



Τ.Ε.Ι. ΑΘΗΝΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΤΙΤΛΟΣ: «Μέθοδοι αντιδιαβρωτικής προστασίας πλοίων – Καθοδική Προστασία»



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ:
ΣΩΤΗΡΗΣ Π. ΣΤΕΦΑΝΟΥΛΗΣ Α.Μ.: 13017

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ

ΑΘΗΝΑ, 2017

Περιεχομενα

Τ.Ε.Ι. ΑΘΗΝΑΣ.....	1
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.	
ΤΙΤΛΟΣ: «Μέθοδοι αντιδιαβρωτικής προστασίας πλοίων – Καθοδική Προστασία»	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
ABSTRACT	4
Συντήρηση των μεταλλικών κατασκευών.....	5
Τι είναι η οξείδωση - διάβρωση.....	6
Προετοιμασία επιφάνειας συγκολλήσεων.....	7
Σημασία του καθαρισμού των επιφανειών.....	8
Προετοιμασία της επιφάνειας για επικάλυψη με αντιδιαβρωτικά και αντιρρυπαντικά χρώματα.....	8
Απολίπανση (degreasing).....	9
Απομάκρυνση του στρώματος οξειδίων ή καλαμίνας (millscale) με την έκθεση στο εξωτερικό περιβάλλον (removal of millscale by weathering).....	9
Μηχανικός τρόπος προετοιμασίας (mechanical cleaning).....	10
Καθαρισμός με εργαλεία χειρός.....	10
Μηχανικός καθαρισμός με χρήση ηλεκτροκίνητων εργαλείων.....	11
Καθαρισμός με φλόγα (Flame cleaning).....	11
Καθαρισμός με εμβάπτιση σε οξέα (pickling).....	12
Καθαρισμός με ψηγματοβολή.....	12
Ψηγματοβολή με χρήση ακροφυσίων (nozzle blasting).....	13
Ψηγματοβολή με χρήση φυγόκεντρου συμπιεστή (impeller / centrifugal blasting).....	14
Καθαρισμός με υδροβολή (water blasting).....	15
Καθαρισμός με αμμοβολή (sand blasting).....	16
Εναλλακτικές μέθοδοι καθαρισμού και προετοιμασίας.....	16
Υδροαμμοβολή.....	16
Υδροαμμοβολή με “κουρτίνα” νερού.....	17
Υδροαμμοβολή τύπου πολφού.....	18
Υδροαμμοβολή με έγχυση αποξεστικού.....	19
Βαφή μεταλλικών επιφανειών.....	20
Εισαγωγή.....	20
Μέθοδοι βαφής.....	20

<u>Αντιδιαβρωτικά χρώματα.....</u>	<u>21</u>
<u>ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....</u>	<u>23</u>
<u>ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....</u>	<u>23</u>
<u>ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΙΣΑΛΟ ΓΡΑΜΜΗ.....</u>	<u>25</u>
<u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....</u>	<u>26</u>
<u>ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΓΑΛΒΑΝΙΚΕΣ ΑΝΟΔΟΥΣ.....</u>	<u>27</u>
<u>Αριθμός και μάζα ανόδων</u>	<u>27</u>
<u>Διάταξη των ανόδων.....</u>	<u>29</u>
<u>Οι άνοδοι πρέπει να εγκαθίστανται σε ομοιόμορφα κατανεμημένη διάταξη, για να παρέχεται ικανοποιητική ηλεκτρική προστασία σε όλες τις περιοχές της κατασκευής. Ορισμένες χρήσιμες παρατηρήσεις σχετικά με την κατανομή των ανόδων δίνονται παρακάτω.....</u>	<u>29</u>
<u>Έλεγχος και συντήρηση του συστήματος καθοδικής προστασίας.....</u>	<u>31</u>
<u>ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....</u>	<u>32</u>
<u>Παροχή Ρεύματος και ανορθωτές.....</u>	<u>32</u>
<u>Άνοδοι και ηλεκτρόδια αναφοράς σε σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος.....</u>	<u>33</u>
<u>Διάταξη ανόδων και ηλεκτροδίων αναφοράς.....</u>	<u>35</u>
<u>ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΛΛΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....</u>	<u>36</u>
<u>ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ.....</u>	<u>36</u>
<u>ΥΔΡΟΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (ΣΕΝΤΙΝΕΣ).....</u>	<u>38</u>
<u>ΠΛΩΤΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ.....</u>	<u>39</u>
<u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	<u>40</u>
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	<u>41</u>
<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</u>	<u>42</u>

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την παρουσίαση των αντιδιαβρωτικών μεθόδων προστασίας του πλοίου. Περιλαμβάνει αναφορές σε θέματα που αφορούν το φαινόμενο της διάβρωσης, τα διάφορα είδη διάβρωσης και διαβρωτικού περιβάλλοντος, τα μέτρα προστασίας κατά το στάδιο του σχεδιασμού και τις μεθόδους προστασίας του πλοίου που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της διάβρωσης καθώς και άλλα χρήσιμα και απαραίτητα στοιχεία για την κατανόηση του φαινομένου.

ABSTRACT

The present study aims to present the anticorrosion methods protection of the ship. Includes reports on issues related to the phenomenon of corrosion, various types of corrosion and corrosive environment, protection measures at the design stage and the ship's protection methods used for corrosion limitation and other useful and necessary data for understanding the phenomenon.

Συντήρηση των μεταλλικών κατασκευών

Ως γνωστόν, κάθε μεταλλική κατασκευή χρειάζεται διαρκή συντήρηση προκειμένου να αντέξει στο χρόνο και να μπορεί να ανταποκριθεί στο σκοπό για τον οποίο έχει κατασκευαστεί. Η προστασία των μετάλλων από τη διάβρωση αποτελεί σήμερα πολύ σοβαρό τεχνικό και οικονομικό ζήτημα, καθώς η χρήση των μετάλλων σε όλων των ειδών τις βιομηχανικές κατασκευές είναι ιδιαίτερα διευρυμένη. Αυτό ισχύει τόσο για οποιαδήποτε βιομηχανική εγκατάσταση όσο και για τα πλοία.

Ιδιαίτερα στη ναυπηγική και ναυπηγοεπισκευαστική βιομηχανία και πιο συγκεκριμένα στα πλοία, η συντήρηση είναι το άλφα και το ωμέγα για την διατήρηση της επιχειρησιακής τους αξίας και χρήσης, εφόσον οι επιπτώσεις της διάβρωσης είναι πολύ πιο έντονες όταν μια μεταλλική κατασκευή λειτουργεί σε έντονα διαβρωτικό περιβάλλον, όπως είναι το θαλάσσιο περιβάλλον. Έτσι, στην περίπτωση των πλοίων, ένα έλασμα πρέπει να αντικαθίσταται αν η διάβρωση έχει προχωρήσει ακόμα και στο 10% του πάχους του.

Ο σημαντικότερος λόγος της συντήρησης (προστασίας) της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, είναι η πρόληψη της φθοράς και των ζημιών που προκύπτουν από την οξείδωση των ελασμάτων του. Η μη σωστή συντήρηση και προστασία του πλοίου από την οξείδωση μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την καταστροφή του, την ρύπανση των μεταφερομένων φορτίων ή και του περιβάλλοντος. Η φθορά που προξενεί η οξείδωση (διάβρωση) στο αρχικά υπολογισμένο πάχος των στοιχείων της κατασκευής, συνεπάγεται τη μείωση της αντοχής της με καταστροφικά πολλές φορές αποτελέσματα. Για την αντιμετώπισή της χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι καθαρισμού και προετοιμασίας των ελασμάτων και στη συνέχεια η προστασία των επιφανειών με χρωματισμό.

Η προστασία από τη διάβρωση είναι επιβεβλημένη τόσο από οικονομικής πλευράς όσο και γιατί συνδέεται άμεσα με την ίδια την ασφάλεια του πλοίου, αφού η διάβρωση είναι υπεύθυνη για:

- Τις διακοπές στο χρόνο πλεύσης ενός πλοίου.
- Τη μείωση της ταχύτητας ενός πλοίου και την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμων.
- Τα υψηλά κόστη συντήρησης και επισκευών.
- Τη μόλυνση ή τη καταστροφή των φορτίων που μεταφέρουν τα πλοία.
- Τη μόλυνση του περιβάλλοντος από διαρροές καυσίμων, λιπαντικών, φορτίων κλπ.

- Τα προβλήματα ασφαλείας όταν το μέταλλο χάνει την αντοχή για την οποία έχει σχεδιαστεί.
- Την απώλεια σημαντικών μηχανικών ιδιοτήτων των ελασμάτων, όπως π.χ. η θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Εάν ληφθούν υπ' όψη και οι ισχύοντες αυστηροί διεθνείς κανονισμοί που αφορούν στην διατήρηση της καλής κατάστασης της κατασκευής του πλοίου, είναι ευνόητο πόσο σημαντική και απαραίτητη είναι η συντήρηση των ελασμάτων του πλοίου. Τόσο στο στάδιο της αρχικής κατασκευής του πλοίου όσο και στη συντήρηση και επισκευή του είναι εξ' ίσου σπουδαία η προετοιμασία (βάσει προδιαγραφών) της επιφάνειας των ελασμάτων για την εφαρμογή του χρώματος, όσο και η εφαρμογή του σωστού χρωματισμού, για να αποφευχθεί μια σημαντική αντικατάσταση ελασμάτων

στο μέλλον ή και άλλες δυσμενείς επιπτώσεις στο πλοίο, στο περιβάλλον και στον

άνθρωπο κατ' επέκταση. Όπως αναφέρθη ο εχθρός των μεταλλικών κατασκευών είναι η οξείδωση. Οξείδωση καλούμε την χημική ένωση μιας ουσίας (όπως ο σίδηρος και τα άλλα μέταλλα των ελασμάτων του πλοίου) με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας που έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία οξειδίων των μετάλλων (σκουριές). Πως όμως μπορεί να προστατευθεί ένα έλασμα ή ένα μεταλλικό κατασκεύασμα γενικότερα, από την οξείδωση; Προφανώς όταν θα μπορεί να υπάρξει ένα εμπόδιο (φράγμα) μεταξύ του ελάσματος και των εχθρικών παραγόντων που επιφέρουν την οξείδωση που είναι το ατμοσφαιρικό οξυγόνο (οξειδωτικό) και το θαλασσινό νερό (διαβρωτικό περιβάλλον). Για να πετύχουμε αυτό πρέπει να επιστρώσουμε την επιφάνεια του ελάσματος με το

κατάλληλο σύστημα χρωματισμού. Αυτή η μεμβράνη ή στρώμα χρώματος είναι το αδιαπέραστο εμπόδιο που αποτρέπει την επαφή του ελάσματος με την υγρασία, το οξυγόνο ή και χημικούς παράγοντες που δημιουργούν την οξείδωση. Ειδικά όσον αφορά στη ναυπηγική και ναυπηγοεπισκευαστική βιομηχανία, η πλέον διαδεδομένη μέθοδος προστασίας των πλοίων από τη διάβρωση παγκοσμίως είναι η επαναλαμβανόμενη κατά τακτά χρονικά διαστήματα διαδικασία καθαρισμού και βαφής των εσωτερικών (αμπάρια, δεξαμενές) και εξωτερικών επιφανειών τους.

Τι είναι η οξείδωση - διάβρωση

Η οξείδωση είναι λίγο πολύ το ίδιο με το να λέμε σκωρία ή σκωρίαση. Η σκουριάγίνεται όταν το μέταλλο περνά από τη διαδικασία της οξείδωσης. Ως γνωστόν, ο σίδηρος και ο χάλυβας δεν βρίσκονται στη φυσική τους μορφή, αλλά προέρχονται από το μέταλλευμα μαζί με κάρβουνο ή κοκ. Το σιδηρομέταλλευμα μαζί με το κάρβουνο θερμαίνονται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία στο καμίνι ή σε ηλεκτροκλίβανο. Κατά τη διαδικασία αυτή μεγάλα ποσά ενέργειας εισάγονται στο μέταλλευμα. Μερική από αυτή την ενέργεια αποθηκεύεται στο σίδηρο ή τον χάλυβα και κάθε τμήμα τούτων μπορεί να θεωρηθεί στο εξής σαν μια φορτισμένη μπαταρία. Είναι γνωστό ότι όταν μια μπαταρία ξεφορτίζεται, η κάψουλα ψευδάργυρου γύρω από την μπαταρία καταναλώνεται και ο υγρός ηλεκτρολύτης (συχνά καλούμενος οξύ) τρέχει έξω. Αυτή η κάψουλα του ψευδάργυρου καλείται άνοδος. Ακριβώς το ίδιο

συμβαίνει και με το μέταλλο. Μερικά συστατικά του χάλυβα φθείρονται ή οξειδώνονται κατά την απελευθέρωση ενέργειας, δηλαδή το μέταλλο σκουριάζει.

Προκειμένου να έχουμε αυτή τη δράση πρέπει να έχουμε τις ίδιες συνθήκες σε ένα έλασμα, όπως συμβαίνει και σε μια μπαταρία. Ένα ηλεκτρικό στοιχείο η μπαταρία έχει ως γνωστό δυο άκρα - πόλους (την άνοδο και την κάθοδο). Εάν παρατηρήσουμε το χάλυβα με ένα μικροσκόπιο, θα δούμε ότι αποτελείται από μέρη ή κρυστάλλους διαφορετικής απόχρωσης, που σημαίνει ότι είναι και

διαφορετικής σύστασης. Σε μια μπαταρία έχουμε το οξύ σαν ηλεκτρολύτη. Ο χάλυβας, εάν παρατηρηθεί σε μεγένθυση, αποτελείται πλήρως από ανωμαλίες και πόρους. Σε αυτά τα σημεία η υγρασία ή το νερό είναι εύκολο να συγκεντρωθούν και έτσι με τις ακαθαρσίες του μετάλλου ή με το αλάτι δημιουργούν ηλεκτρολύτη. Επί πλέον επειδή το οξυγόνο του αέρα αντιδρά με το σίδηρο όταν απελευθερώνεται ηλεκτρική ενέργεια, με την παρουσία του αέρα είναι φυσικό να αρχίσει η διαδικασία της διάβρωσης. Ένα έλασμα το οποίο δεν προστατεύεται και εκτίθεται στον αέρα και την υγρασία, εκλύει ένα μεγάλο αριθμό από μικροσκοπικά στοιχεία τα οποία μπορούν κάλλιστα να συγκριθούν με μια φορτισμένη μπαταρία. Έτσι η ενέργεια η οποία αρχικά δόθηκε για τη δημιουργία του μετάλλου, εκλύεται, με αποτέλεσμα να δημιουργείται σκουρία. Χημικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η σκουρία είναι το ίδιο με το σιδηρομετάλλευμα. Ο κύκλος έχει ολοκληρωθεί και είμαστε στην αρχή της φυσικής κατάστασης στην οποία ο σίδηρος και ο χάλυβας συναντώνται. Με αλλά λόγια η οξείδωση είναι μια φυσική ηλεκτροχημική αντίδραση που γίνεται

από:

- μια ανοδική αντίδραση $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
- μια καθοδική αντίδραση $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$
- έναν ηλεκτρολύτη, το θαλασσινό νερό
- μια αγώγιμη επιφάνεια

Εξαλείφοντας μια από αυτές τις αντιδράσεις αποφεύγουμε την οξείδωση. Η εφαρμογή ενός συστήματος χρωματισμού δρα σαν εμπόδιο μεταξύ του αέρα, της υγρασίας (και πολύ περισσότερο της θάλασσας) και του μεταλλικού υποστρώματος, επιτυγχάνοντας έτσι μια επιβράδυνση ή και σταμάτημα της καθοδικής αντίδρασης.

