιδιόρθωσης, όσο καθυστερεί η παράδοση της κατασκευής, τόσο ζημιώνεται το ναυπηγείο.

Η συνήθης πρακτική να μεταφέρονται οι κατασκευές προς επιδιόρθωση των επικαλύψεων σε άλλους χώρους, εκτός της περιοχής εργασιών μεταλλικής φύσης, απελευθερώνει χώρο για νέες ανεγέρσεις.

## 6.4 - Βελτίωση των εργασιών επικάλυψης [28]

### 6.4.1 - Τρόποι βελτίωσης

Βελτίωση των εργασιών μπορεί να γίνει τόσο πριν, όσο και κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Όλα όσα αναφέρθηκαν προωύτερα ως προβλήματα στις εργασίες επικάλυψης, χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής και είναι τα πρώτα που πρέπει να βελτιωθούν.

Το πρώτο βήμα στη βελτίωση πρέπει να είναι η προσοχή που δίνεται στην επικαλυμμένη κατασκευή. Όσες εργασίες γίνουν μετά την επικάλυψη πρέπει να διασφαλίζουν την ακεραιότητα των στρώσεων του επικαλυπτικού. Ακριβώς επειδή το κόστος αγοράς των προϊόντων υπολογίζεται μόνο ως το 1% του κόστους της κατασκευής, μικρή βελτίωση μπορεί να γίνει στην επιλογή τους για τη μείωση του κόστους ανέγερσης. Η μείωση του κόστους είναι εφικτή μόνο από το ποσοστό του 60% του κόστους εργασιών που αφορά σε επιδιορθώσεις.

Το δεύτερο βήμα είναι η σωστή ενσωμάτωση της διαδικασίας επικάλυψης στον παραγωγικό κύκλο του ναυπηγείου. Εδώ υπεισέρχεται η ορθή στρατηγική για τις επικαλύψεις. Για την ενσωμάτωση αυτή, οι κύριες κατευθύνσεις είναι οι εξής:

- Σχεδιασμός κατασκευής (πλοίου)
- Εγκαταστάσεις, εξοπλισμός και τεχνολογία
- Διαχείριση γραμμής παραγωγής
- Επιλογή συστήματος επικαλυπτικού

### 6.4.2 - Σχεδιασμός κατασκευής

Στο σχεδιασμό της νέας κατασκευής πρέπει να αυξηθεί η βαρύτητα που δίνεται στις εργασίες επικάλυψης, αλλά και στην απόδοση του επικαλυπτικού συστήματος, καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής. Το επικαλυπτικό πρέπει να θεωρείται κατασκευαστικό στοιχείο του πλοίου και όποια αστοχία του οδηγεί σε πρόωρη αστοχία της μεταλλικής κατασκευής.

Από τότε που τέθηκαν σε ισχύ οι κανονισμοί για αποκλειστική χρήση των δεξαμενών έρματος για θαλασσινό νερό (ΟΡΑ 90), η διαδικασία επικάλυψης έγινε δυσχερέστερη. Στις δεξαμενές το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η απάντληση των υδάτων από τις εργασίες καθαρισμού, όπως και των ψηγμάτων της αμμοβολής. Οι επίπεδες επιφάνειες και η σύνθετη γεωμετρία των ενισχύσεων στο εσωτερικό τους δυσχεραίνουν τον καθαρισμό (Εικόνα 6.7).



Εικόνα 6.7 - Η πολυπλοκότητα της πρωραίας δεξαμενής ζυγοστάθμισης δυσχεραίνει το έργο των συνεργείων βαφής [51]

#### 6.4.3 - Εγκαταστάσεις, εξοπλισμός και τεχνολογία

Ο σωστός χρονισμός των εργασιών επικάλυψης είναι κρίσιμος. Σωστό στάδιο βαφής σε μια νέα κατασκευή είναι εκείνο που εξυπηρετεί το ναυπηγείο. Από τον Πιν. 5.1 φαίνονται τα διάφορα στάδια βαφής, όμως είναι ουσιώδες να μην προκύψουν ζημιές στις επικαλυμμένες επιφάνειες.

Για να μπορέσει να ενσωματωθεί η διαδικασία επικάλυψης στο σχεδιασμό παραγωγής, πρέπει να αποκτήσει ευελιξία ως προς το χρόνο αποπεράτωσης, δηλαδή να αυτοματοποιηθεί όσο το δυνατόν. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι η βαρύτητα δίνεται στις βασικές εργασίες κι όχι σ' αυτές της επιδιόρθωσης. Επίσης, πρέπει να δοθεί έμφαση στη συνεργασία των μεθόδων καθαρισμού-βαφής. Για παράδειγμα, εάν στις δεξαμενές έρματος χρησιμοποιηθεί υδροβολή ή υδροεκτόξευση, επειδή θα δημιουργηθεί υγρασία, τα επικαλυπτικά καλό είναι να συμβαδίζουν με τις συνθήκες (π.χ. πίσσας πολυουρεθάνης). Περισσότερα για τον εξοπλισμό και τη χρήση του δίνονται στη σχετική με την τεχνική των επιστρώσεων ενότητα.

#### 6.4.4 - Διαχείριση γραμμής παραγωγής

Η διαχείριση καλύπτει ένα ευρύ φάσμα επιλογών, όμως πρέπει να στηρίζει τη στρατηγική του ναυπηγείου, η οποία εξαρτάται από το ποσοστό συμμετοχής του ναυπηγείου στις εργασίες επικάλυψης. Στην περίπτωση εργασιών εντός αυτού, παράγοντες όπως ο οικονομικός έλεγχος, ο προϋπολογισμός και η εκπαίδευση του προσωπικού είναι ουσιώδεις.

Όμως ο σημαντικότερος παράγοντας είναι η διασφάλιση ποιότητας της εργασίας και ο σωστός έλεγχος που ξεκινά από την προστασία των πρωτευόντων υλικών κατασκευής (π.χ. λαμαρίνες, δοκοί) με αστάρι. Η τήρηση

του DFT στο αρχικό στάδιο προφυλάσσει από μελλοντικές αστοχίες. Αυτό σημαίνει σωστή επιλογή προμηθευτή, έλεγχος του αποθέματος για φθορά, ελαχιστοποίηση του αποθέματος κ.τ.λ. Η διασφάλιση ποιότητας καταλήγει στο τελικό στάδιο σε λεπτομερή έλεγχο για αστοχίες στα επικαλυπτικά, οι οποίες αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 5.

#### 6.4.5 - Επιλογή συστήματος επικαλυπτικού

Οι πιο σημαντικές παράμετροι για την επιλογή συστήματος επικαλυπτικού από πλευράς ναυπηγείου, είναι:

- Η γρήγορη ξήρανση του επικαλυπτικού, ιδιαίτερα σε δεξαμενές και καταστρώματα
- Οι χαμηλές απαιτήσεις προετοιμασίας επιφάνειας προς βαφή
- Η χαμηλή περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά των επικαλυπτικών
- Ο ελάχιστος αριθμός επικαλυπτικών προϊόντων
- Οι ελάχιστες στρώσεις για το επικαλυπτικό σύστημα

Συχνά όμως οι καθοριστικοί παράγοντες είναι:

- Η τιμή
- Ο προμηθευτής

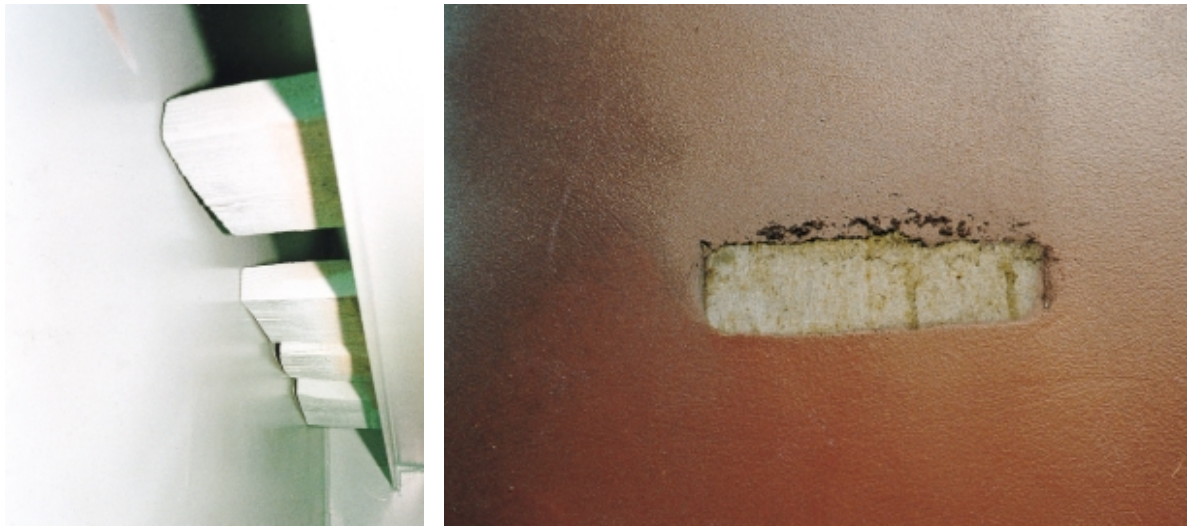
#### 6.5 - Η πλευρά του πλοιοκτήτη [26], [28]

Η εμπλοκή του πλοιοκτήτη σε όλη τη διαδικασία επικάλυψης του πλοίου του έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Ξεκινά με την επιλογή-προτίμηση κάποιου κατασκευαστή επικαλυπτικών και καταλήγει στην αξιολόγηση-επιθεώρηση των εργασιών (Εικόνα 6.8). Για το λόγο αυτό απαιτείται σωστή ενημέρωση και εκπαίδευση των μηχανικών που εκπροσωπούν την πλοιοκτήτρια εταιρία, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι προβληματικές περιοχές στην κατασκευή, οι οποίες θα δυσκολέψουν τη λειτουργία της.