Προετοιμασία επιφάνειας συγκολλήσεων

Οι συγκολλήσεις της κατασκευής ενός πλοίου αποτελούν επίσης ένα εξαιρετικά σημαντικό τμήμα, το οποίο συχνά παραμελείται όταν πρόκειται να βαφεί ένα πλοίο. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η πράξη έχει δείξει, ότι η πρώτη περιοχή της κατασκευής, στην οποία αστοχεί η βαφή είναι αυτή των συγκολλήσεων. Συμβαίνει στην κατασκευή ενός πλοίου μια συγκόλληση να γίνει αποδεκτή κατασκευαστικά (αντοχή), ενώ η επιφάνειά της είναι ακατάλληλη για να επιστρωθεί με κάποιιο χρώμα. Προκειμένου να μη συμβεί το παραπάνω θα πρέπει η επιφάνεια μιας συγκόλλησης να είναι συνεχής και απαλλαγμένη από τρύπες (*pinholes*), προεξοχές (*sharp projection*) και υπερβολικές υποκοπές (εσοχές). Συγκεκριμένα, όπου είναι δυνατό, θα πρέπει να απομακρυνθούν τα κατάλοιπα των συγκολλήσεων (*weld spatters*) γιατί εισχωρούν

στο φιλμ του επιστρώματος και προκαλούν την αποφλοιώσή του. Επειδή τα κατάλοιπα των συγκολλήσεων είναι πιθανόν να είναι αλκαλικά, σαπωνοποιούν τον φορέα των χρωμάτων (χρώματα λαδιού) και τον καταστρέφουν. Έτσι ενθαρρύνουν την υποχώρηση και άλλων χρωμάτων. Γενικά, οι συγκολλήσεις θα πρέπει να καθαρίζονται με ψηγματοβολή για να φύγουν οι διάφορες ακαθαρσίες και όλα τα προαναφερθέντα. Τέλος, οι διάφορες τρύπες ή εσοχές πρέπει να γεμίζονται με κάποιο υλικό (εποξειδικό 2 συστατικών, επανασυγκολλήσεις). Το τρίψιμο (βούρτσισμα) της επιφάνειας μιας συγκόλλησης δεν πρέπει να προχωρήσει πολύ, διότι μπορεί να εξασθενήσει τη συγκόλληση. Προτείνεται, επίσης, η επικάλυψη της περιοχής των συγκολλήσεων με ένα επιπλέον στρώμα ασταριού (*primer*) ως πρόσθετη προφύλαξη έναντι της διάβρωσης.

Σημασία του καθαρισμού των επιφανειών

Για την επίστρωση όμως του κατάλληλου χρώματος και τη σωστή πρόσφυση τούτου στη μεταλλική επιφάνεια, απαιτείται η κατάλληλη προετοιμασία του υποστρώματος (της ανωτέρας επιφάνειας του ελάσματος), σύμφωνα πάντοτε με τις ισχύουσες διεθνείς προδιαγραφές. Η προετοιμασία αυτή επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους οι οποίες απομακρύνουν παλαιά χρώματα και στρώματα σκουριάς από την επιφάνεια του ελάσματος και το αφήνουν καθαρό για την επίστρωση του νέου χρώματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα που τονίζει τη σημασία του σωστού καθαρισμού και της σωστής προετοιμασίας των επιφανειών, αποτελεί το γεγονός ότι, περίπου το 90% των αστοχιών βαφής οφείλεται σε προβλήματα της προετοιμασίας των επιφανειών και μόνο το 10% σε άλλους λόγους (ποιότητα χρωμάτων, εφαρμογή της βαφής, κλπ). Καθαρισμός και προετοιμασία των επιφανειών (*surface preparation*) ονομάζεται η διαδικασία απομάκρυνσης όλων των ξένων σωμάτων και ουσιών από μια επιφάνεια και η δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών για τη σωστή πρόσφυση των προστατευτικών επιστρωμάτων.

Προετοιμασία της επιφάνειας για επικάλυψη με αντιδιαβρωτικά και αντιρρυπαντικά χρώματα

Η κατάλληλη προετοιμασία μίας μεταλλικής επιφάνειας είναι εξαιρετικής σπουδαιότητας για τη όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης που πρόκειται να βαφεί. Λέγοντας προετοιμασία επιφάνειας εννοούμε την εις βάθος απομάκρυνση όλων των ακαθαρσιών (όπως είναι η σκόνη, η σκουριά, τα διάφορα λίπη, τα διαλυόμενα άλατα και οποιοδήποτε άλλο ξένο σωματίδιο), οι οποίες επιδρούν στην αποδοτικότητα του συστήματος βαφής. Ως ξένα σωματίδια εννοούμε τα διάφορα διαλυτά άλατα του νερού και τα κατάλοιπα από τις ηλεκτροσυγκολλήσεις τα οποία μπορούν να αφαιρεθούν μόνο με πλύσιμο της επιφάνειας. Μόνον όταν η χαλύβδινη επιφάνεια προετοιμασθεί, έτσι ώστε να μας εξασφαλίσει καλή και σταθερή πρόσφυση του συστήματος βαφής, τότε είναι σίγουρη η μεγάλης διάρκειας προστασία της επιφάνειας από τους παράγοντες της οξείδωσης, καθόσον τα προϊόντα της διάβρωσης και οι ακαθαρσίες δημιουργούν τοπικά γαλβανικά στοιχεία, με συνέπεια την επιτάχυνση καταστροφής του συστήματος βαφής. Η ισχυρή πρόσφυση του επιστρώματος στην χαλύβδινη επιφάνεια απαιτεί τον πλήρη καθαρισμό της επιφάνειας και την ελαφριά τράχυνση της επιφάνειας του προστατευόμενου χάλυβα, εφόσον η ελαφριά αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας σημαίνει αύξηση της

επιφάνειας επαφής με συνέπεια την καλύτερη πρόσφυση του συστήματος βαφής. Γενικά, το σύστημα βαφής και η προετοιμασία της επιφάνειας

βρίσκονται πάντα σε αλληλεξάρτηση, και η σημασία της κατάλληλης προετοιμασίας της επιφάνειας δεν μπορεί να υπερτονισθεί. Στην βιομηχανία της δημιουργίας και της συντήρησης των πάσης φύσεως κατασκευών χρησιμοποιούνται οι πιο κάτω μέθοδοι προετοιμασίας των προς βαφή

επιφανειών:

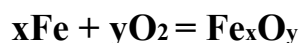
- Απολίπανση (*degreasing*).
- Απομάκρυνση του στρώματος οξειδίων ή της καλαμίνας (*millscale*) με έκθεση στο εξωτερικό περιβάλλον (*removal of mill scale (oxide layer) by weathering*).
- Μηχανικός καθαρισμός (*mechanical cleaning*).
- Καθαρισμός με φλόγα (*flame cleaning*).
- Καθαρισμός με εμβάπτιση σε οξέα (*pickling*).
- Καθαρισμός με κύριες και εναλλακτικές μεθόδους ψηγματοβολής (*blast cleaning*).

Απολίπανση (degreasing)

Η διαδικασία της απολίπανσης περιλαμβάνει την απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων λίπους και λαδιών, όσο είναι δυνατό, με τη μέθοδο της απόξεσης. Στη συνέχεια απομακρύνονται οι διάφορες παραμένουσες ουσίες με τη χρήση οργανικών διαλυτικών ή απορρυπαντικών σε υδατική διάλυση (συνδυασμένων μερικές φορές με γαλακτοποιημένα οργανικά διαλυτικά). Η απομάκρυνση κάθε ίχνους λίπους ή λαδιού από την επιφάνεια που πρόκειται να βαφεί κρίνεται απολύτως απαραίτητη, διότι τα λίπη θα χαλάσουν την πρόσφυση του συστήματος βαφής, θα προ καλέσουν ανομοιογένεια στην επιφάνεια και έτσι προδιαθέτουν για διάβρωση με βελονισμούς. Τα οργανικά διαλυτικά που χρησιμοποιούνται για τον παραπάνω σκοπό είναι: ακετόνη, αλκοόλες, βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλένιο, τριχλωροαιθυλένιο, τετραχλωράνθρακας, χλωρομεθυλένιο και επιλέγονται ανάλογα με το είδος της μεταλλικής επιφάνειας και το οικονομικό σκέλος της εργασίας. Ήδη από την φάση αυτή αρχίζουν τα προβλήματα για την υγεία των εργαζομένων, εφόσον τα περισσότερα από τα προαναφερθέντα απολιπαντικά προϊόντα εί ναι επικίνδυνα ή πολύ επικίνδυνα.

Απομάκρυνση του στρώματος οξειδίων ή καλαμίνας (millscale) με την έκθεση στο εξωτερικό περιβάλλον (removal of millscale by weathering)

Κατά τη διάρκεια της παραγωγής θερμικά ανοπτημένων χαλύβδινων ελασμάτων ο θερμός χάλυβας αντιδρά με το O₂ και σχηματίζει οξείδια κατά την αντίδραση:



Τα σχηματιζόμενα υπό μορφή στρώματος οξειδία είναι τα : Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO . Αυτό το στρώμα οξειδίων που ποικίλει σε πάχος και σύνθεση ανάλο γα με τη θερμοκρασία έλασης και το μέγεθος του χάλυβα, ονομάζεται καλαμίνα (*millscale*). Η καλαμίνα (*millscale*) είναι λοιπόν η επιφανειακή οξείδωση που παρουσιάζουν τα ελάσματα, δοκάρια, σωλήνες κλπ. όταν εξέρχονται καινούργια από τα έλαστρα του εργοστασίου παραγωγής. Είναι χρώματος μαύρου και είναι αρκετά σκληρή. Ο λόγος που πρέπει να αφαιρείται είναι επειδή από τα διάφορα ραγίσματα στο στρώμα της καλαμίνας, η οξείδωση εισχωρεί στο εσωτερικό του μετάλλου, με αποτέλεσμα τη διάβρωση. Η περαιτέρω οξείδωση της καλαμίνας παρουσιάζει μια κίτρινη πούδρα και στο επόμενο στάδιο οξείδωσης είναι πιο έντονη η παρουσία της κιτρίνης πούδρας με την ταυτόχρονη απολέπιση (ξεφλούδισμα) του στρώματος της καλαμίνας. Η μέθοδος απομάκρυνσης της καλαμίνας με τη βοήθεια των καιρικών συνθηκών είναι η παλαιότερη και απαιτεί την έκθεση των ελασμάτων στο ανοικτό περιβάλλον. Αν αυτό συμβαίνει κατά τη συναρμολόγηση των ελασμάτων και κατά την ανέγερση του πλοίου, η διαδικασία ονομάζεται «δόμηση στη σκουριά» (*building in the rust*). Κατά την διάρκεια της «δόμησης στη σκουριά» ενός πλοίου οι επιφάνειες των ελασμάτων προσβάλλονται από άλατα της θάλασσας μεταφερόμενα με τον αέρα. Τα άλατα αυτά δεν απομακρύνονται τελείως με χειρονακτικές μεθόδους καθαρισμού (ματσακόνι, βούρτσες) και η παραμονή το υς είναι καταστροφική για το σύστημα βαφής που θα χρησιμοποιηθεί. Αν η καλαμίνα δεν απομακρυνθεί από την χαλύβδινη επιφάνεια, λόγω της κακής πρόσφυσής της στο μεταλλικό υπόστρωμα, το χρώμα χάνει πιο σύντομα την πρόσφυσή του στην επιφάνεια και, λόγω της διαφοράς δυναμικού μεταξύ της καλαμίνας και του χάλυβα, δημιουργείται γαλβανικό στοιχείο και η καταστροφή του συστήματος βαφής επιταχύνεται. Έτσι λοιπόν χειρονακτικές μέθοδοι καθαρισμού χαλύβδινων επιφανειών δεν προτείνονται, όπου το σύστημα βαφής πρόκειται να εκτεθεί σε θαλάσσιο περιβάλλον, όπως είναι τα ναυπηγεία.

Μηχανικός τρόπος προετοιμασίας (*mechanical cleaning*)

Καθαρισμός με εργαλεία χειρός

Η απολίπανση των επιφανειών, όπου είναι απαραίτητη, θα έπρεπε πάντα να προηγείται του καθαρισμού με εργαλεία χειρός. Κοινώς χρησιμοποιούμενα εργαλεία καθαρισμού είναι τα ματσακόνια (*chipping hammers*), κοπίδια (*scrapers*), μηχανήματα εξομάλυνσης (*chisels*) κ.α. Όταν η επιφάνεια έχει απελευθερωθεί από την χαλαρώς προσκολλημένη σκουριά, το χαλαρό χρώμα και τις διάφορες ακαθαρσίες, βουρτσίζεται με συρματόβουρτσες ή τρίβεται με αποξεστικές ουσίες (σμουριδόπανα). Στη συνέχεια, αφαιρείται η σκόνη με καθαρό πεπιεσμένο αέρα ή με μια μαλακιά βούρτσα. Το πρώτο στρώμα βαφής θα έπρεπε να επιχρισθεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα μετά τον καθαρισμό της επιφάνειας. Ο καθαρισμός με εργαλεία χειρός είναι κατάλληλος μόνον για την απομάκρυνση της χαλαρής σκουριάς, της χαλαρής καλαμίνας, των φυλλιδίων μπογιάς και άλλων επιφανειακών ακαθαρσιών. Χρησιμοποιείται μόνον για τοπικές επισκευές ή σε μέρη του πλοίου απρόσιτα στον μηχανικό καθαρισμό και στον καθαρισμό με ψηγματοβολή, επειδή είναι μια διαδικασία με πολύ ένταση και ποιοτικώς κατώτερη.

Μηχανικός καθαρισμός με χρήση ηλεκτροκίνητων εργαλείων

Η απολίπανση, όπου αυτή χρειάζεται, θα έπρεπε να προηγείται του μηχανικού καθαρισμού με εργαλεία, ο οποίος εκτελείται μέσω αεροκίνητων (πνευματικών) και φορητών ηλεκτρικών εργαλείων. Η δράση του καθαρισμού επιτυγχάνεται ή με πρόσκρουση ή με περιστροφή ή με συνδυασμό και των δύο. Τα συνηθισμένα εργαλεία καθαρισμού κρούσης είναι οι σφύρες σμίλευσης/απολέπισης, ενώ τα εργαλεία καθαρισμού περιστροφής είναι ευθείες ή κάθετες μηχανές. Τονίζεται ότι πρέπει να αποφεύγεται ο παρατεταμένος διάρκειας καθαρισμός με περιστροφικά εργαλεία, γιατί οδηγεί σε εξαιρετικά λεία επιφάνεια, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πρόσφυση του χρώματος στο μέταλλο. Μετά τον μηχανικό καθαρισμό με εργαλεία, ακολουθεί η απομάκρυνση της σκόνης και κατόπιν όσο το δυνατόν γρηγορότερα η επίχριση του πρώτου στρώματος βαφής. Προφανώς ο μηχανικός καθαρισμός με εργαλεία είναι λιγότερο χρονοβόρος και δίνει καλύτερα αποτελέσματα από τον χειρονακτικό μηχανικό καθαρισμό. Είναι όμως, ακριβότερο από τον καθαρισμό με ψηγματοβολή, ιδίως για μεγάλες επιφάνειες. Επίσης, εκτός των εργαλείων περιστροφικής κρούσης, με τον μηχανικό καθαρισμό επιτυγχάνεται στην καλύτερη περίπτωση μερική απομάκρυνση της καλαμίνας. Για τους παραπάνω λόγους ο μηχανικός καθαρισμός με εργαλεία χρησιμοποιείται κυρίως για τοπικές επισκευές, απομάκρυνση σκουριάς μικρών περιοχών, επεξεργασία κατεστραμμένων ή καμένων περιοχών και ραφών συγκόλλησης (*welding seams*). Παράλληλα, σύμφωνα με το *ISO 8501*, κανονισμοί με λεπτομερείς περιγραφές και κατάλληλα φωτογραφικά παραδείγματα ορίζουν βαθμούς προετοιμασίας επιφανειών που έχουν υποστεί μηχανικό καθαρισμό (*St*), ως εξής:

St 2 : Λεπτομερής καθαρισμός με εργαλεία χειρός ή εργαλεία ισχύος. Όταν η επιφάνεια εξετάζεται χωρίς μεγέθυνση, πρέπει να είναι απαλλαγμένη από ορατά λάδια, λίπη, ακαθαρσίες και ελαφρώς προσκολλημένη καλαμίνα, επιστρώματα βαφής και ξένα υλικά.

St 3 : Πολύ λεπτομερής καθαρισμός με εργαλεία χειρός ή με εργαλεία ισχύος. Ισχύει ό,τι ισχύει και για το βαθμό προετοιμασία *St 2*, με τη διαφορά ότι τώρα η επιφάνεια θα υποστεί πιο λεπτομερή προετοιμασία ώστε να αποκτήσει μια μεταλλική λάμψη. Υπάρχει, επίσης, και ο βαθμός προετοιμασίας **St 1**, ο οποίος αναφέρεται σε επιφάνειες ακατάλληλες για βαφή.

Καθαρισμός με φλόγα (*Flame cleaning*)

Κατά τη διαδικασία αυτή, φλόγα οξυγόνου -ακετυλενίου (ή προπανίου) πέφτει στην χαλύβδινη επιφάνεια και η θερμική διαστολή που πραγματοποιείται μεταξύ του χάλυβα και της καλαμίνας ή της σκουριάς προκαλεί την απομάκρυνση των τελευταίων. Η ταχύτητα της φλόγας πάνω στη χαλύβδινη επιφάνεια εξαρτάται από την κατάσταση της επιφάνειας και δύναται να ποικίλλει μεταξύ των τιμών 1 έως 5 m/min. Χαμηλές ταχύτητες πρέπει να χρησιμοποιηθούν για ελάσματα πολύ οξειδωμένα ή για βαμμένα ελάσματα. Η αναλογία μεταξύ καύσιμου αερίου και οξυγόνου θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην εναποτίθενται ποσότητες αιθάλης (καπνιάς) πάνω στα ελάσματα (οξειδωτική φλόγα). Πριν τον καθαρισμό με φλόγα πρέπει να απομακρυνθούν τα στρώματα σκουριάς με απόξεση, ενώ μετά τον καθαρισμό η επιφάνεια πρέπει να περαστεί με μηχανική συρματοβούρτσα. Πάντως με

τη μέθοδο αυτή δεν απομακρύνονται πλήρως η καλαμίνα και η σκουριά, ενώ το τελικό αποτέλεσμα είναι σχετικά φτωχό. Για τον λόγο αυτό ο καθαρισμός με φλόγα είναι ακατάλληλος, όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν συστήματα βαφής υψηλής ποιότητας. Επίσης απαιτείται πολύ προσοχή κατά την εφαρμογή της μεθόδου, λόγω υψηλού κινδύνου φωτιάς (δεν εφαρμόζεται σε πλωτές κατασκευές). Ο καθαρισμός με φλόγα προτιμάται συνήθως όταν για οποιοδήποτε λόγο ο καθαρισμός με βολή είναι αδύνατον ή ανεπίτρεπτο να εφαρμοσθεί, π.χ. όταν η βαφή πρόκειται να πραγματοποιηθεί σε υγρές καιρικές συνθήκες. Σύμφωνα με τους Διεθνείς Κανονισμούς ISO 8501 -1(1988), ο βαθμός προετοιμασίας της επιφάνειας που επιτυγχάνεται με τον καθαρισμό με φλόγα περιγράφεται και συμβολίζεται ως εξής:

F 1: καθαρισμός με φλόγα. Η επιφάνεια του χάλυβα, όταν εξετάζεται χωρίς μεγεθυντικό φακό, θα πρέπει να είναι απαλλαγμένη από την καλαμίνα, τη σκουριά, παλαιά βαφή και από ξένα υλικά (υδατοδιαλυτά άλατα, κατάλοιπα) συγκολλημένων. Οποιαδήποτε εναπομείναντα κατάλοιπα θα φαίνονται μόνον ως αποχρωματισμός της επιφάνειας (σκιές διαφορετικών χρωμάτων).

Καθαρισμός με εμβάπτιση σε οξέα (*pickling*)

Κατά τη διαδικασία αυτή, η επιφάνεια του χάλυβα εμβάπτιζεται σε θερμό λουτρό οξέων, με τη βοήθεια των οποίων καθαρίζεται η σκουριά. Επίσης, στην εμβάπτιση προστίθενται επιβραδυντές προκειμένου να αποφευχθεί η άμεση προσβολή του μετάλλου από το οξύ. Πριν εφαρμοσθεί η παραπάνω μέθοδος, ο χάλυβας πρέπει να απολιπανθεί και να απαλλαγθεί από τη σκόνη (σε μεγάλο ποσοστό). Η απολίπανση συνήθως πραγματοποιείται σε θερμό λουτρό. Αμέσως μετά την εφαρμογή της μεθόδου ο χάλυβας ξεπλένεται με φρέσκο καθαρό νερό για να απομακρυνθούν τα κατάλοιπα του οξέος. Αν αυτό δεν γίνει προσεκτικά και λεπτομερώς, το σύστημα βαφής μπορεί να αστοχήσει πρόωρα. Μετά το ξέπλυμα ο χάλυβας παθητικοποιείται με ζεστό φωσφορικό οξύ. Ο χάλυβας που προκύπτει είναι πιο λείος από αυτόν που καθαρίζεται με ψηγματοβολή. Πάντως, η μέθοδος καθαρισμού με εμβάπτιση σε οξέα εφαρμόζεται ελάχιστα (ως καθόλου) στα ναυπηγεία, διότι απαιτεί μεγάλου μεγέθους δεξαμενές και παράγει βλαβερά και διαβρωτικά αέρια. Επίσης, λόγω των τεχνικών και οικονομικών προβλημάτων που προκύπτουν λόγω της αποθήκευσης ισχυρών οξέων και οξυγόνου, που απαιτούν υψηλή κατανάλωση νερού. Συνήθως η μέθοδος εφαρμόζεται από

ειδικές βιομηχανίες, όπως οι σωληνοουργικές. Οι πιο συνηθισμένες διαδικασίες καθαρισμού με εμβάπτιση σε οξέα είναι οι παρακάτω:

- Μέθοδος θεικού οξέος (εμβάπτιση) / φωσφορικού οξέος (παθητικοποίηση).
- Μέθοδος υδροχλωρικού οξέος / φωσφορικού οξέος.
- Μέθοδος φωσφορικού οξέος / φωσφορικού οξέος.

Καθαρισμός με ψηγματοβολή

Η ψηγματοβολή (*blast-cleaning*) αποτελεί, εδώ και αρκετές δεκαετίες, την αποδοτικότερη και την πλέον διαδεδομένη μέθοδο καθαρισμού και προετοιμασίας προς βαφή μεγάλων μεταλλικών κυρίως επιφανειών, με εφαρμογές σε πολλές βιομηχανικές δραστηριότητες και ειδικότερα σε εκείνες που αφορούν στη

ναυπηγοεπισκευαστική βιομηχανία. Η αρχή λειτουργίας της ψηγματοβολής στηρίζεται στη βίαια προώθηση ρεύματος αποξεστικού υλικού πάνω στην επιφάνεια. Τα αποξεστικά υλικά (άμμος, ορυκτά, αποκαμινεύματα, ψήγματα μετάλλων κλπ.) με την πρόσπτωση στην επιφάνει απομακρύνουν τα επιστρώματα βαφής, τα προϊόντα οξείδωσης και άλλα υπολείμματα και προετοιμάζουν την επιφάνεια για βαφή. Πριν εφαρμοσθεί η παραπάνω διαδικασία καθαρισμού, όπου είναι απαραίτητο, η επιφάνεια θα πρέπει να έχει απολιπανθεί, να έχουν απομακρυνθεί η καλαμίνα, τα υπόλοιπα των συγκολλήσεων και όλες οι τυχόν ακαθαρσίες, έτσι ώστε η επιφάνεια να έχει γίνει λεία. Μετά τον καθαρισμό με ψηγματοβολή, η επιφάνεια ελευθερώνεται από την σκόνη και το πρώτο στρώμα βαφής επιχρίεται όσο το δυνατό πιο γρήγορα.

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της μεθόδου, οι διαφορές των οποίων συνίσταται στο μέγεθος των χρησιμοποιούμενων 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 παλιά φθαρμένα και κατεστραμμένα επικαλυπτικά συστήματα. Η επιφάνεια που θα προκύψει δεν πρέπει

να είναι εξαιρετικά λεία, αλλά τραχειά και σε τέτοιο βαθμό ώστε να επιτυγχάνεται η ικανοποιητική πρόσφυση του χρώματος στο μέταλλο. Σημαντικοί παράγοντες για έναν σωστό καθαρισμό με ψηγματοβολή είναι:

- ♣ Η κατάλληλη επιλογή του ψήγματος (υλικό, μέγεθος, πιθανή ρύπανση).
- ♣ Η έγκαιρη απομάκρυνση σκόνης και ακαθαρσιών.
- ♣ Η κατάλληλη πίεση βολής.
- ♣ Ξηρός αέρας (όταν χρησιμοποιείται).
- ♣ Η 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 (*compressed air*). Ειδικότερα, όταν εφαρμόζεται σε πλοία και πλωτές 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, εάν υπάρχουν, θα πρέπει να προστατεύονται από τη σκόνη που παράγεται. Πρόσφατες παραλλαγές της μεθόδου κάνουν χρήση συστημάτων τα οποία ελαττώνουν την σκόνη που απελευθερώνεται. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η προσθήκη νερού ή ατμού στο ρεύμα αέρα-ψηγμάτων. 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 ψηγματοβολή με τη βοήθεια ορυκτών ψηγμάτων και ταυτόχρονη επίχρισή της με το πρώτο στρώμα βαφής. Αυτό το στρώμα ξηραίνεται αρκετά γρήγορα, είναι εποξικό και περιέχει ενώσεις του ψευδαργύρου (*zinc epoxy primer*). Πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η γρήγορη αποπεράτωση της εργασίας και η δυνατότητα επίχρισης ακόμα και υγρών επιφανειών υπό μη ευνοϊκές καιρικές 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 χρώμα περιέχει αδρανή ψήγματα τα οποία ελαττώνουν την πρόσφυσή 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. Τραχεία επιφάνεια μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη ψηγμάτων πολλαπλών εδρών (*grits*), αλλά αυτό αποφεύγεται λόγω προβλημάτων που δημιουργούνται στα πτερωτά στροφεία των φυγόκεντρων μηχανών.

Αξιοσημείωτο είναι ότι υπάρχουν ειδικοί τύποι φορητών μηχανών καθαρισμού με χρήση φυγόκεντρου συμπιεστού, 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 δουλέψουν σε όλη την έκταση της επιφάνειας της γάστρας, ακόμα και των μεγάλων πλοίων. Τα πλεονεκτήματα των φορητών αυτών μηχανών είναι η χωρίς μόλυνση και σκόνη 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 (γωνίες ή προεξοχές), η συχνή συντήρησή τους και οι συσσωματώσεις των ψηγμάτων σε συνθήκες υγρασίας.

Καθαρισμός με υδροβολή (*water blasting*)

Υδροβολή ονομάζουμε τη μέθοδο καθαρισμού διαφόρων επιφανειών ποικίλων υλικών (όπως για παράδειγμα χάλυβα, πέτρας, τσιμέντου, πλαστικού, ξύλου) με την χρήση της εκτόξευσης πίδακα (τζετ) νερού από κάποιο ειδικό εργαλείο («πιστόλι») με μεγάλη πίεση πάνω στην επιφάνεια. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένας εκτοξευτήρας νερού υψηλής πίεσης (περίπου 150 ως 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.

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 υδρο-εκτόξευση (*hydro - jetting*) και επιτυγχάνει την απομάκρυνση ακόμα και των παλαιών στρωμάτων βαφής και πολύ καλά προσκολλημένης σκουριάς. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα απομάκρυνσης παλιών στρωμάτων βαφής στις περιοχές εκείνες που εμείς επιθυμούμε. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν θέλουμε να απομακρύνουμε κάποιο ανώτερο στρώμα βαφής, χωρίς να υποστούν ζημιά τα στρώματα που βρίσκονται κάτω από αυτό. Επίσης με υδρο-εκτόξευση απομακρύνονται στρώματα θερμοπλαστικών χρωμάτων που με άλλες μεθόδους ψηματοβολής 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-ψηματοβολή (*wet abrasive blast-cleaning*) και το μέσο μεταφοράς είναι ο πεπιεσμένος αέρας. Τα τρία συστατικά (αέρας – νερό - ψήγμα) αναμειγνύονται 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 (φουσκάλες), ιδιαίτερα στα βυθισμένα μέρη των πλοίων και των πλωτών

κατασκευών.

Η μέθοδος καθαρισμού με υδροβολή είναι επίσης ο αποτελεσματικότερος τρόπος απομάκρυνσης των αλάτων από τις επιφάνειες υπό ρύπανση. 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 σίγουρα ακατάλληλη για την επίχριση κάποιου χρώματος, εκτός αν χρησιμοποιηθούν ειδικά αστάρια ανθεκτικά στην υγρασία. Η μέθοδος της υδροβολής χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια στη ναυπηγική και ναυπηγοεπισκευαστική βιομηχανία για τον προκαταρκτικό καθαρισμό ή «πλύσιμο»

(*wash down*) των επιφανειών των πλοίων, πριν τον κυρίως καθαρισμό. Σκοπός αυτής της υδροβολής χαμηλής/μέσης πίεσης (100 -500 *bar*) είναι η απομάκρυνση των θαλάσσιων οργανισμών (στρειδώνα, «μαλλί», κλπ), καθώς και των χαλαρών κομματιών σκουριάς και παλιών βαφών («χλαπάτσας»). Τα τελευταία όμως χρόνια έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο τεχνικές απ' ευθείας καθαρισμού και προετοιμασίας προς βαφή μεταλλικών επιφανειών με υδροβολή υψηλής πίεσης. Αυτές οι τεχνικές, μαζί με τις τεχνικές της ψηγματοβολής θα μας απασχολήσουν στην συνέχεια του έργου.

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 επιστρωμάτων και οξειδίων, καθώς και η επίτευξη κατάλληλης τραχύτητας ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη πρόσφυση της βαφής πάνω στο μέταλλο. Παλαιότερα η πυριτική άμμος ήταν το μοναδικό αποξεστικό μέσο που χρησιμοποιείτο σε ξηρές ανοικτές ψηγματοβολές. Η χρήση της συνδέθηκε με την θανατηφόρα ασθένεια των πνευμόνων, την σιλίκωση, η οποία προκαλείται από την εισπνοή κρυσταλλικού SiO_2 , που περιέχεται σε ψηλά ποσοστά στη σύστασή της και το οποίο δημιουργεί σοβαρούς κινδύνους για την υγεία τόσο των εργαζομένων όσο και των ατόμων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από την περιοχή εκπομπής. Σήμερα, η χρήση της έχει περιοριστεί έως και αντικατασταθεί από άλλα αποξεστικά μέσα.

Εναλλακτικές μέθοδοι καθαρισμού και προετοιμασίας

Παρά τα σημαντικά της πλεονεκτήματα η κλασική ξηρή ψηγματοβολή ως μέθοδος καθαρισμού και προετοιμασίας εμφανίζει μειονεκτήματα αναφορικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλεί. Επιπλέον εμφανίζεται, εντονότερη από ποτέ, η ανάγκη για υψηλή ποιότητα εργασίας με ταυτόχρονη ανταγωνιστική απόδοση. Αποτέλεσμα των παραπάνω, είναι η ανάπτυξη ενός ευρέως φάσματος εναλλακτικών αποξεστικών υλικών και μεθόδων καθαρισμού και προετοιμασίας επιφανειών που χρησιμοποιούνται σήμερα στη ναυπηγοεπισκευαστική βιομηχανία.

Υδροαμμοβολή

Αποτελεί την πρώτη εναλλακτική μέθοδο και άρχισε να εφαρμόζεται βιομηχανικά, εδώ και περίπου 40 χρόνια. Αναπτύχθηκε με κύριο στόχο την μείωση της σκόνης που παράγεται από την ξηρή ψηγματοβολή. Εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως ελαχιστοποίηση της σκόνης και η παράδοση χημικά ουδέτερης επιφάνειας προς βαφή. Παρά όμως τα σημαντικά πλεονεκτήματά της, παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα με συνέπεια να μην μπορεί να εδραιωθεί ως μια αξιόπιστη λύση στον καθαρισμό μεταλλικών επιφανειών. Τα κυριότερα μειονεκτήματά της είναι το υψηλό κόστος, οι μεγάλες απαιτήσεις σε φρέσκο νερό, οι χαμηλοί βαθμοί παραγωγικότητας στις περισσότερες περιπτώσεις, η εμφάνιση ακαριαίας οξείδωσης πάνω στην καθαρή επιφάνεια μετά από πολύ μικρό χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να επιβάλλεται η χρησιμοποίηση αντισκωριακών

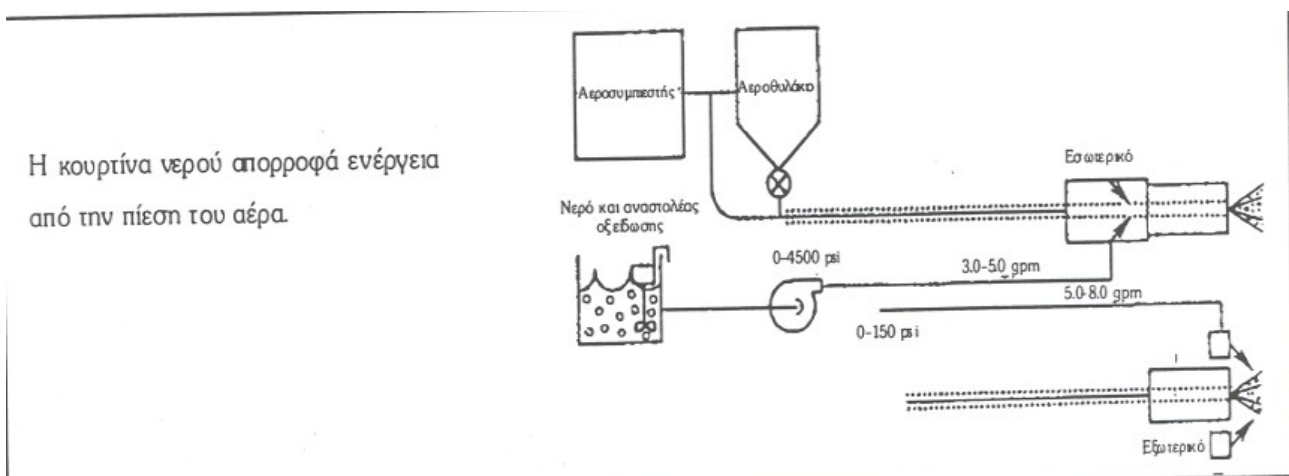
διαλυμάτων (*inhibitors*) και η παραγωγή υγρών αποβλήτων (μίγμα νερού και αποξεστικού) με αποτέλεσμα η διαχείριση των αποβλήτων να είναι δύσκολη. Σήμερα

έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές υδροαμμοβολής, με σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, οι σημαντικότερες από τις οποίες περιγράφονται συνοπτικά ακολούθως.