Η παρέμβαση του πλοιοκτήτη είναι ουσιώδης στη συγγραφή του συμβολαίου, όπου ορίζεται η ποιότητα των εργασιών. Θα πρέπει επίσης να καθορίζονται επιπλέον οικονομικά στοιχεία, όπως π.χ. το ποιος πληρώνει τις επισκευές στις επικαλύψεις, αν υπάρχουν ρήτρες για μεγάλης έκτασης επιδιορθώσεις, χρονικοί περιορισμοί, δυνατότητα αύξησης της εγγύησης που δίνει το ναυπηγείο κ.α.

Ειδικά το θέμα της εγγύησης της ποιότητας της επικαλυμμένης επιφάνειας, είναι πολύ επίφοβο για τον πλοιοκτήτη. Τα προηγούμενα χρόνια το ναυπηγείο έδινε μια σύντομη εγγύηση 1 έτους, η οποία ουσιαστικά κάλυπτε μόνο όσα μπορούν να διακρίνουν οι επιθεωρητές κατά τη ναυπήγηση. Στην περίπτωση των δεξαμενών έρματος, οι οποίες μένουν κλειστές για όσο καιρό το πλοίο λειτουργεί και είναι δύσκολα προσβάσιμες, ο χρόνος εγγύησης δεν αρκεί. Ουσιαστικά, οι δεξαμενές έρματος, μαζί με την κύρια μηχανή, αποτελούν ενδείξεις για την αγοραστική αξία του πλοίου σε περίπτωση μεταπώλησης. Όντας δυσπρόσιτες και με υψηλά ποσοστά υγρασίας, κάθε προσπάθεια επιδιόρθωσης των επικαλύψεων έχει παροδικό αποτέλεσμα.

Η εξασφάλιση της ποιότητας προστασίας από τη διάβρωση προέρχεται μόνο από το σύστημα βαφής του ναυπηγείου. Εν κατακλείδι, όσον καιρό τα επικαλυπτικά στις δεξαμενές έρματος λειτουργούν σωστά, η αξία του πλοίου κρατείται υψηλή. Με τα παραπάνω καταλήγει κάποιος στο συμπέρασμα ότι, αν ο χρόνος ζωής ενός πλοίου είναι 20 έτη, τόσα χρόνια πρέπει η μεταλλική κατασκευή να είναι προστατευμένη από τη διάβρωση, χωρίς ιδιαίτερη συντήρηση. Όπως φάνηκε από τα προηγούμενα κεφάλαια, τέτοιες λύσεις σήμερα είναι εφικτές.



Εικόνα 6.8 - Δείχνοντας προσοχή ο επιθεωρητής του πλοιοκτήτη θα εντοπίσει αστοχίες όπως η παραπάνω (η σκαλωσιά τοποθετήθηκε πολύ κοντά στην επιφάνεια, η οποία δε βιάφτηκε) [26]

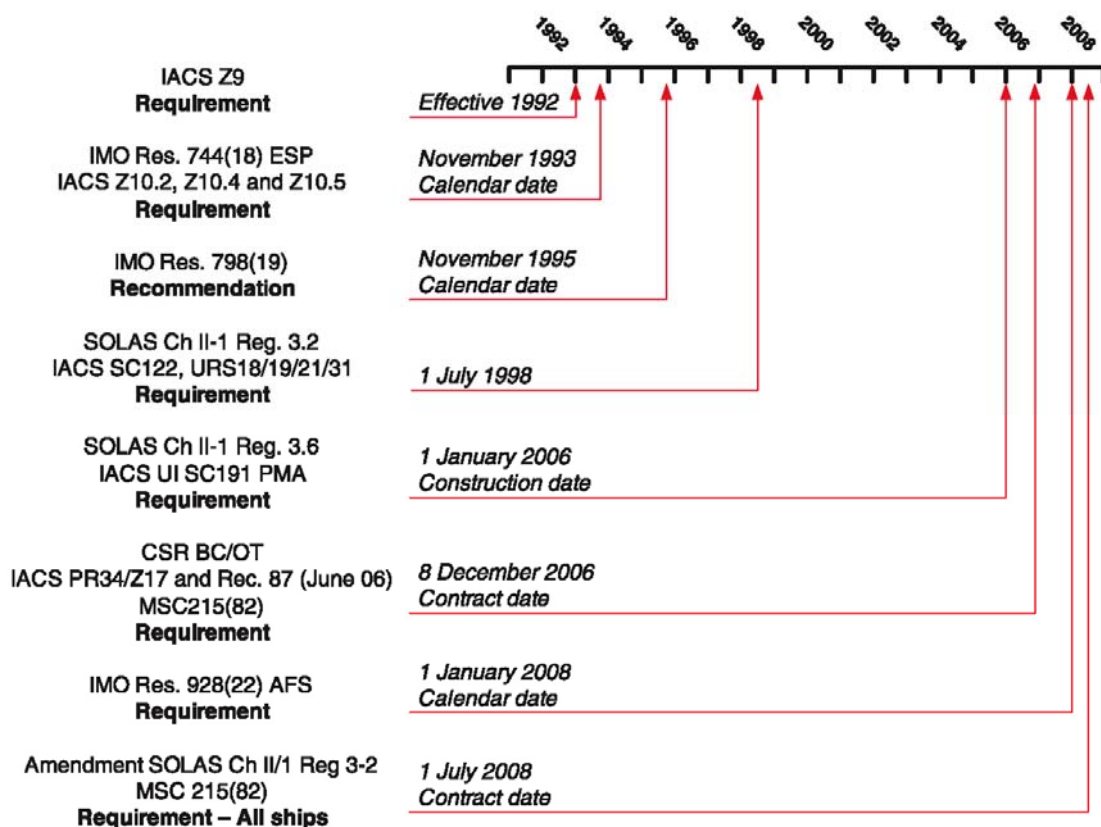
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – Πιστοποίηση επικαλυπτικών και το πρότυπο PSPC

### 7.1 - Εισαγωγή - Ιστορική εξέλιξη κανονισμών ελέγχου επικαλυπτικών [11], [18], [12], [31], [60]

Θέλοντας να εξετάσει κάποιος τη σημερινή κατάσταση στις δοκιμές των επικαλυπτικών, είναι απαραίτητο να γνωρίζει την εξέλιξη των κανονισμών που επηρεάζουν τη ναυπηγική βιομηχανία. Ο λόγος που κάτι τέτοιο είναι χρήσιμο, έγκειται στο γεγονός ότι η ναυτιλία γενικότερα προσαρμόζεται στα νέα δεδομένα του εμπορίου και απαιτεί νέες ρυθμίσεις που θα μεγιστοποιούν το περιθώριο κέρδους.

Κάνοντας μια ιστορική αναδρομή στις προηγούμενες δεκαετίες, παρατηρούνται τα εξής γεγονότα. Τις δεκαετίες μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, δόθηκε μεγάλη έμφαση στη μεταφορά αργού πετρελαίου στις δυτικές οικονομίες προς επεξεργασία και διάθεση. Πρέπει να θεωρηθεί δεδομένο ότι η αλματώδης τεχνολογική εξέλιξη, αλλά και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου της Δύσης, οφείλεται στις ενεργειακές απολαβές του πετρελαίου. Παράλληλα, με τη συνεχόμενη αύξηση της ζήτησης του πετρελαίου, δημιουργήθηκαν μεγαλύτερα πλοία, ώστε να αυξηθεί ο μεταφερόμενος όγκος φορτίου και να δοθούν ευκαιρίες στους πλοιοκτήτες για αύξηση του περιθωρίου κέρδους από τις μεταβολές τιμής του «μαύρου χρυσού».

Η θέσπιση των νέων κανονισμών ωστόσο δεν ακολούθησε την τεχνολογική εξέλιξη στη ναυπηγική με τον ίδιο ρυθμό (Εικόνα 7.1). Αποτέλεσμα του τελευταίου ήταν η χρήση των δεξαμενών του πλοίου κατά το δοκούν από τον πλοίαρχο, με σκοπό πάντα το μέγιστο κέρδος.

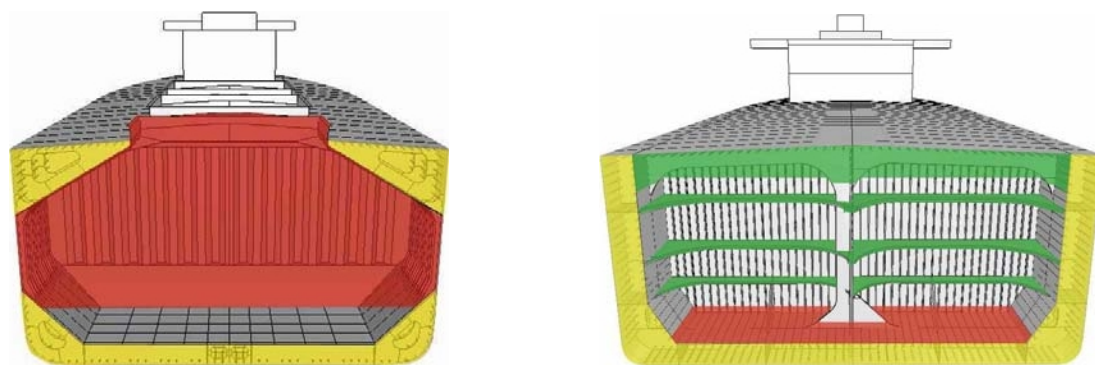


Εικόνα 7.1 - Ιστορική εξέλιξη των κανονισμών, σχετικά με τις επικαλύψεις [12]



Στην περίπτωση ενός πετρελαιοφόρου, θα μπορούσαν να γεμίσουν οι δεξαμενές φορτίου με πετρέλαιο κατά τη μεταφορά και με θαλασσινό νερό κατά την επιστροφή του, ώστε να έχει το απαιτούμενο βύθισμα. Η επιλογή αυτή έχει τους εξής κινδύνους. Πρώτο, σε περίπτωση σύγκρουσης, στις δεξαμενές φορτίου προκαλείται εκροή πετρελαίου στη θάλασσα. Δεύτερο, η ανάμιξη φορτίου και θαλασσινού νερού κατά τη λειτουργία των αντλιών φορτοεκφόρτωσης, πάλι επιβαρύνει το περιβάλλον. Πέραν των δύο παραπάνω περιπτώσεων για τα πετρελαιοφόρα, μπορούν να αναφερθούν επίσης περιπτώσεις πλύσης των δεξαμενών φορτίου με θαλασσινό νερό και απόρριψη στη θάλασσα, πλήρωση δεξαμενών έρματος με καύσιμο κύριας μηχανής πλοίου για αύξηση της ακτίνας ενέργειας κ.α.