Υδροαμμοβολή με “κουρτίνα” νερού

Κατά την τεχνική αυτή, ένας απλός κυλινδρικός προσαρμογέας τοποθετείται γύρω από το ακροφύσιο δημιουργώντας ένα κώνο νερού γύρω από το ρεύμα αέρα και αποξεστικό όταν αυτό αφήνει το ακροφύσιο (**Εικόνα 1**).

Η μείωση της ταχύτητας του αποξεστικού τη στιγμή που αυτό φεύγει από το ακροφύσιο είναι μικρή, καθώς το νερό δεν αναμιγνύεται μέχρι τη στιγμή εκείνη με το αποξεστικό.



Εικόνα 1: Υδροαμμοβολή με " κουρτίνα " νερού

Η τεχνική αυτή μειώνει το ποσοστό της αερομεταφερόμενης σκόνης κατά 50 -75%. Εμφανίζει όμως το μειονέκτημα της μικρής μείωσης της ταχύτητας καθαρισμού, σε σχέση με την ξηρή ψηγματοβολή, λόγω του ότι η κουρτίνα νερού απορροφά ενέργεια από την πίεση του αέρα (**Εικόνες 2 και 3**).



Εικόνα 2: Υδροαμμοβολή με κουρτίνα νερού.



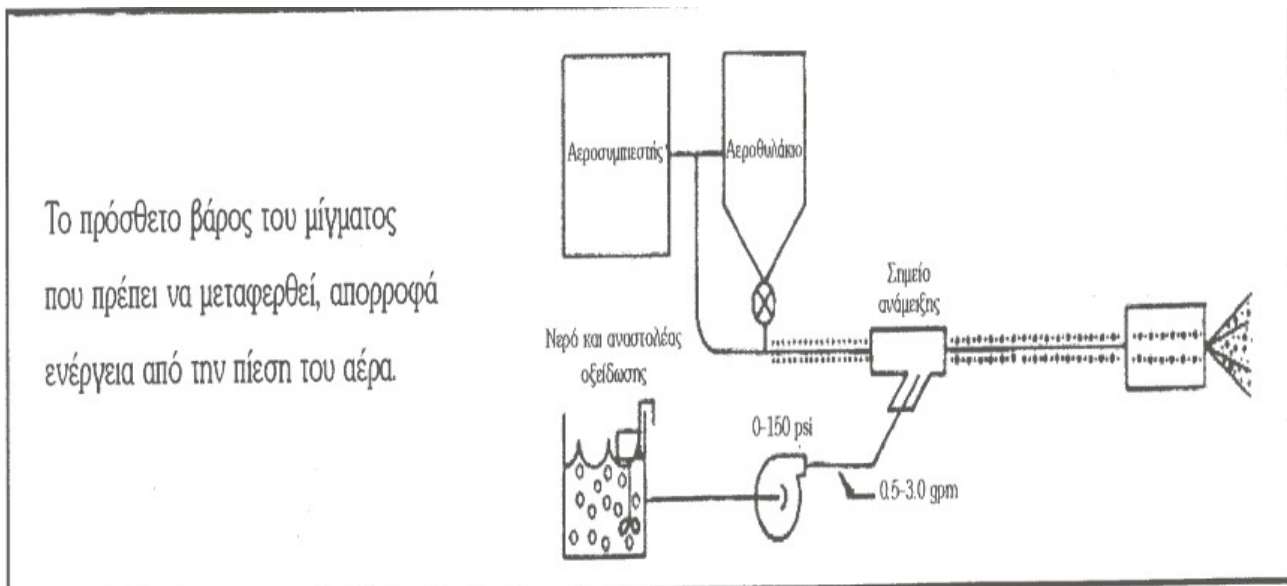
Εικόνα 3: Ακροφύσιο για υδροβολή με κουρτίνα

Υδροαμμοβολή τύπου πολφού

Σύμφωνα με αυτή την τεχνική, το νερό προστίθεται στο αποξεστικό, μέσα στο σωλήνα, σε σημείο ανάμεσα στην κεντρική μονάδα και το ακροφύσιο. Έτσι το μίγμα αέρα, νερού και αποξεστικού προωθείται στο σωλήνα και φθάνει στο ακροφύσιο (**Εικόνα 4**).

Χαρακτηριστικό της τεχνικής είναι ότι ο αέρας, το νερό και το αποξεστικό μπορούν να ελέγχονται ανεξάρτητα, είτε από τον ίδιο τον αμμοβολιστή με τη βοήθεια μικροδιακοπών είτε από άλλο χειριστή ο οποίος μπορεί να βρίσκεται σε ακουστική επαφή με τον αμμοβολιστή.

Πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η δραστική μείωση της παραγόμενης σκόνης, λόγω της πλήρους ανάμειξης του αποξεστικού με το νερό. Το πολύ σημαντικό όμως μειονέκτημα της απορρόφησης μεγάλου ποσοστού ενέργειας από την πίεση του αέρα λόγω του πρόσθετου βάρους του μίγματος που πρέπει να μεταφερθεί, μαζί με το υψηλό κόστος του απαιτούμενου εξοπλισμού, καθιστούν δύσκολη την εφαρμογή της.

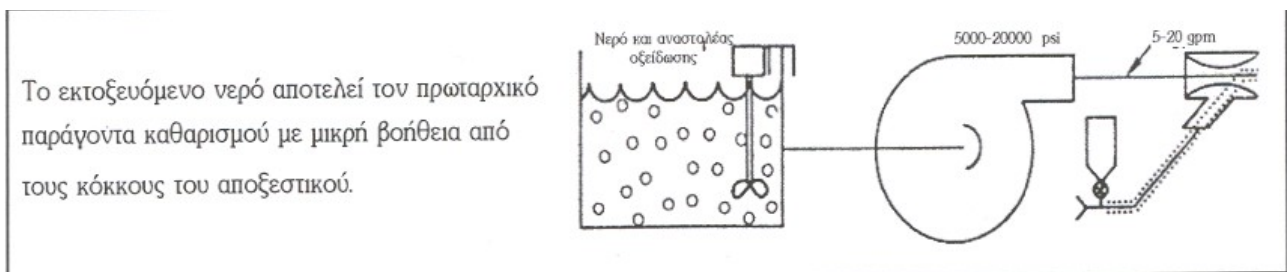


Εικόνα 4: Υδροαμβολή τύπου πολφού

Υδροαμβολή με έγχυση αποξεστικού

Τέλος, έχει αναπτυχθεί μια τεχνική υδροαμβολής κατά την οποία το νερό και το αποξεστικό φθάνουν στην επιφάνεια με πίεση 5000 -20000 *psi* (*water blast with abrasive injection*).

Ποσότητα νερού παρασύρει το αποξεστικό στην ροή του και καταλήγουν στο ακροφύσιο το οποίο είναι συνήθως τύπου *venturi*, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα για ανεξάρτητο χειρισμό του νερού και του αποξεστικού (**Εικόνα 5**).



Εικόνα 5: Υδροαμβολή με έγχυση αποξεστικού.

Παρόλο που η τεχνική αυτή έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο σ την απόδοση καθαρισμού όσο και στον καθαρισμό της επιφάνειας (**Εικόνα 6**), το υψηλό κόστος κτήσης καθώς και οι υψηλές ενεργειακές της απαιτήσεις συνιστούν ανασταλτικό παράγοντα για την ευρεία χρησιμοποίησή της.



Εικόνα 6: Υδροαμμοβολή με τη μέθοδο έγχυσης αποξεστικού.

Βαφή μεταλλικών επιφανειών

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται περισσότερο από όσο θα ανέμενε κανείς (βάσει του θέματος της μελέτης) το θέμα της βαφής των μεταλλικών επιφανειών και ιδιαίτερα των πλοίων, όπως επίσης του ρόλου και της σύστασης των χρησιμοποιούμενων χρωμάτων, παρόλο που δεν φαίνεται εκ πρώτης όψεως να ενδιαφέρει το παρόν έργο. Αυτό κρίθηκε αναγκαίο ώστε να μπορέσουμε να δούμε στο αντίστοιχο κεφάλαιο ποια από τα συστατικά των αντιδιαβρωτικών και αντι ρρυπαντικών χρωμάτων είναι επικίνδυνα για την υγεία των εργαζομένων και ποια είναι επικίνδυνα για το περιβάλλον.

Ως γνωστόν, τα υπολείμματα των χρωμάτων είναι ένας από τους κύριους (πολλές φορές ο κυριότερος) επικίνδυνους παράγοντες ρύπανσης (έπειτα ή μαζί από τα ίδια τα συστατικά της μεθόδου καθαρισμού) κατά την διάρκεια των εργασιών ψηγματοβολής ή υδροβολής που είναι και το κύριο θέμα της εργασίας αυτής.

Μέθοδοι βαφής

Όταν οι μεταλλικές επιφάνειες έχουν καθαριστεί με κάποια από τις μεθόδους οι οποίες περιγράφηκαν πιο πάνω, ακολουθεί η βαφή τους με κάποιο χρώμα ή σύστημα χρωμάτων. Η μέθοδος η οποία ακολουθείται εξαρτάται τόσο από το μέγεθος και το είδος της μεταλλικής επιφάνειας όσο και από το είδος και τις ιδιότητες του χρώματος ή του συστήματος χρωμάτων που θα χρησιμοποιηθεί. Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να βαφεί μια επιφάνεια, είναι οι ακόλουθοι:

- **Βαφή με πινέλο ή ρολό:** Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για μικρές επιφάνειες, μια και απαιτεί πολλές ανθρωποώρες για να γίνει. Βαφή με πινέλο γίνεται σε ορισμένα τμήματα μεγάλων επιφανειών, που θέλουν προσοχή εξαιτίας γεωμετρικού σχήματος και είναι ιδιαίτερα επιρρεπή στη διάβρωση. Αυτόματα μηχανικά ρολά χρησιμοποιούνται για πλατιές επιφάνειες.

- **Βαφή με εκνέφωση (*spraying*):** Η βαφή με σπρέι μπορεί να πραγματοποιηθεί με ή χωρίς αέρα και θέρμανση, ενώ εφαρμόζεται κυρίως σε βιομηχανική κλίμακα. Είναι ταχύτερη και θεωρείται καλύτερη από τη βαφή με πινέλο ή ρολό, καθώς μεγάλες επιφάνειες καλύπτονται γρήγορα και ομοιόμορφα. Μειονέκτημα της μεθόδου, όμως, είναι οι σημαντικές απώλειες χρώματος που εξαρτώνται από την πείρα του χειριστή, το μέγεθος και τη γεωμετρία των προς βαφή μεταλλικών επιφανειών, την ένταση του ανέμου που επικρατεί στο χώρο της βαφής, την πίεση ψεκασμού του χρώματος, τα χαρακτηριστικά κά του επικαλυπτικού υλικού και την απόσταση του ακροφυσίου της διάταξης από τη μεταλλική επιφάνεια. Επίσης, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στο χρόνο επαναβαφής μεταξύ των διαδοχικών στρωμάτων, ο οποίος υποδεικνύεται από τον κατασκευαστή τους. Στην εκνέφωση με αέρα είναι σημαντικό να παρέχεται μόνο η απαιτούμενη ποσότητα αέρα, καθώς περίσσειά του μπορεί να προκαλέσει υπερβολική κατανάλωση της μπογιάς και αναπήδησή της πάνω στη μεταλλική επιφάνεια. Η συνήθης απόσταση του πιστολιού από την επιφάνεια είναι 15-20cm (6-8 inch) και η κανονική πίεση ψεκασμού είναι 2,8-5,6kg/cm² (40-80psi). Η θερμή εκνέφωση και η χωρίς αέρα εκνέφωση (με πιέσεις σημαντικά υψηλότερες της τάξης των 176-246 Kg/cm²) εμφανίζουν περισσότερα μειονεκτήματα και οδηγούν σε επιστρώματα μεγαλύτερου πάχους. Μια άλλη παραλλαγή της μεθόδου είναι η ηλεκτροστατική εκνέφωση, κατά την οποία προηγείται φόρτιση της επιφάνειας με φορτίο αντίθετο εκείνου των κολλοειδών σωματιδίων του χρώματος. Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι μπορεί να απλωθεί μόνο ένα στρώμα.
- **Εμβάπτιση:** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τα μεταλλικά μέρη των αυτοκινήτων ή μηχανών, που δεν απαιτούν καλή εμφάνιση. Τελευταία, εφαρμόζεται κατά την εμβάπτιση η μέθοδος της ηλεκτροφόρτισης, όπου το αντιδιαβρωτικό χρώμα, που αποτελείται από δίπολα μόρια ή μοριακά κολλοειδή, έλκεται από το κατάλληλα φορτισμένο κομμάτι.
- **Θέρμανση:** Η ξήρανση των χρωμάτων, που έχουν διαλυτικό, γίνεται με θερμαινόμενους από ρεύμα αέρα φούρνους, όπου ο αέρας συγχρόνως θερμαίνει και παρασύρει και τους ατμούς που παράγονται. Όταν το χρώμα είναι από ρητίνες, που απαιτούν ψήσιμο σε υψηλές θερμοκρασίες, τότε χρησιμοποιούνται ειδικές εγκαταστάσεις. Τα τελευταία χρόνια εφαρμόζονται τεχνικές με ακτινοβολίες υπέρυθρων, όπου γίνεται γρήγορη ανύψωση της θερμοκρασίας χωρίς να πειραχτεί το μεταλλικό υπόστρωμα και οι μηχανικές του ιδιότητες.

Αντιδιαβρωτικά χρώματα

Τα αντιδιαβρωτικά χρώματα είναι από τα υλικά που χρησιμοποιούνται περισσότερο στα μέταλλα. Υπολογίστηκε, ότι περίπου το 50% των μεταλλικών επιφανειών, που απαιτούν επιφάνεια χωρίς πόρους, με καλή εμφάνιση και με προστατευτικές ιδιότητες, καλύπτονται με κάποιο είδος αντιδιαβρωτικού χρώματος και το 40% με πορώδη αντιδιαβρωτικά. Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται άλλα επικαλυπτικά (επιμεταλλώσεις, ανοδιώσεις κλπ.). Ως αντιδιαβρωτικό επίστρωμα μπορούμε να ορίσουμε ένα ρευστό μέσο, ικανό να εφαρμοστεί ή να απλωθεί πάνω σε

μια συμπαγή επιφάνεια στην οποία βαθμιαία ξηραίνεται και σκληραίνει, ώστε τελικά να δημιουργηθεί ένα προσκολλημένο, συνεχές στρώμα υπό μορφή μεμβράνης. Τα αντιδιαβρωτικά επιστρώματα, ή χρώματα όπως απλούστερα αποκαλούνται, είναι μίγματα πολλών υλικών, καθένα από τα οποία με τη σειρά του έχει κατασκευαστεί ώστε να προσδώσει συγκεκριμένες ιδιότητες. Η χρήση αντιδιαβρωτικών χρωμάτων ή άλλων επικαλυπτικών ουσιών για την προστασία των μεταλλικών επιφανειών συναντά εφαρμογές σε όλους τους τομείς της ναυπηγικής δραστηριότητας. Οι ουσίες αυτές παρουσιάζουν αυξημένη ηλεκτρική αντίσταση, με αποτέλεσμα, σύμφωνα με το νόμο του *Ohm*, να ελαττώνεται άμεσα η ένταση του ρεύματος διάβρωσης που αποτελεί μέτρο της ταχύτητας διάβρωσης. Τα μη-μεταλλικά επιστρώματα αποσκοπούν στο να απομονώσουν το υπόστρωμα από την άμεση επαφή με το διαβρωτικό περιβάλλον, να το μονώσουν θερμικά ή ηλεκτρικά για να ελαττώσουν το δυναμικό διάβρωσης ή να πετύχουν αναστροφή του, καθώς και να καθυστερήσουν την εισχώρηση του νερού και του οξυγόνου στη μεταλλική επιφάνεια (*barrier effect*). Κάθε κατηγορία αντιδιαβρωτικών χρωμάτων έχει ιδιότητες οι οποίες εκπληρώνουν έναν ή περισσότερους από τους παραπάνω στόχους και το καθιστούν χρήσιμο για κάθε ειδική περίπτωση προστασίας. Μια μόνο επίστρωση χρώματος δεν είναι ικανή να παρέχει πλήρη προστασία στη μεταλλική κατασκευή του πλοίου. Για αυτό απαιτείται εφαρμογή πολλών διαδοχικών επιστρώσεων, το σύνολο των οποίων αποτελεί το λεγόμενο επικαλυπτικό σύστημα βαφής (*paint system*). Ένα συμβατικό σύστημα βαφής για χαλύβδινες επιφάνειες αποτελείται από ένα ή περισσότερα στρώματα από αντιδιαβρωτικά αστάρια (*primers*), από ένα ενδιάμεσο στρώμα (*undercoat*) και από ένα τελικό στρώμα (*finishing coat*). Το συνολικό πάχος των διαφόρων στρωμάτων βαφής για ένα τέτοιο σύστημα κυμαίνεται από 120 έως 180 μm . Νεότερα, περισσότερο εξελιγμένα συστήματα βαφής υψηλής ποιότητας απαιτούν λιγότερα στρώματα, τα οποία όμως έχουν συνήθως μεγαλύτερο πάχος από αυτά των συμβατικών επικαλυπτικών συστημάτων. Κάθε μια από τις επιστρώσεις επιτελεί κάποια συγκεκριμένη λειτουργία και πρέπει να έχει συγκεκριμένες ιδιότητες, οι οποίες αναφέρονται συνοπτικά ακολούθως:

Αστάρια (*primers*)

Τα πρώτα στρώματα πρέπει να έχουν καλή πρόσφυση στο μέταλλο, να εξασφαλίζουν αντιδιαβρωτική προστασία και να αποτελούν μια καλή βάση για τα στρώματα που θα ακολουθήσουν. Η αντιδιαβρωτική συμπεριφορά των *primers* οφείλεται στην παρουσία πιγμένων όπως ο μόλυβδος, σκόνη ψευδαργύρου, χρωμικός ψευδάργυρος, φωσφορικός ψευδάργυρος και φωσφορικό κάλιο. Τα τελευταία χρόνια, όμως, υπάρχει η τάση περιορισμού της χρήσης πιγμένων χρωμικού ψευδαργύρου και μολύβδου εξαιτίας της τοξικότητάς τους και των βλ αβερών τοξικών αερίων που απελευθερώνονται κατά τη συγκόλληση ή την κοπή ελασμάτων με φλόγα. Ο διακοσμητικός ρόλος των *primers* είναι συνήθως εξαιρετικά περιορισμένος.

Ενδιάμεσα στρώματα (*undercoats*)

Το ενδιάμεσο στρώμα πρέπει να έχει πολύ καλή πρόσφυση στο *primer* και ικανοποιητική καλυπτική ικανότητα. Συνιστάται το χρώμα του να είναι πολύ συγγενικό με αυτό του τελικού επιστρώματος, αλλά όχι το ίδιο προκειμένου να ξεχωρίζουν τυχόν ακάλυπτες περιοχές και σημεία. Έχει ιδιαίτερη σημασία για τη

διάρκεια ζωής του επικαλυπτικού συστήματος, ενώ όταν περιέχει φυλλωτά πιγμέντα (*lamina pigment*) περιορίζει τη διαπερατότητα του συστήματος από το οξυγόνο και την υγρασία.

Τελικό στρώμα (*finishing coat*)

Το τελικό στρώμα πρέπει να παρουσιάζει πολύ καλή αντοχή έναντι της διάβρωσης και των καιρικών συνθηκών. Αυτό σημαίνει ότι δεν πρέπει να χάνει τη λάμψη και τη στιλπνότητά του υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, ούτε να χάνει την πρόσφυσή του στα κατώτερα στρώματα σε συνθήκες υγρασίας. Επιπλέον, πρέπει να έχει πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες, όπως αντοχή έναντι της κρούσης και των διαφόρων χτυπημάτων και αντίσταση σε απόξεση. Επίσης, πρέπει να δίνει στην προστατευόμενη επιφάνεια το επιθυμητό χρώμα και την απαιτούμενη στιλπνότητα.

ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Η καθοδική προστασία της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου αφορά την εξωτερική επιφάνεια της γάστρας, όλα τα παρελκόμενα της κατασκευής στα ύφαλα και τα διάφορα ανοίγματα, καθώς επίσης και συγκεκριμένους εσωτερικούς χώρους. Πληροφορίες σχετικά με τις απαιτούμενες διαστάσεις και κατανομή των ανόδων περιλαμβάνονται στους διάφορους κωνοπισμούς των νηογνωμόνων.

Τα πλοία εκτιθενται σε ένα περιβάλλον, οι ιδιότητες του οποίου μεταβάλλονται με το χρόνο και τη γεωγραφική θέση. Ειδικότερα δε, η περιεκτικότητα σε αλάτι και η ηλεκτρική αγωγιμότητα επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τη δράση των εστιών διάβρωσης. Προβλήματα προκύπτουν και από την παρουσία διαφορετικών μετάλλων και περιπλανώμενων ρευμάτων.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Σχεδόν όλα τα κοινά μέταλλα και οι χάλυβες διαβρώνονται στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η επιλογή του υλικού γίνεται με βάση τους εκάστοτε κανονισμούς. Όταν όμως γίνει χρήση περισσότερων του ενός υλικών, παρατηρείται αυξημένος πυθμός διάβρωσης λόγω της υψηλής αγωγιμότητας του θαλασσινού νερού. Για να επιλεγεί κατάλληλος συνδυασμός υλικών και να αποφευχθεί η διμεταλλική διάβρωση θα πρέπει:

1. να γίνεται αναφορά στην ηλεκτροχημική σειρά των μετάλλων στο θαλασσιο νερό
2. να γίνει χρήση του κανόνα των εβδομάδων επιφάνειας
3. να εξετασθεί η διάταξη των διαφόρων υλικών.

Ο κανόνας των εμβαδών επιφάνειας εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$J_a = \frac{I_e}{S_a} \approx \frac{U_{R,c} - U_{R,a}}{r_c} \frac{S_c}{S_a}$$

όπου

J_a : πυκνότητα του ρεύματος προστασίας

I_e : ρεύμα

S_a : εμβαδόν επιφανείας ανόδου

S_c : εμβαδόν επιφανείας καθόδου

$U_{R,c} - U_{R,a}$: διαφορά δυναμικού

r_c : ειδική αντίσταση πόλωσης της καθόδου

$U_{R,c}$: δυναμικό διάβρωσης στην κάθοδο

$U_{R,a}$: δυναμικό διάβρωσης στην άνοδο

Η προστασία των σκαφών από αλουμίνιο απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, διότι η ηλεκτρική επαφή με χάλυβα και χαλκό δεν είναι δυνατό να αποφευχθεί, και έτσι πολλά κράμαρα αλουμινίου είναι ακατάλληλα για καθοδική προστασία. Θα πρέπει συνεπώς τα άλλα μέτρα προστασίας που εφαρμόζονται να τηρούνται με σχολαστικότητα.

Τα προστατευτικά επιστρώματα προσφέρουν παθητική προστασία και απαιτούνται κυρίως διότι περιέχουν αντιδιαβρωτικές ουσίες. Η συνδιασμένη χρήση τους με σύστημα καθοδικής προστασίας αποβλέπει στη μείωση της απαιτούμενης πυκνότητας ρεύματος προστασίας και στην αύξηση της παραμέτρου πόλωσης. Εκτός της χημικής και της μηχανικής ανθεκτικότητας, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση, η παρουσία πόρων και η έκταση των ζημιών καθορίζουν την ποιότητα ενός επιστρώματος. Η ειδική αντίσταση των επιστρωμάτων που έχουν βάση ρητίνης στον ατμοσφαιρικό αέρα έχει μια τιμή άνω των $105 \Omega \text{m}^2$. Όταν αυτά έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό, αυτή μειώνεται δραστικά και μπορεί να πέσει στην τιμή των $30 \Omega \text{m}^2$. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε μια απαιτούμενη πυκνότητα πύματος προστασίας $J_s = 10 \text{ mA/m}^2$. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική αντίσταση του επιστρώματος είναι το πάχος του, ο τύπος του επιστρώματος και η ποιότητα της προετοιμασίας του υποστρώματος. Κατά τη χρήση λεπτών επιστρωμάτων πρέπει να δίνεται προσοχή, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία φυσαλίδων, με την επιβολή αρωητικών δυναμικών ($-0,65 \text{V}$). Τα επιστρώματα που χρησιμοποιούνται κάτω από

την ίσαλο γραμμή και στο εσωτερικό των δεξαμενών θα πρέπει να είναι κατάλληλα, ώστε να μπορεί να γίνει χρήση και καθοδικής προστασίας.

Σε σύγκριση με τα παχιά επιστρώματα, τα λεπτά επιστρώματα που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με καθοδική προστασία μπορούν να οδηγήσουν στην δημιουργία φλυκταινών που περιέχουν αλκαλικά ρευστά, που προκύπτουν από ηλεκτροοσμωτικές διεργασίες και μεταφορά ιόντων. Για να αποφευχθεί η δημιουργία φλυκταινών, προτείνεται η διατήρηση του καθοδικού δυναμικού σε αρνητικές τιμές.

Ένας από τους στόχους της καθοδικής προστασίας είναι η αποφυγή δημιουργίας φλυκταινών που περιέχουν τα προϊόντα της διάβρωσης στις εξωτερικές επιφάνειες του πλοίου και προκαλούν αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας, η οποία με την σειρά της επιφέρει την αύξηση της αντίστασης πρόωσης του πλοίου. Το 70% της συνολικής αντίστασης του πλοίου είναι αντίσταση τριβής, η οποία μπορεί να αυξηθεί έως και 20% λόγω της διάβρωσης. Η συνολική αύξηση της κατανάλωσης καυσίμων μπορεί να φθάσει τότε το 12%, ενώ η βιολογική ρύπανση των εξωτερικών επιφανειών μπορεί να επιφέρει αύξηση της αντίστασης τριβής (κατά 36%).

Οι σύγχρονες απαιτήσεις των κανονισμών είναι αυστηρές ως προς την προστασία που παρέχουν διάφορα επιστρώματα. Γενικά τα επιστρώματα που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με καθοδική προστασία υποφέρουν από τη δημιουργία φουσκάλων και την απώλεια πρόσφυσης στο μέταλλο. Η παρουσία φλυκταινών επηρεάζεται από το πάχος του επιστρώματος και τις επικρατούσες συνθήκες κατά την εφαρμογή του.

Οι συγκολλήσεις τέλος αποτελούν μια σοβαρή πηγή προβλημάτων, καθώς η λείανσή τους για να αφαιρεθούν οι εστίες διάβρωσης γίνεται μόνο με μηχανικό τρόπο.

ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΙΣΑΛΟ ΓΡΑΜΜΗ

Η καθοδική προστασία της γάστρας χωρίς της χρήση προστατευτικού επιστρώματος δεν είναι μια εφικτή λύση από οικονομικής σκοπιάς, λόγω της υψηλής πυκνότητας του ρεύματος προστασίας που απαιτείται. Θα πρέπει επίσης να υπάρχει ένα ηλεκτρικά μονωτικό στρώμα μεταξύ της χαλύβδινης επιφάνειας και του αντιδιαβρωτικού επιστρώματος, για να περιορισθεί η ηλεκτροχημική αναγωγή τοξικών κραμάτων μετάλλων.

Η καθοδική προστασία της γάστρας μπορεί να είναι ολική ή μερική. Στη μερική προστασία προστατεύεται μόνο η περιοχή της πρύμνης, η οποία υφίσταται αυξημένους ρυθμούς διάβρωσης λόγω της αυξημένης ταχύτητας ροής και του αερισμού που ακολουθεί, καθώς επίσης και της δημιουργίας εστιών διάβρωσης σε παρελκόμενα όπως η έλικα και το πηδάλιο. Μπορεί επίσης να παρασχεθεί μερική προστασία και στην περιοχή της πλώρης, όπου η ταχύτητα της ροής είναι επίσης υψηλή.

Η ολική προστασία καθίσταται περισσότερο αναγκαία όσο αυξάνεται η ηλικία του πλοίου, διότι τα ελαττώματα και οι ατέλειες των προστατευτικών επιστρωμάτων πληθαίνουν, ιδίως στην πλώρη και στην περιοχή της μέσης τομής. Ολική προστασία

απαιτείται όταν το υλικό που χρησιμοποιείται είναι το αλουμίνιο ή ο ανοξείδωτος χάλυβας. Το ίδιο ισχύει και για χάλυβες με περιεκτικότητα σε χρώμιο μεγαλύτερη του 20% και σε μολυβδαίνιο μεγαλύτερη του 3%, διότι τα κράματα αυτά υποφέρουν από διάβρωση ρωγμών κάτω από τα προστατευτικά επιστρώματα.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Εάν δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με το συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας της μεταλλικής κατασκευής κάτω από την ίσαλο γραμμή, αυτή μπορεί να υπολογισθεί προσεγγιστικά από την παρακάτω σχέση 1:

$$S_0 = L_{WL} (B_{WL} + 2T_{WL}) C_b \quad (1)$$

όπου

L_{WL} = μήκος πλοίου στην ίσαλο γραμμή

B_{WL} = πλάτος πλοίου στην ίσαλο γραμμή στη μέση τομή

T_{WL} = κοίλο πλοίου στη μέση τομή

C_b = συντελεστής γάστρας πλοίου

Το εμβαδόν όλων των επιφανείων των διαφόρων οργάνων (κιβώτια θαλάσσης, πηδάλιο, κ.λπ.) θα πρέπει επίσης να υπολογισθεί από τα αντίστοιχα κατασκευαστικά σχέδια. Σημειώνεται ότι η πυκνότητα του ρεύματος προστασίας των περιοχών αυτών είναι αυξημένη και πρέπει να υπολογίζεται ξεχωριστά σε κάθε περίπτωση. Το συνολικό απαιτούμενο ρεύμα προστασίας I_s υπολογίζεται από τη σχέση 2:

$$I_s = \sum J_s S_i \quad (2)$$

όπου J_s , S_i είναι η απαιτούμενη πυκνότητα ρεύματος και το εμβαδόν κάθε περιοχής της κατασκευής ξεχωριστά, αντίστοιχα. Η απαιτούμενη πυκνότητα ρεύματος εξαρτάται από:

- a) την ποιότητα του προστατευτικού επιστρώματος,
- b) τη μορφή της ροής και
- c) το είδος των κατασκευών που απαιτούν προστασία.

Για παράδειγμα, η απαιτούμενη προστασία έλικας που φέρει δακτύλιο φθάνει τα 0,5 A/m², ενώ οι συνήθεις απαιτήσεις φθάνουν τα 30 mA/m² για χαλύβδινες γάστρες εμπορικών πλοίων. Αρχικά οι απαιτήσεις είναι (15-20 mA/m²), αλλά με την πάροδο του χρόνου και τη χειροτέρευση της κατάστασης οι απαιτήσεις αυξάνουν.

Εάν χρησιμοποιείται αλουμίνιο, η απαιτούμενη πυκνότητα του ρεύματος προστασίας είναι αρκετά χαμηλότερη (το 10% αυτής του χάλυβα) λόγω της δημιουργίας ενός προστατευτικού επιστρώματος.