Έπρεπε να συμβούν μεγάλα ναυτικά ατυχήματα με πετρελαιοφόρα και διαρροή φορτίου, ώστε να ευαισθητοποιηθεί η ναυτιλιακή κοινότητα προς τη θέσπιση αυστηρότερων κατασκευαστικών κανονισμών. Οι κυριότεροι σχετίζονταν με την αποκλειστική χρήση των δεξαμενών έρματος για θαλασσινό νερό και την ενίσχυση του κελύφους των πετρελαιοφόρων με διπλά τοιχώματα, ώστε αυτό να είναι πιο άκαμπτο αλλά και να προστατεύεται το φορτίο από διαρροή, σε περίπτωση ρήγματος. Οι έννοιες «διπλός πυθμένας» (*double bottom*), «διπλές πλευρές» (*double side*) και «διπλό κέλυφος» (*double skin*), αναφέρονται ακριβώς σ' αυτούς τους κανονισμούς (Εικόνα 7.2).



Εικόνα 7.2 - Οι ξεχωριστές δεξαμενές έρματος και τα διπλά κελύφη, σε πλοίο μεταφοράς χύδην (αριστερά) και πετρελαιοφόρο (δεξιά), σχεδιασμένες με κίτρινο χρώμα [52]

Παράλληλα όμως με τη δομική ενίσχυση του πλοίου και την απομάκρυνση του κινδύνου ρήγματος στις δεξαμενές φορτίου, προέκυψε θέμα με τη διάβρωση αυτών των «βοηθητικών χώρων». Πράγματι, οι συνθήκες για ανάπτυξη διάβρωσης στις δεξαμενές έρματος ήταν ιδανικές: χώροι κλειστοί, με συχνές εναλλαγές πλήρωσης με θαλασσινό νερό, υψηλά επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασιών, λόγω θέρμανσης από την ηλιακή ακτινοβολία, μειωμένη επίβλεψη λόγω δύσκολης πρόσβασης κ.τ.λ.

Η λύση που δόθηκε ήταν θέσπιση κανονισμών για την επιστροφή με επικαλυπτικά υψηλής αντοχής, η οποία χρονικά συνέπεσε με την ανάγκη επιστροφής των δεξαμενών φορτίου δεξαμενόπλοιων μεταφοράς χημικών, των οποίων αυξήθηκε ο αριθμός, λόγω καταναλωτικών αναγκών. Η βιομηχανία επικαλυπτικών γνώρισε μεγάλη άνθηση λόγω αυτών των δύο απαιτήσεων.

Η θέση που τήρησαν οι νηογνώμονες στο στάδιο της ναυπήγησης ήταν ουδέτερη, εφόσον δεν διέθεταν τεχνογνωσία σχετικά με τις επικαλύψεις, αλλά και επειδή δεν επιθυμούσαν να πάρουν αυστηρά μέτρα κατά όποιων (ναυπηγείων ή πλοιοκτητών) αμελούσαν να συμμορφωθούν με τις προδιαγραφές εφαρμογής που όριζε ο κατασκευαστής επικαλύψεων. Έτσι λοιπόν, ο ρόλος τους ήταν ελεγκτικός, κυρίως μετά τη ναυπήγηση, ώστε να εξασφαλίσουν ότι οι κατασκευές δεν κινδύνευαν από αστοχία λόγω υπερβολικής διάβρωσης. Μέχρι και το τέλος της προηγούμενης δεκαετίας, η κατάσταση στις επικαλύψεις των πλοίων είχε ως εξής:

- Ο κατασκευαστής επικαλύψεων κατείχε ολόκληρη την τεχνογνωσία
- Το ναυπηγείο, που ήταν υπεύθυνο για την εφαρμογή των επιστρώσεων, συχνά έκανε περικοπές στις προδιαγραφές για τη σωστή επίστρωση, απολαμβάνοντας οικονομικά οφέλη
- Οι νηογνώμονες έλεγχαν, κυρίως, την ποιότητα των επικαλύψεων κατά τη λειτουργία του πλοίου, εκδίδοντας τα αντίστοιχα πιστοποιητικά ανά τακτά διαστήματα, ενώ συμπληρωματικά, εξέδιδαν οδηγίες και προδιαγραφές για τις επιστρώσεις, χωρίς όμως να προβλέπονται κυρώσεις για τυχόν αποκλίσεις προδιαγραφών
- Ο διεθνής οργανισμός ναυτιλίας (IMO) ενδιαφερόταν για τις οικολογικές επεκτάσεις του προβλήματος.
- Ο πλοιοκτήτης, θέλοντας να μειώσει το κόστος ναυπήγησης και μην έχοντας ειδικευμένο προσωπικό για έλεγχο, έκανε παραχωρήσεις στις προδιαγραφές επίστρωσης

Από την παραπάνω κατάσταση, ο περισσότερο ζημιωμένος ήταν ο πλοιοκτήτης. Συχνά λάμβανε την κατασκευή με χαμηλότερες προδιαγραφές, έχοντας πάντα τον κίνδυνο κυρώσεων από το νηογνώμονα, ενώ η αξία της επένδυσής του μειωνόταν γοργά, λόγω διάβρωσης.

Τα δύο μεγαλύτερα εμπόδια για την ομαλή αξιοποίηση της επένδυσης ενός πλοίου, ήταν η μειωμένη διάρκεια εγγύησης ποιότητας επικαλύψεων που έδινε το ναυπηγείο και η αύξηση των απαιτήσεων «ποιότητας και διαχείρισης» που προέκυψαν τα τελευταία χρόνια. Όσον αφορά στο ναυπηγείο, η ελάχιστη αυτή εγγύηση που δίνει (συνήθως 1 έτος), διασφαλίζει το ναυπηγείο από αστοχίες που μπορούν να συμβούν σε βάθος χρόνου στα επικαλυπτικά. Ουσιαστικά ο πλοιοκτήτης έχει δικαίωμα ένστασης μέχρι να παραλάβει το πλοίο. Από εκεί και έπειτα, για τα επόμενα 15-25+ έτη λειτουργίας, καλείται να αντιμετωπίσει τα όποια προβλήματα στις επικαλύψεις δεν εντόπισε κατά τη ναυπήγηση του πλοίου, πέραν βέβαια της γενικότερης φθοράς των επικαλύψεων. Το επόμενο πρόβλημα, αυτό της έκδοσης όλο και αυξανόμενου αριθμού πιστοποιητικών, ενώ προφυλάσσει τους ναυλωτές από πλοία επιρρεπή σε βλάβες, αυξάνει τον πήχη στο επίπεδο ποιότητας του πλοίου, με αποτέλεσμα ο πλοιοκτήτης να συνεχίζει να επενδύει σε επισκευές του πλοίου, αν και αυτό είχε φύγει από το ναυπηγείο σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Εφόσον η αγορά θεσπίζει τους κανονισμούς και η συχνότερα χρησιμοποιούμενη λέξη στη ναυτιλία, σήμερα, είναι «ποιότητα», η παρούσα κατάσταση στις επικαλύψεις έπρεπε να αλλάξει, προς όφελος του πλοιοκτήτη. Το ζητούμενο ήταν ένας κανονισμός (όχι οδηγία), ο οποίος θα έδινε περισσότερη έμφαση στην ποιότητα των επιστρώσεων κατά τη ναυπήγηση, θα περιείχε τεχνογνωσία για την πιστοποίηση των προϊόντων με την εκτέλεση εξειδικευμένων πειραμάτων για την περίπτωση των δεξαμενών έρματος και τέλος, θα υποχρέωνε

όλους τους εμπλεκόμενους να τηρούν σχολαστικό αρχείο με την κατάσταση των επικαλύψεων, τόσο κατά τη ναυπήγηση όσο και, κυρίως, μετά.

Τα πλεονεκτήματα ενός κοινού πρωτοκόλλου είναι:

- Η ομοιογένεια στις αναφορές των εμπλεκόμενων
- Ο εύκολος έλεγχος της κατάστασης του πλοίου με πλήρες ιστορικό
- Η ταυτοποίηση των υπευθύνων για αστοχίες, εφόσον αυτές συμβούν
- Η διευκόλυνση των επιθεωρήσεων και των επισκευών
- Η πιστοποίηση, μέσω ενός κοινού μηχανισμού, της καταλληλότητας ενός πλοίου για ναύλωση

Όλοι οι εμπλεκόμενοι έχουν να προσφέρουν κάτι σ' αυτήν την διαδικασία.