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΓΑΛΒΑΝΙΚΕΣ ΑΝΟΔΟΥΣ

Αριθμός και μάζα ανόδων

Η απαιτούμενη συνολική μάζα ανόδων δίνεται από τη σχέση:

$$Q = Q'_{pr} m = Q''V \quad (3)$$

όπου

Q = απαιτούμενο ηλεκτρικό φορτίο (Ah)

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

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

V = όγκος ανόδων (dm³)

m = μάζα ανόδων (kg)

Αντικαθιστώντας στη σχέση (3), για $J_s = 15 \text{ mA/m}^2$, για μια περίοδο 2 ετών,

$$m_{zn} = 0,337S \quad (4a)$$

$$m_{al} = 0,12S \quad (4b)$$

Επειδή το απαιτούμενο ρεύμα προστασίας ανά μονάδα όγκου είναι περίπου το ίδιο για τους δύο τύπους ανόδων, μπορούμε να υποθέσουμε ότι θα έχουν και τις ίδιες περίπου διαστάσεις. Για περιοχές της γάστρας κάτω από την ίσαλο γραμμή οι άνοδοι έχουν επίπεδο και επιμήκες σχήμα. Οι άνοδοι στηρίζονται σε βάσεις που κατά κανόνα είναι συγκολλημένες στην εξωτερική επιφάνεια της γάστρας. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων χρησιμοποιούνται άνοδοι ψευδαργύρου (στις εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου χρησιμοποιούνται άνοδοι αλουμινίου).

Η ένταση του ρεύματος υπό συνθήκες κανονικής λειτουργίας ελαττώνεται λόγω την δημιουργίας ενός λεπτού επιστρώματος και αντιστάσεων πόλωσης, που εξαρτώνται από το υλικό της ανόδου, το είδος του ηλεκτρολύτη και το χρόνο εκθεσης (λειτουργίας). Απαιτείται λοιπόν, εκτός της έντασης ρεύματος, να εξασφαλισθεί ότι η πυκνότητα ρεύματος και το πεδίο προστασίας θα είναι οκανοποιητικά. Αρχικά το προστατευτικό επίστωμα διαθέτει μεγάλη αντίσταση και έχει ελάχιστες φθορές. Αργότερα όμως μειώνεται η αντίσταση του επιστρώματος και έτσι αυξάνεται η απαιτούμενη πυκνότητα ρεύματος αλλά και το πεδίο προστασίας. Θα πρέπει λοιπόν να λαμβάνεται αυτό υπόψη κατά το σχεδιασμό του συστήματος.

Ο απαιτούμενος αριθμός ανόδων υπολογίζεται από τη σχέση (5), ενώ η διάταξή τους θα εξετασθεί παρακάτω. Συστήματα γαλβανικής προστασίας σχεδιάζονται για να προσφέρουν προστασία για μια περίοδο 2-4 ετών. Μετά από αυτό, αναμένεται να έχει αναλωθεί το 80% του βάρους των ανόδων.

$$N_{i\max} = J_s S_i \quad \text{και} \quad n = \sum (J_s S_i / J_{\max}) \quad (5)$$

όπου n_i είναι ο απαιτούμενος αριθμός ανόδων για την i -οστή περιοχή της γάστρας.

Παράδειγμα

Για ένα πλοίο με εμβαδόν βρεχόμενης επιφάνειας 4.500 m^2 και για πυκνότητα ρεύματος προστασίας $J_s = 15 \text{ mA/m}^2$, το απαιτούμενο ρεύμα προστασίας είναι

$$I_e = S_0 * J_s * 10^{(-3)}, \quad I_e \text{ σε A}$$

$$\text{Άρα: } I_e = (4.500) * (15) * (10^{(-3)}) = 67,5 \text{ A}$$

Από τη σχέση (4a) υπολογίζεται το συνολικό βάρος ανόδων:

$$m_{zn} = 0,337 * 4.500 = 1.517 \text{ kg}$$

Το βάρος αυτό αφορά ανόδους ψευδαργύρου με διάρκεια προστασία 2 ετών. Εάν το βάρος της κάθε ανόδου είναι $15,7 \text{ kg}$, τότε απαιτούνται:

$$n = (1.516) / (15,7) = 96 \text{ άνοδοι}$$

ενώ η ένταση του ρεύματος προστασίας είναι $0,92 \text{ A}$. Το συνολικό ρεύμα είναι τότε 88 A , που καλύπτει τις απαιτήσεις.

Μπορούμε, εναλλακτικά, να επιλέξουμε ανόδους βάρους $25,9 \text{ kg}$ ένταση ρεύματος $1,2 \text{ A}$ η καθεμία οπότε ο συνολικός αριθμός θα είναι τότε 58.

Για προστασία διάρκειας 4 ετών, διπλασιάζεται το απαιτούμενο βάρος ψευδαργύρου σε 3.033 kg . Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να επιλέξουμε 82 ομάδες των δύο ανόδων, με βάρος 18 kg η καθεμία. Εάν η ένταση ρεύματος είναι τότε 107 A , θα μπορούσαμε να έχουμε 54 ομάδες με τρεις ανόδους η καθεμία.

Η χρήση ανόδων αλουμινίου θα απαιτούσε 540 kg για προστασία διάρκειας 2 ετών. Σ' αυτή την περίπτωση, 96 άνοδοι των $6,2 \text{ kg}$ προσφέρουν τον ίδιο βαθμό προστασίας (595 kg). Για προστασία 4 ετών, απαιτούνται 1.080 kg ανόδων, δηλαδή

με 82 ομάδες των δύο ανόδων βάρους 7,3 kg η καθεμία το συνολικό βάρος ανέρχεται σε 1.197 kg. Με αυτή τη διάταξη δηλαδή θα υπάρχει πλεόνασμα.

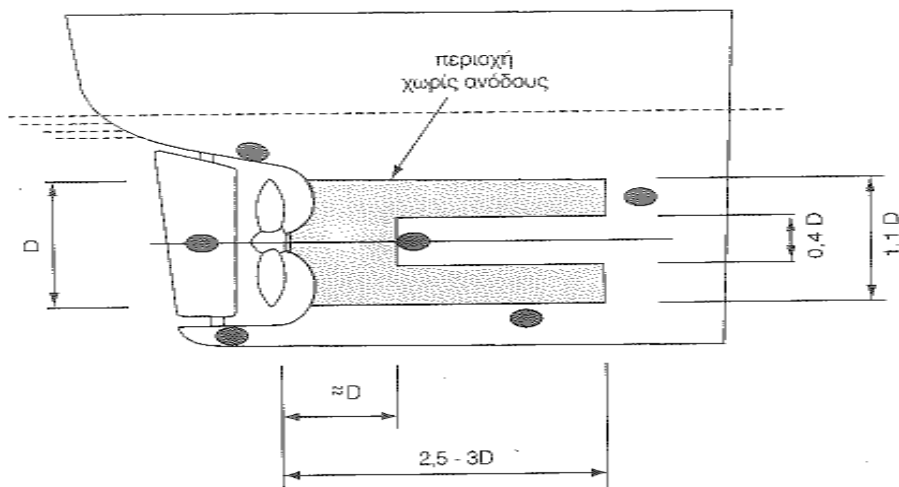
Για πλοία από αλουμίνιο, εκτιμάται ότι η απαίτηση ανέρχεται στο 10% την απαίτησης για χαλύβδινα πλοία.

Διάταξη των ανόδων

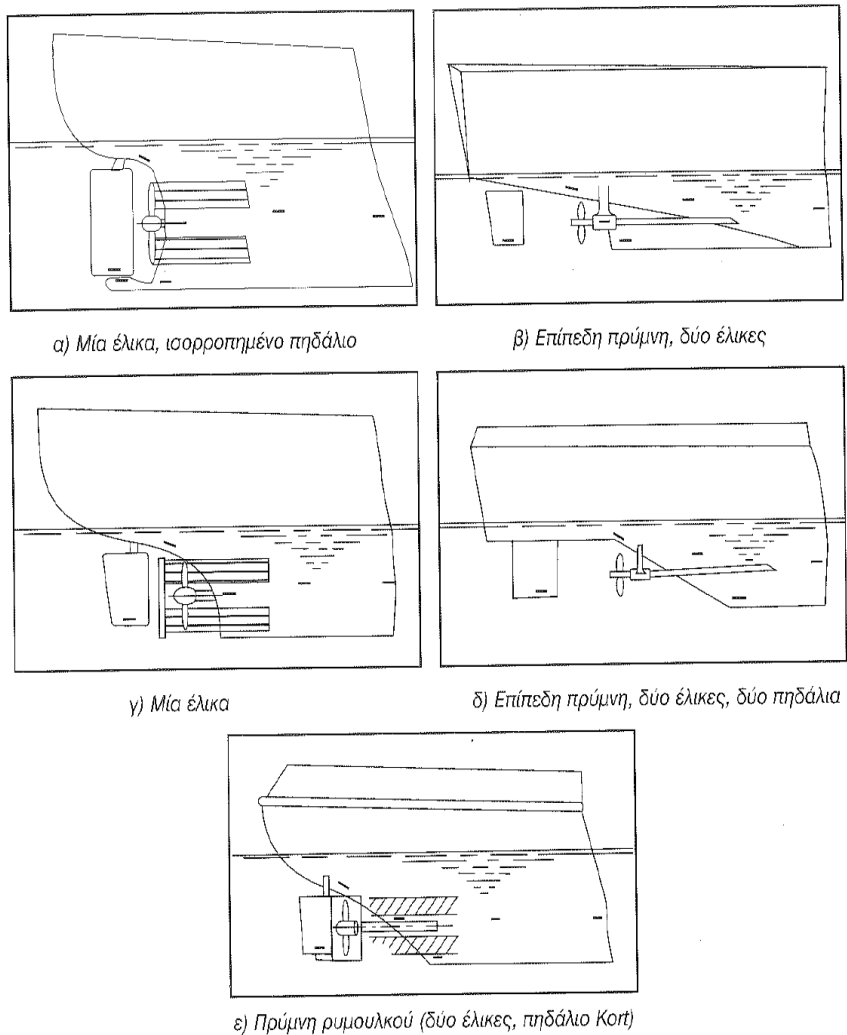
Οι άνοδοι πρέπει να εγκαθίστανται σε ομοιόμορφα κατανεμημένη διάταξη, για να παρέχεται ικανοποιητική ηλεκτρική προστασία σε όλες τις περιοχές της κατασκευής. Ορισμένες χρήσιμες παρατηρήσεις σχετικά με την κατανομή των ανόδων δίνονται παρακάτω.

1. Περίπου το 25% του συνολικού βάρους χρησιμοποιείται για την προστασία της πρύμνης (εικόνα 8)
2. Οι υπόλοιπες άνοδοι κατανέμονται στην πλώρη και περί τη μέση του πλοίου. Θα πρέπει να τοποθετούνται στο κυρτό της γάστρας για την προστασία τους από τυχόν χτυπήματα.
3. Στην περιοχή του παρατροπίδου τοποθετούνται επάνω και κάτω από την επιφάνειά του.
4. Στην περιοχή της μέσης του πλοίου η ισαπόστασή τους δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 6-8 μέτρα, για να εξασφαλισθεί επικάλυψη των περιοχών προστασίας που αντιστοιχούν σε κάθε μια άνοδων.
5. Σε νερά που απαιτείται υψηλή πυκνότητα του ρεύματος προστασίας, όπως οι τροπικές θάλασσες και εκεί όπου η ηλεκτρική αντίσταση είναι χαμηλή, το πεδίο προστασίας είναι μικρότερο και η ισαπόσταση τους δεν είναι δεν θα πρέπει να υπερβεί τα 5 μέτρα.
6. Οι άνοδοι που τοποθετούνται στην πλώρη πρέπει να έχουν κατάλληλη κλίση λόγω της ροής του νερού. Θα πρέπει επίσης να εξετάζονται για πιθανές ζημιές από την αλυσίδα της άγκυρας. Στην πρύμνη, οι άνοδοι πρέπει να τοποθετούνται κυρίως στις περιοχές του άξονα της έλικας και των βάσεων του πηδαλίου. Θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι οι άνοδοι δε δημιουργούν προβλήματα στη ροή πύρα από την έλικα. Για να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα δε θα πρέπει να τοποθετούνται στην περιοχή 0,4D -1,1D (εικόνα 7)
7. Οι άνοδοι στην περιοχή του άξονα του πηδαλίου δε θα πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση μικρότερη των 2r από την έλικα.
8. Όταν το πλοίο ταξιδεύει σε ερματισμένη κατάσταση, πολλές φορές οι άνοδοι που βρίσκονται στην περιοχή στήριξης της έλικας είναι πάνω από την επιφάνεια του νερού και γι' αυτό θα πρέπει να τοποθετούνται πλάγια, στις πλευρές της πρύμνης.

9. Στο πηδάλιο τοποθετούνται ανόδοι και απο τις δύο πλευρικές επιφάνειες, είτε στο ύψος του υφάλου της έλικας είτε στη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση πάνω ή κάτω από το πτερύγιο της έλικας (εικόνα 8)
10. Θα πρέπει επίσης να τοποθετούνται άνοδοι στα κιβώτια θαλάσσης (sea chests) λόγω της τοπικά αυξημένης ανάγκης ρεύματος προστασίας.
11. Για τη μερική προστασία της πρύμνης θα πρέπει να χρησιμοποιείται το 33% των ανόδων που απαιτούνται για ολική προστασία, και όχι το σύνθετες 25%. Από αυτό τον αριθμό το 25% συμβάλει στην ολική προστασία της περιοχής της πρύμνης, ενώ το υπολοιπο 8% στην προστασία της απώλειες στις άλλες περιοχές της κατασκευής. Οι άνοδοι αυτές καλούνται άνοδοι συλογής και τοποθετούνται πρώρα από τις ανόδους προστασίας της πρύμνης.
12. Στις στηρίξεις των ελικοφόρων αξόνων (*propeller brackets*) σε πλοία με δύο ή περισσότερες έλικες θα πρέπει οπωσδήποτε να παρέχεται καθοδική προστασία. Σε μεγάλα πλοία οι άνοδοι τοποθετούνται πάνω στα στηρίγματα, ενώ σε μικρότερα κοντά στις βάσεις τους.
13. Τα διάφορα εξειδικευμένα συστήματα πρόωσης και πηδαλιουχίας πρέπει επίσης να διαθέτουν καθοδική προστασία. Στα πηδάλια τύπου Kort υπολογίζεται το ολικό εμβαδόν της επιφάνειας του πηδαλίου και επιβάλλεται πύμα προστασίας με πυκνότητα 25 mA/m^2 . Οι άνοδοι τοποθετούνται στην εξωτερική επιφάνεια σε απόσταση $0,1r-0,25r$, στην περιοχή με τη μεγαλύτερη διάμετρο. Εσωτερικά οι άνοδοι τοποθετούνται στις βάσεις του πηδαλίου. Σε έλικες τύπου Voith-Schneider, οι άνοδοι τοποθετούνται γύρω από το άκρο της βάσης της έλικας.
14. Πλοία κατασκευασμένα από μη μεταλλικά υλικά πρέπει να διαθέτουν καθοδική προστασία στις περιοχές όπου χρησιμοποιούνται μέταλλα. Τότε οι άνοδοι στηρίζονται στην εξωτερική επιφάνεια της γάστρας και συνδέονται με τα προστατευόμενα μέρη με καλώδια από τους εσωτερικούς χώρους.



Εικόνα 7: Διάταξη γαλβανικών ανόδων στην της πρύμνης



Εικόνα 8: Κατανομή γαλβανικών ανόδων στην πρύμνη διαφόρων τύπων πλοίου.

Έλεγχος και συντήρηση του συστήματος καθοδικής προστασίας

Η μέτρηση του δυναμικού γίνεται με ηλεκτρόδια αναφοράς, που τοποθετούνται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην επιφάνεια της γάστρας, με καλώδια υπό προένταση. Κατά κανόνα επιλέγονται ηλεκτρόδια Ag/AgCl, θα πρέπει δε να εξασφαλίζεται η καλή ηλεκτρική επαφή (χαμηλή αντίσταση) με την κατασκευή του πλοίου.

Ηλεκτρόδια αναφοράς

Τα ηλεκτρόδια αναφοράς κατά κανόνα αποτελούνται από μέταλλο και ιόν του ίδιου μετάλλου. Ο ηλεκτρολύτης που τα περιβάλλει βρίσκεται σε άμεση ηλεκτρολυτική επαφή με το μέσο στο οποίο βρίσκεται το αντικείμενο που θα μετρηθεί. Στην περίπτωση του πλοίου, το μέσο στο οποίο βρίσκεται το αντικείμενο που θα μετρηθεί. Στην περίπτωση του πλοίου, το μέσο είναι το θαλάσσιο περιβάλλον, μέσω του οποίου

διέρχονται τα ιόντα. Κατά συνέπεια, αναπτύσσεται ένα δυναμικό διάχυσης. Η τιμή του δυναμικού αυτού θα πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή.