- Οι κατασκευαστές επικαλυπτικών πρέπει να πιστοποιούν τα προϊόντα τους, μέσω κοινά αποδεκτών πειραμάτων
- Οι ιδιωτικές εταιρίες ποιοτικού ελέγχου προσφέρουν τις γνώσεις τους στη δημιουργία πειραμάτων, εξειδικευμένων για τα επικαλυπτικά των δεξαμενών έρματος
- Οι νηογνώμονες, συνεισφέρουν με την πληθώρα επιθεωρητών έμπειρων στον έλεγχο του ρυθμού διάβρωσης, αλλά και μέσω της καλής συνεργασίας που έχουν με τις ναυτιλιακές εταιρίες, στην προώθηση της φιλοσοφίας καταγραφής τεχνικών στοιχείων
- Ο IMO προσφέρει τη βαρύτητα της θέσης του για την κατοχύρωση του κανονισμού
- Οι πλοιοκτήτες επωμίζονται την ευθύνη δημιουργίας και τήρησης αρχείου, το οποίο εφόσον χειριστούν σωστά, αποφέρει κέρδος σε περιπτώσεις αποζημιώσεων εξαιτίας κακής εφαρμογής επικαλύψεων. Επίσης τους ωφελεί, διότι μέσω αυτού πιστοποιείται η καλή κατάσταση, προκειμένου να ναυλωθεί ευκολότερα η επένδυσή τους

Μια πρώτη προσέγγιση του προβλήματος έλλειψης προδιαγραφών στις επικαλύψεις έγινε μέσω της συγγραφής οδηγιών από τη Διεθνή Οργάνωση Νηογνομόνων (*IACS*), σχετικά με τις προδιαγραφές και τον ωφέλιμο χρόνο ζωής των επικαλύψεων, ανάλογα με τις προδιαγραφές επίστρωσης, καθώς και η εξαγορά της ιδιωτικής εταιρίας πειραματικών δοκιμών επικαλύψεων *Marintek* από το νορβηγικού νηογνώμονα *DNV*, τα πειράματα της οποίας θεσπίστηκαν ως υποχρεωτικά από το νέο κανονισμό. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, προσπάθειες για την πιστοποίηση και την τυποποίηση των επικαλύψεων γίνονταν και στο παρελθόν (π.χ. οι κατασκευαστές ζητούσαν ποιοτικό έλεγχο από εταιρίες ελέγχων όπως η *Marintek*). Εξέλιξη αυτών αποτελεί ο νέος κανονισμός, ο οποίος προδιαγράφει επακριβώς τις ενέργειες για τους ελέγχους κάθε είδους και κυρίως, υποχρεώνει την αγορά σε συμμόρφωση. Το τελευταίο μπορούσε να επιτευχθεί μόνο μέσω του IMO.

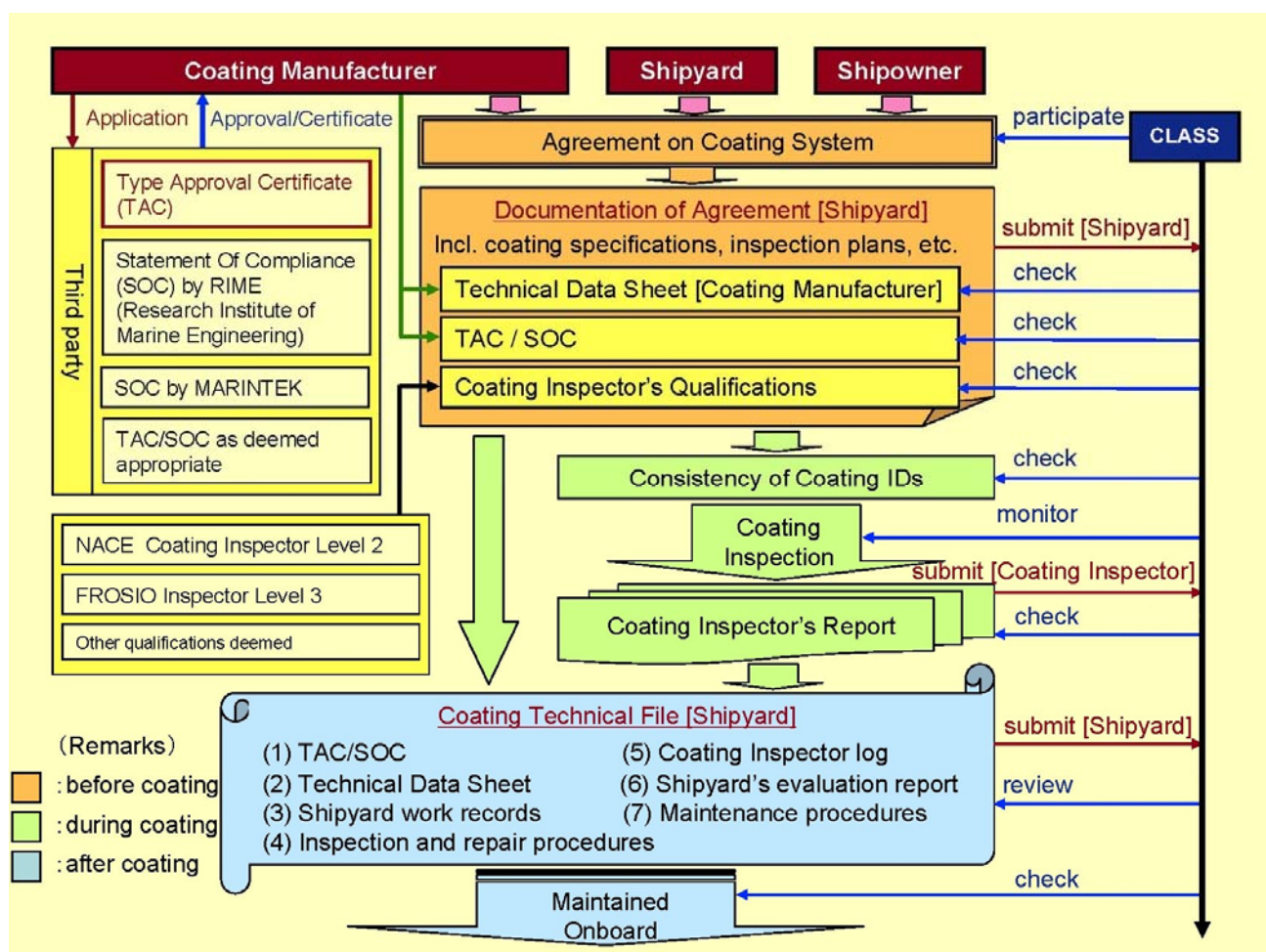
## 7.2 - Το νέο πρότυπο ποιότητας Performance Standard for Protective Coatings (PSPC) [16], [59], [61]

Το νέο πρότυπο ψηφίστηκε στις 6 Δεκεμβρίου 2006, περιλαμβάνεται στον κανονισμό SOLAS II-1/3-2, στο ψήφισμα MSC.216(82), σε ένα 20σέλιδο κείμενο. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Τίθεται σε ισχύ από την 1η Ιουλίου 2008 (ημερομηνία υπογραφής συμβολαίου ναυπήγησης, απόθεση τρόπιδας κ.τ.λ.)
- Αφορά όλα τα πλοία άνω των 500 κόρων (*G.T.*) και πιο συγκεκριμένα, τα πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην, άνω των 150 m μήκους (δεξαμενόπλοια και φορτηγά χύδην με διπλά τοιχώματα)
- Έχει ως βάση την καλή λειτουργία του προστατευτικού επιστρώματος για τουλάχιστον 15 έτη λειτουργίας του πλοίου
- Στην επιλογή του επικαλυπτικού λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως, η ύπαρξη θερμαινόμενων επιφανειών, η συχνότητα εναλλαγής έρματος, οι απαιτούμενες συνθήκες της προς επικάλυψη επιφάνειας, με έμφαση στην καθαρότητα και ξηρότητα αυτής και τέλος, η τυχόν συνεργασία με καθοδική προστασία του επικαλυπτικού
- Κατά την επικάλυψη θα πραγματοποιούνται τουλάχιστον 2 στρώσεις επικαλυπτικού και 2 στρώσεις λωρίδων επικαλυπτικού (*stripe coats*), όπου αυτές απαιτούνται
- Οι λωρίδες επικαλυπτικού θα γίνονται με πινέλο ή ρολό μόνο, με προτίμηση στην εφαρμογή με πινέλο
- Το ελάχιστο πάχος στερεάς στρώσης για το τελικό προϊόν (*NDFT*) είναι τα 320  $\mu\text{m}$  για τα εποξειδικά επικαλυπτικά, με χρήση του κανόνα 90/10 (το 90% της επιφάνειας να έχει πάχος στρώσης μεγαλύτερο από 320  $\mu\text{m}$ )
- Ως ελάχιστη ποιότητα της επιφάνειας προς βαφή ορίζεται η Sa 2,5, ενώ η τραχύτητα της επιφάνειας πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 30-75  $\mu\text{m}$ .
- Η ύπαρξη υπολειμμάτων άλατος στην επιφάνεια να είναι μικρότερη από 50  $\text{mg}/\text{m}^2$
- Οι ακμές της μεταλλικής κατασκευής να υφίστανται εξομάλυνση με ακτίνα καμπυλότητας τουλάχιστον 2 mm
- Σε περίπτωση φθοράς του ασταριού προκατασκευής κατά την ανέγερση, να καθαρίζεται η φθαρμένη περιοχή κατά το πρότυπο Sa 2,5, ενώ αν το αστάρι δεν πληρεί τα νέα κριτήρια, να γίνεται αφαίρεση αυτού τουλάχιστον κατά 70%, ακόμα και του υγιούς σύμφωνα με το πρότυπο Sa 2
- Σε μικρές περιοχές με κατάρρευση επιστρώματος κατά την ανέγερση (κάτω του 2%), να εφαρμόζεται το πρότυπο St 3.
- Οι επιθεωρητές των επικαλύψεων να έχουν πιστοποιημένα διπλώματα γνώσεων (*NACE Coating Inspector Level 2, FROSIO Inspector Level III* ή αντίστοιχο)
- Η έμφαση της επιθεώρησης να δίνεται στη σωστή προετοιμασία της κατασκευής πριν τη βαφή
- Κατά τις επιθεωρήσεις να λαμβάνονται μετρήσεις όλων των περιβαλλοντικών συνθηκών, της καθαρότητας της επιφάνειας και του πάχους στρώσης του επικαλυπτικού. Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται για επιβεβαίωση των εργασιών και φυλάσσονται ως αρχείο για τη δεξαμενή και το πλοίο γενικότερα

- Τα στοιχεία που συλλέγονται χρησιμοποιούνται για την πιστοποίηση του συστήματος βαφής, με στόχο την ωφέλιμη διάρκεια ζωής των 15 ετών, υποστηριζόμενα από πειραματικές μετρήσεις αντοχής του επικαλυπτικού ή την αποδεδειγμένη καλή κατάσταση αυτού, σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας 5 ετών

Οι όποιες προδιαγραφές δεν αναφέρθηκαν εδώ, καλύπτονται από την αναφορά που έχει γίνει στη σχετική με την τεχνική των επικαλύψεων ενότητα. Είναι προφανές ότι με τα παραπάνω, εφόσον εφαρμοστούν διεξοδικά, η ποιότητα των επικαλύψεων που θα προκύψει μπορεί να εγγυηθεί απρόσκοπτη λειτουργία στο πλοίο για το ζητούμενο διάστημα, τα 15 έτη. Ακολουθεί το οργανόγραμμα όπου απεικονίζεται η διαδικασία επίστρωσης και ελέγχου, σε βάθος χρόνου (Εικόνα 7.3).