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός ηλεκτροδίου αναφοράς θα πρέπει να είναι:

1. Η σταθερότητα του ηλεκτρικού δυναμικού στο χρόνο.
2. Η αντίσταση γείωσης και η ικανότητα ηλεκτρικής φόρτισης.
3. Η αντίσταση σε συστατικά του ηλεκτρολύτη και σε περιβαντολλογικούς παράγοντες, καθώ επίσης και η συμβατικότητα με το σύστημα που μετράται.

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Ο αριθμός των συμβατικών γαλβανικών ανόδων είναι ανάλογος του εμβαδού την επιφάνειας που προστατεύεται, λόγω του περιορισμένου ρεύματος και του πεδίου δράσης τους. Όταν απαιτήται μεγάλος αριθμός ανόδων, η χρήση των γαλβανικών ανόδων παύει να είναι συμφέρουσα από οικονομικής πλευράς. Προτιμάται τότε προστασία με σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος (*impressed current system*), το κόστος του οποίου δεν αυξάνεται ανάλογα με το εμβαδόν της προστατευόμενης επιφάνειας, αλλά με χαμηλότερο ρυθμό. Το όριο βρίσκεται σε πλοία μήκους 100 μέτρων και άνω.

Άλλα πλεονεκτήματα του συστήματος προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα είναι ότι το περιεχόμενο ρεύμα μπορεί να μεταβληθεί, καθώς επίσης και το ότι υπάρχει δυνατότητα χρήσης ανόδων με μεγάλη διάρκεια ζωής. Συγκρινόμενο με το σύστημα γαλβανικών ανόδων, απαιτείται μικρότερος αριθμός ανόδων αλλά υψηλότερη ένταση ρεύματος. Η πυκνότητα του ρεύματος των 30 mA/m² εφαρμόζεται σε επιφάνειες με προστατευτικό επίστρωμα λόγω της συγκριτικά μεγαλύτερης μέσης μείωσης του δυναμικού. Δε θα πρέπει όμως να γίνεται χρήση ρεύματος με τάση μικρότερη των 0,65 mV, για να μην πάθει ζημιά το επίστρωμα.

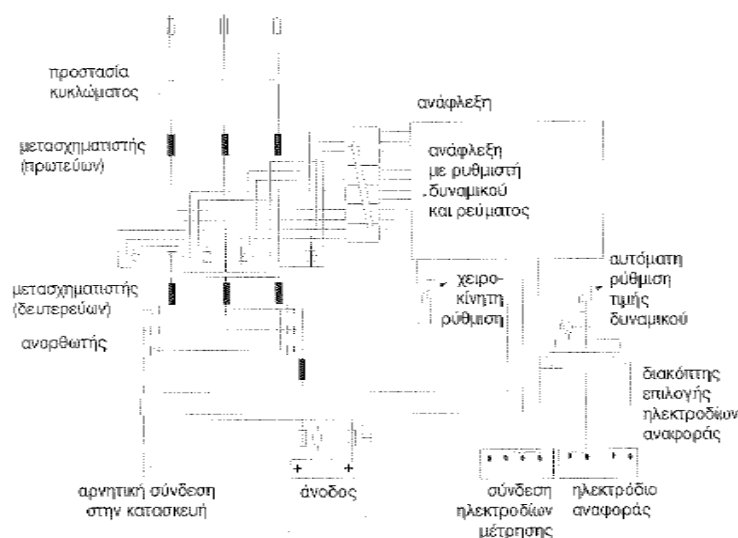
Παροχή Ρεύματος και ανορθωτές

Σε αντίθεση με σταθερά αντικείμενα, στο πλοίο απαιτείται συσκευή ρύθμισης της τάσης, διότι οι απαιτήσεις προστασίας μεταβάλλονται ανάλογα με το περιβάλλον και λειτουργικές ανάγκες. Η συσκευή παροχής του ρεύματος προστασίας πρέπει να είναι ανθεκτική και να μην επιρεάζεται από κραδασμούς. Η συσκευή παροχής περιέχει όργανα μέτρησης ρεύματος και τάσης για κάθε άνοδο προστασίας, καθώς επίσης και για τις ανόδους μέτρησης (ηλεκτρόδια αναφοράς).

Σε αυτές τις συσκευές κατά κανόνα χρησιμοποιούνται ανορθωτές πυριτίου λόγω της συγκριτικά υψηλότερης ισχύος τους. Θα πρέπει να παρέχεται επίσης ρυθμιστής ελέγχου υπερφόρτωσης όταν το πλοίο βρίσκεται σε περιοχές όπου το θαλασσινό νερό έχει χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση (λιμάνια). Θα πρέπει να δίνεται ειδοποίηση (οπτική ή ακουστική) σε περίπτωση που προκύψει διακοπή στο δίκτυο παροχής. Στην εικόνα 9 είναι αποτυπωμένο το κύκλωμα και οι συσκευές που απαρτίζουν το σύστημα προστασίας της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου με επιβαλλόμενο ρεύμα.

Στα πλοία μέσου μεγέθους η παροχή ρεύματος γίνεται με συσκευή τοποθετημένη στο μηχανοστάσιο ή στο κέντρο ελέγχου της κύριας μηχανής. Στα μεγάλα πλοία ο

ανορθωτής πρέπει να εγκαθίσταται κοντά στις ανόδους, έτσι ώστε να μην απαιτούνται καλώδια με μεγάλη διάμετρο.



Εικόνα 9: Κύκλωμα και συσκευές συστήματος προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα.

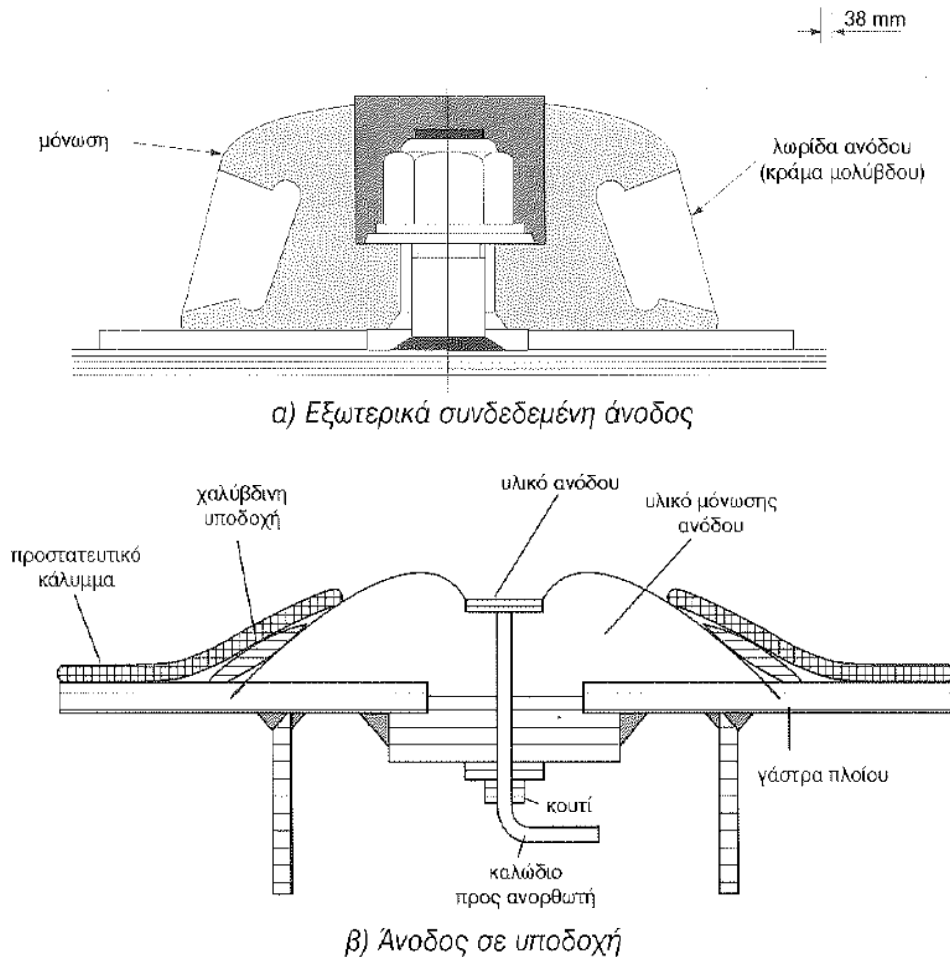
Άνοδοι και ηλεκτρόδια αναφοράς σε σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος

Στα συστήματα προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα χρησιμοποιούνται δύο τύποι ανόδων:

1. Εξωτερικά συνδεδεμένες στην επιφάνεια της γάστρας.
2. Εγκατεστημένες σε υποδοχές, έτσι ώστε η εκτεθειμένη επιφάνειά τους να αποτελεί συνέχεια της εξωτερικής επιφάνειας της γάστρας του πλοίου.

Στην περίπτωση των εξωτερικών ανόδων, η υποδοχή είναι επιμήκης, τραπεζοειδούς μορφής και κατασκευασμένη από πλαστικό. Σ' αυτή την υποδοχή τοποθετείται το κύριο σώμα της ανόδου που κατασκευάζεται από κράμα μολύβδου και αργύρου (PbAg). Η υποδοχή βιδώνεται στη μεταλλική κατασκευή του πλοίου (εικόνα 10α). Η πλαστική υποδοχή διαθέτει επίσης ένα κάλυμμα της μεταλλικής επιφάνειας του πλοίου στην περιοχή της κάθε ανόδου, για την προστασία του επιστρώματος όταν δημιουργούνται πολύ αρνητικά δυναμικά. Αυτή η ασπίδα προστασίας συγκολλάται στην πλευρά του πλοίου με αγκώνες. Η παροχή ρεύματος γίνεται μέσα στην ασπίδα προστασίας στο ένα άκρο της. Από εκεί τα καλώδια προχωρούν στο εσωτερικό του πλοίου ή εξέρχονται από το σώμα της ανόδου και στηρίζονται στην επιφάνεια της γάστρας με προστατευτικό κάλυμμα.

Το κύριο πλεονέκτημα των ανόδων αυτών είναι η χαμηλή αντίσταση γείωσης, διότι το σώμα της ανόδου τοποθετείται στο εσωτερικό της υδοχής και έχει τη μορφή μακρών λωρίδων. Το μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι η πιθανότητα να υποστούν ζημιά οι άνοδοι, καθότι προεξέχουν από την πλευρά του πλοίου.



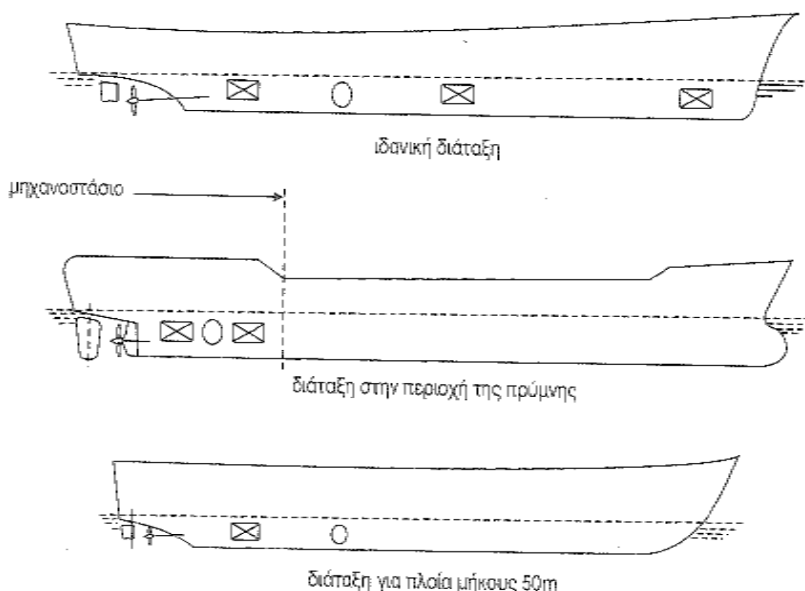
Εικόνα 10: Τύποι ανόδων που χρησιμοποιούνται με σύστημα προστασίας επιβαλλόμενου ρεύματος

Γι' αυτό το λόγο έχουν σχεδιασθεί άνοδοι που είναι πιο συμπαγείς και έχουν κυκλική ή σχεδόν ορθογώνια επιφάνεια, με αυξημένη όμως αντίσταση γείωσης. Μπορούν είτε να τοποθετούνται απευθείας στην επιφάνεια της γάστρας είτε σε υποδοχές. Το σώμα της ανόδου αποτελείται τότε από ένα επίπεδο έλασμα που περιβάλλεται από μία πλαστική βάση, η οποία με τη σειρά της επιβάλλεται από ένα μεταλλικό δακτύλιο που συγκολλάται στη γάστρα του πλοίου. Η επιφάνεια της ανόδου είναι κατασκευασμένη από κράμα μολύβδου και αργύρου ή τιτάνιου με επίστρωμα πλατίνας. Οι διαστάσεις των ανόδων αυτών φθάνουν τα 100 mm πλάτος και τα 2000 mm μήκος.

Οι άνοδοι που τοποθετούνται σε υποδοχές κατά κανόνα χρησιμοποιούνται σε πλοία που λειτουργούν σε δυσμενή περιβάλλοντα. Κατά κανόνα εγκαθίστανται στην περιοχή της πλώρης.

Διάταξη ανόδων και ηλεκτροδίων αναφοράς

Οι πρατηρήσεις που έγιναν σχετικά με τις γαλβανικές ανόδους ισχύουν και για συστήματα προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα, όσον αφορά τις περιοχές όπου δε θα πρέπει να τοποθετούνται οι άνοδοι και τα μέτρα προστασίας τους από τυχόν προσκρούσεις. Οι σημαντικότερες διαφορές εστιάζονται στο μικρότερο αριθμό ανόδων και στην δυσκολία σύνδεσής τους. Στα δεξαμενόπλοια απαγορεύεται η εγκατάσταση ακόμα και θωρακισμένων καλωδίων στην περιοχή των δεξαμενών φορτίου. Η απουσία ανόδων σ' αυτήν την περιοχή της κατασκευής περιορίζει την αποτελεσματικότητα του συστήματος προστασίας. Στην εικόνα 11 παρουσιάζονται οι προτεινόμενες διατάξεις ανόδων και ηλεκτροδίων αναφοράς, λαμβάνοντας υπόψη τη διάταξη στις κατασκευές του πλοίου.



Εικόνα 11: Διατάξεις ανόδων και ηλεκτροδίων αναφοράς σε σύστημα προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα

Η ιδανική περίπτωση είναι αυτή στη οποία η κατανομή του ρεύματος είναι ο καθοριστικός παράγοντας σχεδιασμού του συστήματος. Αυτό συμβαίνει στα παγοθραυστικά και στα πλοία που ταξιδεύουν σε περιοχές όπου υπάρχει πάγος, διότι σε μεγάλες περιοχές της πλώρης δεν υπάρχει προστατευτικό επίστρωμα. Για το λόγο αυτό οι άνοδοι τοποθετούνται στην περιοχή του μηχανοστασίου για ευκολία πρόσβασης και ονομία.

Κατά κανόνα δεν τοποθετούνται άνοδοι επάνω στο πηδάλιο αλλά μεταξύ του άξονα του πηδαλιού και της επιφάνειας της γάστρας και συνδέονται με μια λωρίδα από

χαλκό. Η προστασία της έλικας παρέχεται από ένα δακτύλιο που τοποθετείται γύρω από τον ελικοφόρο άξονα.

Σε αντίθεση με τις γαλβανικές ανόδους, δεν απαιτείται η τήρηση ελάχιστης απόστασης μεταξύ των ανόδων, καθότι η τιμή και το πεδίο λειτουργίας του ρεύματος προστασίας είναι ρυθμιζόμενα. Σε μεγάλα πλοία με μήκος που υπερβαίνει τα 150 μέτρα, η απόσταση των πρυμναίων ανόδων από την έλικα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 15 m. Σε μικρότερα πλοία αυτή η απόσταση μπορεί να μειωθεί σε 5 m. Τα ηλεκτρόδια αναφοράς τοποθετούνται σε σημεία κατασκευής όπου αναμένεται ότι θα προκύψει η χαμηλότερη πτώση δυναμικού. Σε μεγάλα πλοία θα πρέπει να είναι σε απόσταση τουλάχιστον 15-20 m από τις ανόδους προστασίας, ενώ σε μικρότερα πλοία η ελάχιστη απόσταση είναι αντίστοιχα μικρότερη. Το πηδάλιο, τα κιβώτια θαλάσσης και ωστήρια μηχανήματα της πλώρης έχουν σύστημα προστασίας με γαλβανικές ανόδους.