Εικόνα 7.3 - Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του προτύπου PSPC, καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής (στα βέλη με την ένδειξη "check", να γίνεται έλεγχος στο πρότυπο) [16]

Σχετικά με παραλήψεις του προτύπου, επισημαίνονται τα ακόλουθα. Κατ' αρχήν, δε γίνεται αναφορά στο επίπεδο εκπαίδευσης των τεχνιτών του συνεργείου ή στην ιδιότητα του εργοδότη αυτών (ναυπηγείο ή υποεργολάβος). Έχει ήδη επισημανθεί (Κεφάλαιο 6) η μείωση της ποιότητας εργασίας λόγω έλλειψης ελέγχου στα συνεργεία υποεργολάβων. Η δημιουργία «εσωτερικών σχολών» για τους εργάτες με κοινά αποδεκτή κατοχύρωση γνώσεων (π.χ. από τους κατασκευαστές των επικαλυπτικών) θα βελτιώνει πολύ την ποιότητα εργασίας (Εικόνα 7.5). Πάντως, το νέο αυτό πρότυπο, υιοθετεί τις περισσότερες από τις γνωστές «καλές πρακτικές» στην εφαρμογή των επικαλύψεων, δίνει προτεραιότητα στη σωστή προετοιμασία της μεταλλικής επιφάνειας και εξίσου σημαντικό, επιχειρεί να δημιουργήσει ένα κοινό πρωτόκολλο συλλογής στοιχείων και αξιοποίησης αυτών, σε βάθος χρόνου μεγαλύτερο εκείνου της ναυπήγησης.



Εικόνα 7.5 - Φωτογραφία βαμμένου τμήματος πλοίου υπό ανέγερση, στο σχετικό υπόστεγο επικαλύψεων [26]

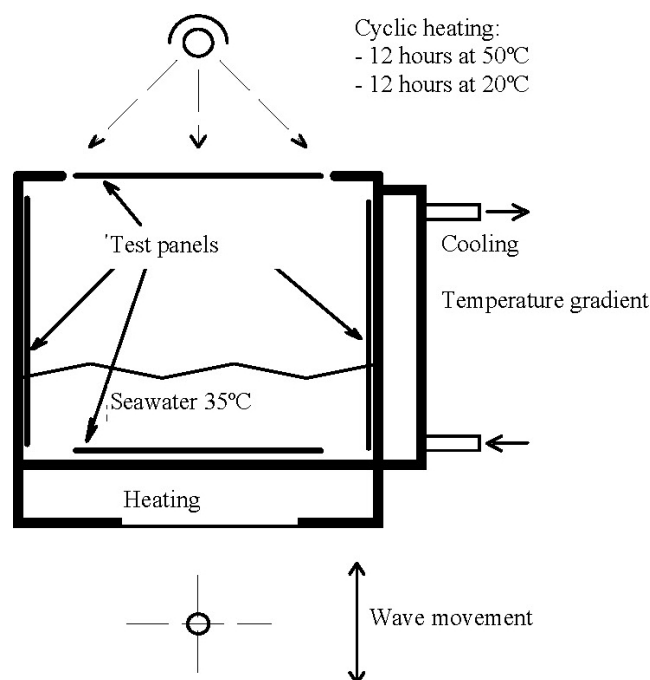
### 7.3 - Πειραματικό σκέλος του προτύπου PSPC [16], [59], [61]

#### 7.3.1 - Εισαγωγή

Ο πειραματικός έλεγχος των επικαλυπτικών που περιγράφεται σε αυτήν την ενότητα απαρτίζεται από δύο δοκιμές αντοχής, η μια σε συνθήκες προσομοίωσης δεξαμενής έρματος και η δεύτερη σε περιβάλλον αυξημένης υγρασίας.

#### 7.3.2 - Πείραμα προσομοίωσης συνθηκών δεξαμενής έρματος

Το πείραμα αυτό, παρουσιάστηκε προγενέστερα του προτύπου PSPC, μέσα από τις πειραματικές δοκιμές της εταιρίας Marintek. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος (Εικόνα 7.5, 7.6, 7.7).



Εικόνα 7.5 - Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης προσομοίωσης της δεξαμενής έρματος [59]

- Το πείραμα έχει διάρκεια 180 ημέρες
- Στο πείραμα χρησιμοποιούνται 5 δοκίμια, διαστάσεων 200 mm x 400 mm x 3 mm (Εικόνα 7.5). Πάνω σε δύο από τα δοκίμια (δοκίμια 3, 4) συγκολλούνται ελάσματα σε μορφή U (Εικόνα 7.6), σε απόσταση 120 mm από μία από τις πλευρές των 200mm του δοκιμίου και σε απόσταση 80 mm από κάθε μία από τις πλευρές των 400mm του δοκιμίου. Με τη μέθοδο αυτή ελέγχεται η πρόσφυση του επικαλυπτικού σε περιοχές με συγκολλήσεις. Η προετοιμασία και η εφαρμογή των επικαλύψεων στα δοκίμια γίνεται σύμφωνα με το παρόν πρότυπο. Τα δοκίμια επικαλύπτονται αρχικά με συμβατικό αστάρι ψευδαργύρου και παλαιώνονται για 2 μήνες. Έπειτα καθαρίζονται με ήπια μέθοδο, όχι με ψηγατοβολή ή υδροβολή



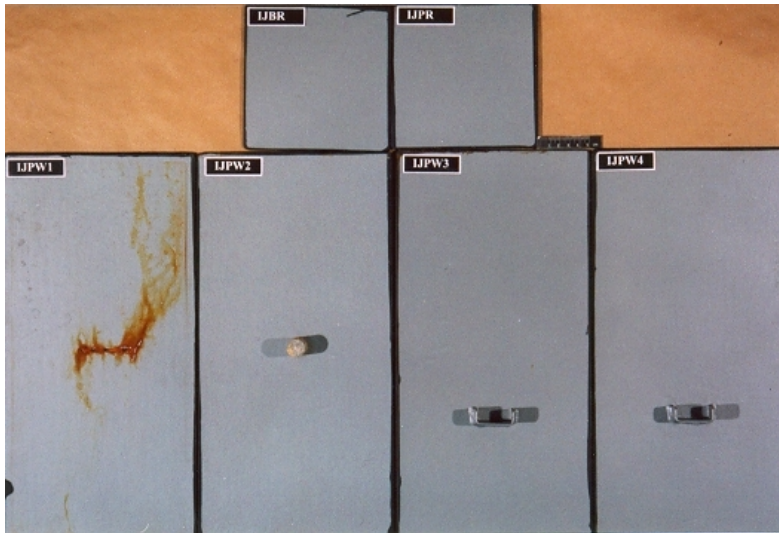
Εικόνα 7.6 - Σχηματική αναπαράσταση του συγκολλημένου ελάσματος μορφής U, στις πλάκες 3 και 4 [59]

- Η πίσω πλευρά του δοκιμίου πρέπει να επικαλύπτεται κατάλληλα, ώστε να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών
- Για την προσομοίωση των συνθηκών των πραγματικών δεξαμενών έρματος, η δεξαμενή δοκιμής γεμίζει μερικώς, για 2 εβδομάδες, με φυσικό ή τεχνητό θαλασσινό νερό και 1 εβδομάδα παραμένει κενή. Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού διατηρείται στους 35° C
- Δοκίμιο 1: Το δοκίμιο θερμαίνεται για 12 ώρες στους 50° C και στη συνέχεια ψύχεται για 12 ώρες στους 20° C, προκειμένου να προσομοιωθούν οι συνθήκες στο κύριο κατάστρωμα. Ταυτόχρονα, το δοκίμιο διαβρέχεται περιοδικά με φυσικό ή τεχνητό θαλασσινό νερό για την προσομοίωση των κινήσεων προνευτασμού και διατοιχισμού του πλοίου. Το διάστημα της διαβροχής είναι 3 sec ή λιγότερο. Το δοκίμιο φέρει χαραγή στην επικάλυψη, έως το γυμνό μέταλλο.
- Δοκίμιο 2: Το δοκίμιο 2 φέρει θυσιαζόμενη άνοδο, ώστε να ελέγχεται η αποτελεσματικότητα της καθοδικής προστασίας. Το δοκίμιο εμβαπτίζεται περιοδικά σε φυσικό ή τεχνητό θαλασσινό νερό.
- Δοκίμιο 3: Το δοκίμιο αυτό ψύχεται στην εξωτερική πλευρά, ώστε να δημιουργείται διαβάθμιση της θερμοκρασίας, για να προσομοιάζονται οι συνθήκες μιας ψυχρής φρακτής, σε μία πλευρική δεξαμενή έρματος, ενώ ταυτόχρονα διαβρέχεται με φυσικό ή τεχνητό θαλασσινό νερό για την προσομοίωση των κινήσεων προνευτασμού και διατοιχισμού του πλοίου. Η διαβάθμιση της θερμοκρασίας είναι περίπου 20° C και το διάστημα διαβροχής είναι 3 sec ή λιγότερο. Το δοκίμιο φέρει χαραγή στην επικάλυψη, έως το γυμνό μέταλλο.
- Δοκίμιο 4: Το δοκίμιο αυτό διαβρέχεται περιοδικά με φυσικό ή τεχνητό θαλασσινό νερό για την προσομοίωση των κινήσεων προνευτασμού και διατοιχισμού του πλοίου. Το διάστημα της διαβροχής είναι 3 sec ή λιγότερο. Το δοκίμιο φέρει χαραγή στην επικάλυψη, έως το γυμνό μέταλλο.
- Δοκίμιο 5: Το δοκίμιο αυτό εκτίθεται σε συνθήκες ξήρανσης για 180 ημέρες, στους 70° C, για την προσομοίωση των συνθηκών σε συντομικό έλασμα, μεταξύ θερμαινόμενης δεξαμενής φορτίου και δεξαμενής έρματος, σε διπύθμενο.

Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος συλλέγονται και μετρώνται δεδομένα, σχετικά με τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Φλύκταινες και προϊόντα διάβρωσης
- Πάχος ξηρής στρώσης (*DFT*)
- Πρόσφυση
- Ελαστικότητα
- Καθοδική προστασία (απώλεια βάρους, απαιτούμενο ρεύμα)
- Υποκοπή από τη χαραγή





Εικόνα 7.7 - Φωτογραφία από τα δοκίμια εκτέλεσης των πειραμάτων [19]

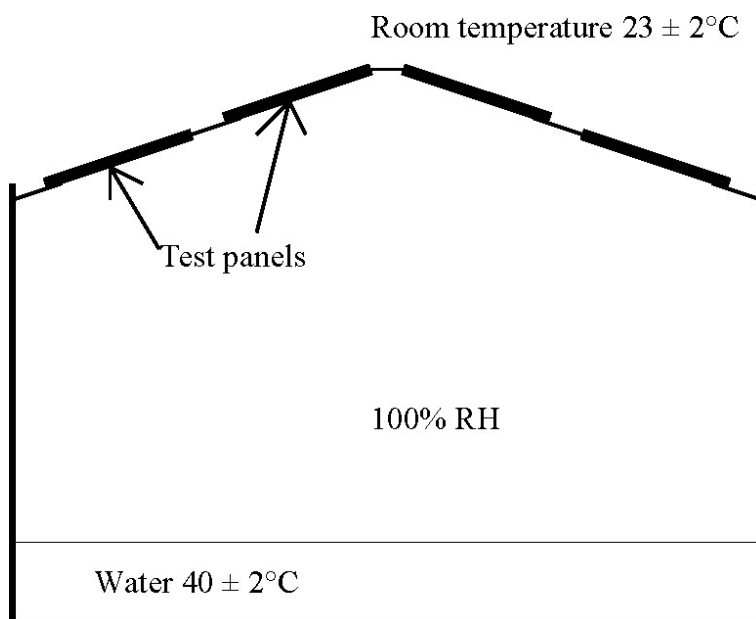
Τα αποτελέσματα, μετά το τέλος του πειράματος, για την αποδοχή του επικαλυπτικού ως συμβατού με το πρότυπο PSPC, πρέπει να είναι τα εξής:

- Να μην υπάρχουν καθόλου φλύκταινες, βελονισμοί ή επιφανειακή διάβρωση (*Ri D*)
- Η δοκιμή πρόσφυσης να δίνει τιμές για την αντοχή αποκόλλησης μεγαλύτερες από 3.5 MPa, σε περιοχή μεγαλύτερη του 60% της επιφάνειας των δοκιμίων
- Για τη συνοχή του επικαλυπτικού, η αντοχή σε εφελκυσμό πρέπει να υπερβαίνει τα 3 MPa, για περισσότερο από το 40% της επιφάνειας
- Η απαίτηση για καθοδική προστασία, να μη ξεπερνά τα 5 mA/m<sup>2</sup>
- Η αποκόλληση από την κυκλική τομή στην πλάκα 2 και από τις εγκάρσιες τομές στις πλάκες 1, 3, 4 να μην υπερβαίνει τα 8 mm έκτασης
- Στις περιοχές συγκόλλησης των ελασμάτων μορφής U, να μην υπάρχει αστοχία, ρωγμάτωση κ.τ.λ.

Με την ολοκλήρωση του πειράματος, τα δεδομένα συλλέγονται και παρουσιάζονται σε συγκεκριμένη μορφή/πρότυπο.

### 7.3.3 - Πείραμα σε περιβάλλον αυξημένης υγρασίας

Το πείραμα αυτό, το οποίο έχει επίσημη ονομασία: ISO 6270-1:1998 Επικαλυπτικά και βερνίκια – Υπολογισμός αντοχής στην υγρασία – Μέρος 1: Συνεχής Συμπύκνωση (*ISO 6270-1:1998 Paints and varnishes – Determination of resistance to humidity – Part 1: Continuous condensation*), έχει τα εξής χαρακτηριστικά:



Εικόνα 7.8 - Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης του θαλάμου συμπύκνωσης [59]

- Έχει διάρκεια εκτέλεσης 180 ημέρες
- Διατίθενται 2 δοκίμια, διαστάσεων 150 mm x 150 mm x 3 mm
- Η προετοιμασία και η εφαρμογή των επικαλύψεων στα δοκίμια γίνεται σύμφωνα με το παρόν πρότυπο. Τα δοκίμια επικαλύπτονται αρχικά με συμβατικό αστάρι ψευδαργύρου και παλαιώνονται για 2 μήνες. Έπειτα καθαρίζονται με ήπια μέθοδο, όχι με ψηγματοβολή ή υδροβολή
- Η πίσω πλευρά του δοκιμίου πρέπει να επικαλύπτεται κατάλληλα, ώστε να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών
- Τοποθετούνται στο θάλαμο συμπύκνωσης (Εικόνα 7.8)

Τα αποτελέσματα μετά το τέλος του πειράματος, για την αποδοχή του επικαλυπτικού ως συμβατού με το πρότυπο PSPC, πρέπει να είναι τα εξής:

- Να μην υπάρχουν καθόλου φλύκταινες, βελονισμοί ή επιφανειακή διάβρωση ( $Ri\ 0$ )
- Η δοκιμή πρόσφυσης να δίνει τιμές για τη δύναμη αποκόλλησης μεγαλύτερες από 3.5 MPa, σε περιοχή μεγαλύτερη του 60% της επιφάνειας των δοκιμών
- Για τη συνοχή του επικαλυπτικού, η αντοχή σε εφελκυσμό πρέπει να υπερβαίνει τα 3 MPa, για περισσότερο από το 40% της επιφάνειας

Με την ολοκλήρωση του πειράματος, τα δεδομένα συλλέγονται και παρουσιάζονται σε συγκεκριμένη μορφή/πρότυπο.

### 7.3.4 - Σημειώσεις – Σχόλια [15]

Οι τιμές των απαιτούμενων πειραματικών μετρήσεων αφορούν στα εποξειδικά επικαλυπτικά. Για οποιαδήποτε άλλα εξεταζόμενα επικαλυπτικά, το πρότυπο είναι κατά τι αυστηρότερο, επιβάλλοντας τιμές 5 MPa, αντί των 3 MPa και 3,5 MPa (αντοχή αποκόλλησης και αντοχή σε εφελκυσμό, αντίστοιχα). Τα πειράματα ελέγχου για τον προσδιορισμό χημικών και μηχανικών ιδιοτήτων, μετά τη λήξη του χρόνου έκθεσης, αντιστοιχούν στα εξής πρότυπα:

- ISO 2811-1/4:1997 (Υπολογισμός πυκνότητας επικαλυπτικού)
- ISO 4628/2:2003 (Υπολογισμός βαθμού διάβρωσης επικαλυπτικού)
- ISO 4624:2002 (Υπολογισμός αντοχής επικαλυπτικού σε αποκόλληση)
- ASTM D4145:1983 (Υπολογισμός αντοχής επικαλυπτικού σε ελαστικότητα)

Κάποια σχόλια του πειραματικού σκέλους του προτύπου είναι ότι δεν περιλαμβάνει δοκιμές των επικαλυπτικών σε συνθήκες κόπωσης των ελασμάτων/δοκιμίων που τα φέρουν και ότι εκφράζεται μια δυσπιστία στις νέες τεχνολογίες επικαλυπτικών (αυστηρότερες απαιτούμενες τιμές αντοχής), η οποία όμως είναι γόνιμη για την τεχνολογική εξέλιξη. Αναφορικά με την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα των πειραμάτων, μη έχοντας πληθώρα πειραματικών αποτελεσμάτων για τα επικαλυπτικά της αγοράς, αρκείται κανείς στην αναμονή για δημοσίευση αυτών. Όμως, και μόνο που έγινε μια προσπάθεια προσομοίωσης των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας των επικαλυπτικών, δείχνει κινήσεις προς τη σωστή κατεύθυνση. Πόσο μάλλον που το πρώτο πείραμα, αυτό της «δεξαμενής έρματος», χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια στον ιδιωτικό τομέα, για τον ποιοτικό έλεγχο ναυτιλιακών επικαλυπτικών. (Και τα δύο πειράματα του PSPC χρησιμοποιούνταν από την εταιρία Marintek για τον έλεγχο επικαλυπτικών στο παρελθόν)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – Γενικά συμπεράσματα

### Τεχνολογική εξέλιξη οργανικών επικαλυπτικών

Οι συνθήκες διάβρωσης στις δεξαμενές έρματος είναι εξαιρετικά δυσμενείς δεδομένου ότι οι συνεχείς εναλλαγές ερματισμού, το υψηλό ποσοστό υγρασίας και οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται δημιουργούν ένα περιβάλλον όπου οι επικαλύψεις φθείρονται με μεγαλύτερη ταχύτητα σε σχέση με άλλες περιοχές του πλοίου. Συνεπώς η επαρκής προστασία των τμημάτων αυτών αποτελεί σημαντική παράμετρο τόσο κατά τη σχεδίαση όσο και κατά τη λειτουργία του πλοίου προκειμένου να διασφαλίζεται η ακεραιότητα της μεταλλικής κατασκευής του.

Η πλειοψηφία των εφαρμογών επικαλύψεων αφορά σε εποξειδικά πολυμερή σε διάφορες μορφές (αμιγή εποξειδικά, εποξειδικά χωρίς διαλύτη κ.λπ.). Η υπάρχουσα τεχνογνωσία των εποξειδικών επικαλυπτικών δεν επαρκεί για τη μακροχρόνια προστασία των δεξαμενών του πλοίου (15+ έτη). Στα σημαντικά μειονεκτήματα των ουσιών αυτών περιλαμβάνεται η μειωμένη ελαστικότητα, χαρακτηριστικό άρρηκτα συνδεδεμένο με τη μοριακή δομή, η ταχεία απώλεια διαλύτη και η είσοδος θαλασσινού νερού εσωτερικά της στρώσης του επικαλυπτικού.

Τα τελευταία χρόνια ωστόσο αναπτύσσονται νέα εποξειδικά προϊόντα, όπως εποξειδικά επικαλυπτικά χωρίς διαλύτη (*100% solids*) για να αντιμετωπιστεί η ταχεία εξάτμιση του διαλύτη, όπως και εποξειδικά με ίνες ώστε να αυξηθεί η ελαστικότητα. Τα τελευταία βρίσκουν περιορισμούς στο μικρό πάχος στρώσης και στη διευκόλυνση της διείσδυσης θαλασσινού νερού στο εσωτερικό της στρώσης, λόγω μειωμένης κάλυψης των ενισχυτικών ινών της στρώσης. Επίσης, ενσωματώνονται στα επικαλυπτικά φθορίζουσες ουσίες για τη διευκόλυνση της επιθεώρησης της επικάλυσης, οι οποίες όμως δεν θα πρέπει να υποβαθμίζουν την αντιδιαβρωτική ικανότητα των επικαλυπτικών.

Η μεγαλύτερη τεχνολογική εξέλιξη στα επικαλυπτικά μοιάζει να είναι η εισαγωγή και εφαρμογή νέων χημικών ουσιών : πολυουρεθάνες και πολυουρίες. Οι πολυουρεθάνες και πολυουρίες έχουν σημαντικά μεγαλύτερη ελαστικότητα από τα εποξειδικά, αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα των ελαστικών παραμορφώσεων της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου. Επίσης, αυξάνεται πολύ η ταχύτητα ολοκλήρωσης των εργασιών επικάλυσης (για πλήρη πολυμερισμό, από 7 ημέρες για τα εποξειδικά στη 1 ημέρα για τις πολυουρεθάνες). Αναφορικά με την αντιδιαβρωτική προστασία που παρέχουν, δείχνουν να έχουν επιδόσεις εφάμιλλες των εποξειδικών.

Στους περιορισμούς των ουσιών αυτών περιλαμβάνονται ο μικρός χρόνος πολυμερισμού του επικαλυπτικού που καθιστά δυσχερή την εφαρμογή του σε δεξαμενές μεγάλης έκτασης. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με ταυτόχρονη εργασία περισσότερων του ενός συνεργείων επικάλυσης ανά τομέα, εφόσον κάτι τέτοιο είναι εφικτό (θέμα οργάνωσης παραγωγής). Επίσης, για τις ουσίες αυτές δεν υπάρχει σημαντικό ιστορικό εφαρμογής τους (*track record*) σε πλοία, παρά μόνο από το Πολεμικό Ναυτικό των Η.Π.Α. (δεξαμενές σημαντικά μικρότερων διαστάσεων απ' ότι στα εμπορικά πλοία). Έχουν χρησιμοποιηθεί μόνο σε επίγειες

δεξαμενές λυμάτων. Ωστόσο, παρά τα πλεονεκτήματα που φαίνεται να παρουσιάζουν οι ουσίες αυτές, από τη βιβλιογραφική έρευνα δεν προέκυψαν πολλές πληροφορίες.

Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι το βέλτιστο σύστημα επικάλυψης με βάση τη σημερινή τεχνολογία θα μπορούσε να είναι ένα επικαλυπτικό πολουρεθάνης-πολυουρίας, με φθορίζουσες ιδιότητες, με κατά το δυνατό μέγιστο χρόνο πολυμερισμού.

### Το πρότυπο PSPC

Μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις στον τομέα της προστασίας με επικαλύψεις αποτελεί η υιοθέτηση του νέου προτύπου για χρήση σε δεξαμενές έρματος PSPC (Performance Standard for Protective Coatings). Με το πρότυπο αυτό τυποποιούνται οι προδιαγραφές των επικαλυπτικών για χρήση σε δεξαμενές έρματος και θεσπίζονται διαδικασίες ελέγχου της απόδοσης των επικαλύψεων στη διάρκεια της ζωής του πλοίου.

Υπάρχουν, ωστόσο κάποιοι προβληματισμοί σχετικά με το πρότυπο:

- Δεν προτυποποιεί τη σωστή προετοιμασία της επιφάνειας
- Δεν συμπεριλαμβάνει την παράμετρο της ελαστικότητας των επικαλυπτικών στις ιδιότητες, αγνοώντας τη δυναμική φόρτιση της μεταλλικής κατασκευής
- Δεν καθορίζει ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα εγγύησης για τις επικαλύψεις
- Δεν παρουσιάζει καινοτόμες διαδικασίες, απλώς συνδυάζει προηγούμενη τεχνογνωσία (IACS, Marintek)
- Αυξάνει πολύ τη γραφειοκρατία, ενδεχομένως και το κόστος ναυπήγησης

Η διαδικασία επικάλυψης των δεξαμενών έρματος πρέπει να ολοκληρώνεται στο ναυπηγείο. Όμως, ακόμα και μετά τη θέσπιση του νέου προτύπου, πολλές παράμετροι για τη σωστή εφαρμογή των επικαλύψεων επαφίενται στο ναυπηγείο για την εκτέλεσή τους. Προτείνεται λοιπόν η πιστοποίηση της τεχνικής κατάρτισης του προσωπικού του ναυπηγείου που ασχολείται με τις επικαλύψεις. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει με τη δημιουργία σεμιναρίων, τα οποία να εκδίδουν πιστοποιητικά καταλληλότητας για το συνεργείο βαφής, ίσως με τη συνδρομή των κατασκευαστών επικαλυπτικών.

Ένα σύνθετο πρόβλημα στις επικαλύψεις είναι η μείωση του χρόνου προετοιμασίας της επιφάνειας, πριν τη βαφή, και του χρόνου πολυμερισμού του επικαλυπτικού, μετά από αυτήν. Ο λόγος είναι η αύξηση της παραγωγικότητας του ναυπηγείου. Οι δύο αυτοί παράγοντες είναι ουσιώδεις για τη σωστή εφαρμογή των επικαλύψεων και πρέπει να ενσωματωθούν σε κανονισμό, όπως π.χ. αυτόν του PSPC. Κάτι παρόμοιο ισχύει για την περίοδο εγγύησης των επικαλύψεων (συνήθως 1 έτος). Ο χρόνος αυτός πρέπει να αυξηθεί, εφόσον τα επικαλυπτικά και οι συνθήκες εφαρμογής τους παραμένουν εντός των προδιαγραφών. Με την αύξηση του χρόνου εγγύησης και την επιβολή ρήτρας σε περίπτωση πρόωρης αστοχίας, το ναυπηγείο θα οδηγηθεί στην πλήρη αποδοχή της σωστής τεχνικής για την εφαρμογή των οργανικών επικαλύψεων δεξαμενών έρματος.

**Πειραματικό ενδιαφέρον**

Από τη μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, το συμπέρασμα είναι ότι πρέπει να επεκταθεί η έρευνα στο θέμα της απώλειας διαλύτη από τα εποξειδικά σε συνάρτηση με τη μείωση ελαστικότητας των επικαλυπτικών. Ειδικά για τη μέτρηση της ελαστικότητας των επικαλυπτικών, μέχρι σήμερα δεν έχει προκύψει πειραματική διάταξη που να ενσωματώνει τις επιμέρους συνθήκες λειτουργίας των δεξαμενών έρματος (φόρτιση κόπωσης). Αποτέλεσμα αυτού είναι η απουσία σχετικής δοκιμής πιστοποίησης από το νέο πρότυπο PSPC.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Εξώφυλλο: **Guidance Notes on the Application and Maintenance of Marine Coating Systems.**

Ηλεκτρονική Έκδοση ([www.eagle.org](http://www.eagle.org)), 2007, American Bureau of Shipping (ABS)