Σε ένα σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος οι άνοδοι πρέπει να εγκαθίστανται με πολλή προσοχή. Οι ζημιές που μπορεί να προκύψουν στο σύστημα μόνωσης θα πρέπει να αποκαθίστανται άμεσα. Οι εκτεθειμένες επιφάνειες των ανόδων και των ηλεκτροδίων αναφοράς πρέπει να προστατεύονται από τα επιστρώματα και τις ακαθαρσίες με χαρτί που επικολλάται με ούσια που να είναι διαλυτή στο νερό, μετά της εγκατάστασή τους σε στεγνό περιβάλλον. Εάν μετά την εγκατάστασή τους γίνει καθορισμός της επιφάνειας της γάστρας με ψηγματοβολή και στη συνέχεια επικάλυψή της με προστατευτικά επιστρώματα, θα πρέπει να διασφαλίζεται η προστασία τους και κάτω από αυτές τις συνθήκες.

ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΛΛΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ

Στο εσωτερικό των δεξαμενών η προστασία παρέχεται από σύστημα γαλβανικών ανόδων, διότι δεν επιτρέπεται η χρήση συστήματος επιβαλλόμενης προστασίας για λόγους ασφαλείας (βραχυκύκλωμα, παραγωγή σπινθήρα και έκρηξης). Οι δεξαμενές αυτές περιλαμβάνουν τις δεξαμενές έρματος, τις δεξαμενές νερού και φορτίου. Σε ορισμένους τύπους πλοίων οι δεξαμενές καυσίμων γεμίζονται με θαλασσινό νερό μετά την κατανάλωση του καυσίμου, για να εξασφαλισθεί η απαραίτητη ευστάθεια του σκάφους (ρυμουλκά ανοικτής θάλασσας και πολεμικά πλοία). Σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να παρέχεται καθοδική προστασία και σε αυτές τις δεξαμενές. Οι κανονισμοί των νηογνομόνων περιλαμβάνουν προδιαγραφές για το σχεδιασμό των συστημάτων καθοδικής προστασίας. Η προτεινόμενη προστασία των δεξαμενών περιγράφεται στον πίνακα 1.

Επιφάνειες	Δεξαμενές έρματος	Δεξαμενές με αργό πετρέλαιο
Άνω περιοχή δεξαμενής (1,5 m κάτω από το κατάστρωμα)	Προστατευτικό επίστρωμα	
Μεσαία περιοχή	Προστατευτικό επίστρωμα ή επίστρωμα στις οριζόντιες επιφάνειες και σύστημα ανόδων	Προστατευτικό επίστρωμα στις οριζόντιες επιφάνειες
Κάτω άκρα έως 1 m ύψος	Προστατευτικό επίστρωμα και σύστημα ανόδων	

Πίνακας 1: Αντιδιαβρωτική προστασία δεξαμενών

Οι δεξαμενές διακρίνονται, ανάλογα με τον προορισμό τους, σε:

- a) δεξαμενές για την μεταφορά έρματος και νερού,
- b) δεξαμενές για τη μεταφορά ακάθαρτων ουσιών.

Δεν επιτρέπεται η χρήση ανόδων μαγνησίου στο εσωτερικό των δεξαμενών, ενώ επιτρέπονται οι άνοδοι αλουμινίου, σύμφωνα με τις διατάξεις του IACS. Δεν υπάρχουν περιορισμοί στη χρήση ανόδων ψευδαργύρου, μολονότι οι περιορισμοί στη χρήση ανόδων αλουμινίου αποβλέπουν στην προστασία της κατασκευής σε περίπτωση δημιουργίας σπινθήρα κατά την αποκόλληση και επακόλουθη πτώση ανόδου.

Η διάρκεια ζωής των ανόδων φθάνει τα 4 έτη. Έτσι οι περίοδοι ερματισμού αντιστοιχούν στην περίπτωση (α) στο 40% της χρονικής διάρκειας χρήσης της δεξαμενής, ενώ στην περίπτωση (β) αντιστοιχούν στο 25% της διάρκειας χρήσης της δεξαμενής. Η μικρότερη διάρκεια πλήρωσης της δεξαμενής θα πρέπει να είναι 5 μέρες ανά ταξίδι σε ερματισμένη κατάσταση.

Οι προστατευόμενες επιφάνειες περιλαμβάνουν το σύνολο των εκτεθειμένων επιφανειών, των εγκοπών, των σωλήνων και των στύλων. Οι άνω περιοχές των δεξαμενών (μεχρι και 1,5 m κάτω από το κατάστρώμα) θα πρέπει να διαθέτουν προστατευτικό επίστρωμα. Επίσης θα πρέπει να επικαλύπτονται οι οριζόντιες επιφάνειες, διότι εκεί παραμένει νερό και έτσι μείγμα νερού-πετρελαίου στις δεξαμενές φορτίου, που μπορεί να προκαλέσει σημαντικές φθορές. Στις κάτω περιοχές των δεξαμενών γίνεται συνδυασμένη χρήση προστατευτικού επιστρώματος και καθοδικής προστασίας με ειδικές ανόδους. Η συνολική προστασία των χώρων αυτών θα μπορούσε να γίνει με σύστημα ανόδων αποκλειστικά, αλλά η παρουσία του λιμνάζοντος μείγματος νερού-πετρελαίου προκαλεί φθορές σε τοπικό επίπεδο που δεν μπορούν να ανιμετοπισθούν με ανόδους.

Οι μορφές των ανόδων έχουν επιλεγεί για δεξαμενές διαφόρων τύπων τύπων και χρήσεων. Υπάρχουν μακριές και επίπεδες άνοδοι, που μπορούν ως ένα βαθμό να προσφέρουν προστασία στην περιοχή του πυθμένα κατά των λιμναζόντων νερών. Η διάταξη των ανόδων θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να καθορίζονται με τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την πλύση των δεξαμενών.

Τα προστατευτικά επιστρώματα που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να επιλέγονται με προσοχή, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν σε κάθε χώρο. Τα σύγχρονα συστήματα προστασίας απαιτούν πολύ καλή προετοιμασία των επιφανειών (Sa 2,5), η οποία όμως συχνά δεν μπορεί να εξασφαλιστεί λόγω της παρουσίας ενισχύσεων και περιορισμών μετακίνησης. Υπάρχουν επίσης και οι ατέλειες και ελαττώματα που εμφανίζονται με την πάροδο του χρόνου.

Σε δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά χημικών προϊόντων δεν μπορεί να εφαρμοσθεί σύστημα καθοδικής προστασίας, γιατί μπορεί να προκύψει ρύπανση του φορτίου σε ακαθαρσίες.

Οι σχέσεις (2), (4) και (5) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του απαιτούμενου ρεύματος προστασίας, καθώς και του αριθμού και του βάρους των απαιτούμενων ανόδων, λαμβάνοντας υπόψη το εμβαδόν της κάθε εκτεθειμένης

επιφάνειες. Ο αριθμός απαιτούμενων ανόδων βασίζεται στη σχέση (6) λαμβάνοντας υπόψη τη μέγιστη τιμή του περιεχόμενου ρεύματος των γαλβανικών ανόδων, η οποία όμως δεν μπορεί να καθορισθεί με απόλυτη ακρίβεια λόγω προβλημάτων της προστασίας και αλληλεπίδρασης με ηλεκτρολύτη που περιέχει ακαθαρσίες. Η μάζα των απαιτούμενων ανόδων υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο ερματισμού, ως ποσοστό του συνολικού χρόνου λειτουργίας και προστασίας, και το ρεύμα προστασίας

$$m = 8,76 \times 10^{-2} J_{st} \frac{S_i}{Q'_{pr}} t_s$$

σχέση (6)

όπου

m = συνολική απαιτούμενη μάζα ανόδων (kg)

J_{st} = απαιτούμενη πυκνότητα ρεύματος προστασίας (mA/m²)

S_i = εμβαδόν προστατευόμενης επιφάνειας (m²)

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

= 780 (άνοδοι ψευδαργύρου)

= 2250-2800 (άνοδοι αλουμινίου, ανάλογα με τον τύπο του κράματος)

t_s = χρόνος σε ερματισμένη κατάσταση (έτη)

Το βάρος των ανόδων πρέπει να προσαυξάνεται κατά 20%, έτσι ώστε κατά το πέρας της προβλεπόμενης ωφέλιμης διάρκειας ζωής οι άνοδοι να είναι ακόμη σε λειτουργία. Ο αριθμός των απαιτούμενων ανόδων, όπως υπολογίζεται από τη σχέση (6) και το απαιτούμενο βάρος θα πρέπει να συμφωνούν με τον πραγματικό αριθμό των χρησιμοποιούμενων ανόδων, έτσι ώστε οι ειδικές πληροφορίες σχετικά με περιοχές της κατασκευής με αυξημένο κίνδυνο φθοράς να λαμβάνονται υπόψη.

Σε σύγκριση με τις ανόδους προστασίας των εξωτερικών επιφανειών, οι άνοδοι που χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό των δεξαμενών καλύπτονται από ένα παχύτερο εντονότερο στρώμα προϊόντων διάβρωσης και αποθεμάτων πετρελαίου, διότι ο ηλεκτρολύτης δεν κινείται, ενώ περιέχει και ακαθαρσίες. Συνήθως όμως τα επιφανειακά στρώματα είναι πορώδη και σπογγώδη, και εύκολα μπορούν να αφαιρεθούν. Η αφαίρεση τους επιτυγχάνεται με ψεκασμό κατά τη πλύση της δεξαμενής. Εάν δεν καθαρισθούν, δεν επηρεάζουν το ρεύμα προστασίας όταν η δεξαμενή περιέχει θαλασσινό νερό. Εάν όμως μειωθεί η περιεκτικότητα του ηλεκτρολύτη (νερού) σε αλάτι, οι άνοδοι μπορούν να καταστούν αδρανείς.

ΥΔΡΟΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (ΣΕΝΤΙΝΕΣ)

Το ατρώμα των ακαθάριστων νερών που παραμένει στο εσωτερικό μιας σεντίνας δεν είναι συνήθως επαρκές για να λειτουργήσει αποτελεσματικά ένα συμβατικό σύστημα καθοδικής προστασίας. Γι' αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί άνοδοι με τη μορφή συρμάτων από αλουμίνιο ή ψευδάργυρο, που έχουν χαλύβδινο πυρήνα και διάμετρο 6-10 mm. Εγκαθίστανται σε σχήμα μακριάς κουλούρας και συνδέονται με τα διάφορα στοιχεία της κατασκευής στα οποία συγγολώνται με καλά. Οι κουλούρες των συρμάτων τοποθετούνται σε ομάδες, ανάλογα με την έκταση και σοβαρότητα της διάβρωσης. Πρόσθετη προστασία παρέχεται από ρινίσματα ψευδαργύρου που περιέχουν διεγερτικές ουσίες. Τα ρινίσματα ψευδαργύρου έχουν διαστάσεις 10-100 μm και εισέρονται στις βελόνες και στις εγχοπές που προκαλούνται από διάβρωση και προσφέρουν ικανοποιητική τοπική προστασία. Θα πρέπει βέβαια να προστίθενται ρινίσματα σε συχνά χρονικά διαστήματα, δηλαδή κάθε 3-6 μήνες. Τα σύρματα-άνοδοι έχουν διάρκεια ζωής 2 περίπου έτη.

ΠΛΩΤΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

Οι πλωτές δεξαμενές προστατεύονται είτε με γαλβανικές ανόδους είτε με σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος. Προστασία απαιτείται στις εξωτερικές επιφάνειες, στις πύλες και στον πυθμένα τους. Επειδή οι πλωτές δεξαμενές παραμένουν ακίνητες, μπορούν να επιλεγούν άνοδοι και διατάξεις που κάτω από διαφορετικές συνθήκες θα υπήρχε κίνδυνος να υποστούν ζημιά. Οι εξωτερικές επιφάνειες προστατεύονται με ανόδους που αιωρούνται σε ικανή απόσταση κάτω από την ίσαλο γραμμή, έτσι ώστε να δημιουργείται ένα σταθερό ηλεκτρικό πεδίο. Έχουν σχήμα κυλινδρικής ράβδου ή είναι επίπεδες και κατασκευάζονται από γραφίτη, μαγνητίτη ή κράμα πυριτίου-σιδήρου.

Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ειδικοί χώροι για την αποθήκευσή τους όταν πλημμυρίζει η δεξαμενή. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να μπορούν να απελευθερώνονται τα καλώδια των ανόδων εμπλοκή. Οι άνοδοι μπορούν επίσης στηρίζονται σε πλαίσια ή τέλος να αγκυρόνονται στον πυθμένα της θάλασσας. Σε πολλές περιπτώσεις το σύστημα προστασίας ελεγχεται κατά τον ίδιο τρόπο με τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στα πλοία. Έτσι η κάθε πλευρά της δεξαμενής διαθέτει σύστημα προστασίας με ελεγχόμενη τάση ή προστατευτικό ανορθωτή που συνδέεται με το σύστημα προστασίας στην άλλη πλευρά της δεξαμενής με ένα καλώδιο.

Τέλος, επειδή οι πλωτές δεξαμενές συχνά λειτουργούν σε υφάλμυρα νερά, οι άνοδοι θα πρέπει να διαθέτουν μεγάλες επιφάνειες, για να μειώνεται η αντίσταση γείωσης εσωτερικών χώρων δεν απαιτείται, επειδή η δεξαμενή παραμένει πλημμυρισμένη για μικρά χρονικά διαστήματα και μπορεί να συντηρείται με άλλους τρόπους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο χάλυβας χρησιμοποιείται ευρέως ως υλικό κατασκευής σκαφών λόγω της αντοχής του, της εύκολης παραγωγής του και της στεγανότητάς του. Στο θαλάσσιο περιβάλλον απαιτεί προστασία με αντιδιαβρωτικά χρώματα τόσο για να αντέξει στη διάβρωση όσο και για τη βελτίωση της εμφάνισής του. Η διάβρωση του χάλυβα μπορεί να προληφθεί απλά με προσεκτική προετοιμασία της επιφάνειας και της εφαρμογής του συστήματος βαφής. Αυτό παρέχει φυσικό φραγμό στην υγρασία και το οξυγόνο, μονώνοντας την χαλύβδινη επιφάνεια από τους διαβρωτικούς παράγοντες. Η αποτελεσματικότητα μιας μεθόδου προστασίας, εκτός από τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης προς προστασία (υλικό, μέγεθος, σχήμα), εξαρτάται και από τις διακυμάνσεις του διαβρωτικού περιβάλλοντος. Για την επίτευξη καλύτερης προστασίας από την διάβρωση τις περισσότερες φορές δεν χρησιμοποιείται μια μόνο μέθοδος αλλά συνδυάζονται πολλές μεταξύ τους για να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το φαινόμενο της διάβρωσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τον τομέα της ναυπηγικής. Είναι επιτακτική η αντιμετώπιση του φαινομένου διότι η ελλιπής και λανθασμένη διαχείριση του επηρεάζει την ασφαλή λειτουργία του πλοίου και έχει ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση του κόστους συντήρησής του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ,ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ, Π.Καρύδης ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π. ΑΘΗΝΑ 2002
- **ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ: ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΑΜΜΟΒΟΛΕΣ – ΥΔΡΟΒΟΛΕΣ**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πλοίο έχει στη γάστρα του προσαρμοσμένη άνοδο ψευδαργύρου. Ζητείται η αντικατάστασή τους λόγο διάβρωσης. Η αντικατάσταση των ανόδων γίνεται κάθε δύο χρόνια και η πυκνότητα ρεύματος είναι 15 mA/m^2 . Μήκος ισάλου 150 m, πλάτος του πλοίου στην ίσαλο γραμμή στη μέση τομή 25 m, το κοίλο πλοίου στη μέση τομή 7,5 m και ο συντελεστής γάστρας του πλοίου είναι 0,85.

Λύση

$$S_o = LWL (BWL + 2TWL)C_b = 5100 \text{ m}^2$$

$$m_{Zn} = 0,337S = 1718,7 \text{ kg}$$

$$I_e = S_o J_s = 76,5 \text{ A}$$

$$n = m_{Zn} / m = 110 \text{ άνοδοι}$$