- [1] **Διάβρωση και Προστασία Ναυπηγικών Κατασκευών**, Πρόχειρες Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Ε.Μ.Π., 2006, Δ. Ι. Παντελής, Θ. Τσιούρβα, Σχολή Ναυπηγών Μηχ/γων Μηχ/κων
- [2] **Ναυπηγική Τεχνολογία**, Πρόχειρες Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Ε.Μ.Π., 1995, Βασίλης Ι. Παπάζογλου, Σχολή Ναυπηγών Μηχ/γων Μηχ/κων
- [3] **Επιθεώρηση, Συντήρηση και Επισκευή της Μεταλλικής Κατασκευής του Πλοίου**, Εκδότης: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2002, Πέτρος Α. Καρύδης, Σχολή Ναυπηγών Μηχ/γων Μηχ/κων
- [4] **Λίγα κείμενα για επικαλύψεις και για δοκιμές τους**, Πρόχειρες Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Ε.Μ.Π., 2001, Παναγιώτα Βασιλείου, Σχολή Χημικών Μηχ/γων Μηχ/κων
- [5] **Marine Painting Manual**, Publisher: Graham & Trotman Ltd, 1989, A. M. Berendsen
- [6] **Corrosion Prevention by Protective Coatings**, Publisher: National Association of Corrosion Engineers (NACE) – 2<sup>nd</sup> Edition, 1999, Charles G. Munger
- [7] **Marine and Offshore Corrosion**, Publisher: Butterworths & Co, 1985, Keneth A. Chandler
- [8] **Corrosion Engineering**, Publisher: Mc Graw Hill, 3<sup>rd</sup> Edition, 1987, Mars G. Fontana
- [9] **Uhlig's Corrosion Handbook**, Publisher: John Wiley & Sons Inc., 2<sup>nd</sup> Edition, 2000, R. Winston Revie
- [10] **Confined Space Safe Practice**, Ηλεκτρονική Έκδοση ([www.iacs.org.uk](http://www.iacs.org.uk)), 2003, International Association of Classification Societies (IACS).
- [11] **Guidelines for Coating Maintenance & Repairs for Ballast Tanks and Combined Cargo/Ballast Tanks on Oil Tankers**, Ηλεκτρονική Έκδοση ([www.iacs.org.uk](http://www.iacs.org.uk)), 2004, International Association of Classification Societies (IACS)
- [12] **Guidance Notes on the Application and Maintenance of Marine Coating Systems**, Ηλεκτρονική Έκδοση ([www.eagle.org](http://www.eagle.org)), 2007, American Bureau of Shipping (ABS)
- [13] **Classification Societies Perspective of marine Coating**, Proceedings of 32<sup>nd</sup> Wegemt School of Marine Coatings, pp. 239-255, 2000, Sille Gjotheim & Erik Askheim
- [14] **Corrosion / Corrosion Protection - What impact will this have on modern Ship Design**, Paper Series No. 2000-P008, 2000, Wilhelm Magelssen, Det Norske Veritas (DNV)
- [15] **Stricter Coating Rules Cause Mixed Feelings**, [www.germanlloyd.org](http://www.germanlloyd.org), 2007, GL First Class Exchange Forum, Germanischer Lloyd (GL)
- [16] **Guidelines for Performance Standard for Protective Coatings contained in IMO Resolution MSC.215(82)**, Ηλεκτρονική Έκδοση ([www.classnk.or.jp](http://www.classnk.or.jp)), 2007, Nippon Kaiji Kyokai (NKK)
- [17] **Chugoku Product Manual**, 2005, Chugoku Marine Paints Ltd.
- [18] **Hempel Frosio Book**, σελ. 310-330, ([www.hempel.com](http://www.hempel.com)), 2004, Hempel A/S
- [19] **Testing and Classification of Coatings Intersield Newbuilding ENA 300/ENA 303 Bronze and ENA 301/ ENA 303 Alluminium on Prerusted Panels**, [www.international-coatings.com](http://www.international-coatings.com), 1996, Marintek - Det Norske Veritas (DNV)

- [20] **Testing and Classification of Coatings Intersield Newbuilding ENA 300/ENA 303 Bronze and ENA 301/ ENA 303 Alluminium on Zinc-Shopprimed Panels.** [www.international-coatings.com](http://www.international-coatings.com), 1996, Marintek - Det Norske Veritas (DNV)
- [21] **Intergard 343 - Universal Primer Presentation.** [www.international-coatings.com](http://www.international-coatings.com), 2005, International Coatings Ltd.
- [22] **Water Ballast Tank Coatings Recommended Working Procedures Brochure.** [www.international-coatings.com](http://www.international-coatings.com), 2004, International Coatings Ltd.
- [23] **International World Catalogue v6.** International Coatings Ltd.
- [24] **Pure Epoxies vs Epoxy Mastics for Maintenance.** [www.jotun.com](http://www.jotun.com), 2004, Miles Buckhurst
- [25] **Silicate or Epoxy Zinc Primers - The superior protection.** [www.jotun.com](http://www.jotun.com), 2006, Havard Undrum
- [26] **Jotun Coating Manual.** Ηλεκτρονική Έκδοση, 2000, Jotun A/S
- [27] **The Integration of Prefabrication Primer Coated Steelwork with Modern Ship Construction.** Proceedings of 32<sup>nd</sup> Wegemt School of Marine Coatings, pp. 165-183, 2000, R. M. Hudson
- [28] **Time and Cost Effects of the Coating progress.** Proceedings of 32<sup>nd</sup> Wegemt School of Marine Coatings, pp. 185-203, 2000, Dr. M. Raouf Kattan
- [29] **Corrosion Prevention in Sea Water Ballast Tanks.** Proceedings of 32<sup>nd</sup> Wegemt School of Marine Coatings, pp. 257-269, 2000, Bill Woods
- [30] **Corrosion Protection Systems for Ballast Tanks and Void Spaces.** [www.amteccorrosion.com](http://www.amteccorrosion.com), 2007, Dr Jane Lomas
- [31] **Inspection and Performance in Ballast Tanks.** [www.amteccorrosion.com](http://www.amteccorrosion.com), Dr. Les Callow
- [32] **Αμμοβολή – Υδροβολή και Επιπτώσεις στο Περιβάλλον και στον Άνθρωπο.** Διπλωματική Εργασία, 2008, Νίκος Παπαχαρίτου, Σχολή Ναυπηγών Μηχ/γων Μηχ/κων
- [33] **Single Coat & Rapid Cure Tank Coating Systems Presentation.** [www.mines.edu](http://www.mines.edu), 2004, Arthur A. Webb, Paul Slebodnick, Bill Groeninger, Bill Needham, Rich Hays
- [34] **Naval Materials Science and Technology for Corrosion Control Presentation.** [www.corrdefense.org](http://www.corrdefense.org), 2004, Dr. David A. Shifler
- [35] **Fluorescence Emission Sensing in Coatings: Method for Defects Detection in Coated Surfaces of Structural Elements.** Progress in Organic Coatings, Vol 58, pp. 282-289, 2007, Belal Gharaibeh, Mohammad Omar, Abraham J. Salazar, Kozo Saito
- [36] **Infrared Thermography (IRT) and Ultraviolet Fluorescence (UVF) for the Non Destructive Evaluation of Ballast Tanks' Coated Surfaces.** NDT&E International, Vol. 40, pp. 62-70, 2007, Mohammed A. Omara, Belal Gharaibeh, Abraham J. Salazar, Kozo Saito
- [37] **IR Self-Referencing Thermography for Detection of In-Depth Defects.** Infrared Physics & Technology, Vol. 46, pp. 283-289, 2005, M. Omar, M. I. Hassan, K. Saito, R. Alloo
- [38] **Holiday Detection using Infrared Thermography.** [www.corrdefense.org](http://www.corrdefense.org), 2004, Omar M., Hassan M., Saito K.
- [39] **Rust 2003 Corrosion Technology Exchange Presentation.** [www.corrdefense.org](http://www.corrdefense.org), 2003, Mark Schultz
- [40] **Optimizing Fluorescent Pigment in Paint Formulation for Holiday Detection Presentation.** [www.corrdefense.org](http://www.corrdefense.org), 2004, B. Gharaibeh, A. Salazar, K. Saito, J. Angal, P. Gossen
- [41] **Impact Resistant Polyurethane Topcoat.** [www.jotun.com](http://www.jotun.com), 2004, Anders Braekke



- [42] **Balloyx HB Lumi Press Release**, www.jotun.com, 2004, Jotun A/S
- [43] **Fiber Reinforced Crack Resistant Epoxy Coatings**, www.hempel.com, 2006, Lars Thorslund Pedersen, Claus Kynding Jensen
- [44] **Hempadur-Fibre 4760 Brochure**, www.jotun.com, 2007, Hempel A/S
- [45] **100% Solids Polyurethanes, the Next Generation of Water Tank Linings**, Proceedings of Corrosion '92, NACE Annual Conference, Paper No.433, 1992, Howard Kennedy
- [46] **100% Solids Polyurethane and Polyurea Coatings Technology**, Coatings World, March 2003, pp. 49-58, 2003, Shiwei William Guan
- [47] **CorroCote II UltraLiner Technical Data**, www.madisonchemical.com, 2007, Madison Chemical Industries
- [48] **Protec II Technical Data**, www.futura coatings.com, 2008, Futura Coatings
- [49] **Futura-Thane 527 Technical Data**, www.futura coatings.com, 2008, Futura Coatings
- [50] **Iraseal 200 Technical Data**, www.futura coatings.com, 2008, Futura Coatings
- [51] **Ballast Tank Coatings Guide**, www.jotun.com, 2006, Jotun A/S
- [52] **New Class Rules for Protective Coating**, Proceedings of 8th ICME Symposium, 2000, Erik Askheim, Olav Nakken, Bjorn K. Haugland
- [53] **Ballast Tank Protection – Black Magic or Black Hole?**, Journal of Protective Coatings & Linings, November 2001, pp. 20-24, 2001, Dr. Les Callow
- [54] **Ballast Water Treatment Technologies, Corrosion Control Issues**, Journal of Protective Coatings & Linings, July 2005 pp. 4-9, 2005, Egil Dragsund, Bjorn Olaf Johannessen, Aage B. Andersen
- [55] **Inspection and Performance of Coatings in Ballast Tanks**, Journal of Protective Coatings & Linings, April 2003, pp. 42-44, 2003, Dr. Jane Lomas, Dr. Les Callow
- [56] **Why do Paints Crack?**, Journal of Protective Coatings & Linings, March 2001, pp.49-55, 2001, Erik Askheim, John Olav Nokleby, Lennart Carlsson, Magnus Palm
- [57] **Factors Influencing Early Crack in Marine Cargo and Ballast Tank**, Journal of Protective Coatings & Linings, February 2006, pp. 10-21, 2006, Dr. George Mills, Johnny Eliasson
- [58] **Inspection of Luminescent Tank Linings Presentation**, www.jotun.com, 2005, E. Bowry
- [59] **Performance Standard for Protective Coatings for Dedicated Seawater Ballast Tanks in all Types of Ships and Double-Side Skin Spaces of Bulk Carriers / Resolution MSC.215(82)**, Ηλεκτρονική Έκδοση (www.imo.org), 2006, International Maritime Organization (IMO)
- [60] **Guidelines for the selection, application and maintenance of corrosion prevention systems of dedicated seawater ballast tanks / Resolution A.798(19)**, Ηλεκτρονική Έκδοση (www.imo.org), 1998, International Maritime Organization (IMO)
- [61] **Draft amendment of the Rules and Guidance related to the Performance Standard for Protective Coatings**, Ηλεκτρονική Έκδοση (www.imo.org), 2007, International Maritime Organization (IMO)