

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ**

**ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ:**

**Καθοδική προστασία στο θαλασσινό νερό**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:**

**Καρακωστανόγλου Ιωάννης**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΤΡΙΑ:**

**Δρ. Ε. Μπακογιάννη**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2013**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ**

**ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ:**

**Καθοδική προστασία στο θαλασσινό νερό**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:**

**Καρακωστάνογλου Ιωάννης**

**ΑΜ:**

**4181**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ:**

**25/06/2013**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής αποτελεί η καθοδική προστασία στο θαλασσινό νερό.

Η διάρθρωση της πτυχιακής εργασίας αναλύεται ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις αρχές λειτουργίας καθώς και προσδιορισμός και ανάλυση βασικών εννοιών των συστημάτων καθοδικής προστασίας.Γίνεται προσδιορισμός του δείκτη κινδύνου ενός συστήματος καθοδικής προστασίας,μαθαίνουμε για την μεταβλητότητα του ηλεκτρικού πεδίου,την συχνότητα εμφάνισης βλαβών,τις επιρροές απο εναλλασσόμενα ρεύματα,την δραστηρότητα της προγραμματισμένης λειτουργίας και σε ποιές μετρήσεις συνίσταται,καθώς και για την προγραμματισμένη και μη συντήρηση ενός συστήματος καθοδικής προστασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η εφαρμογή των συστημάτων καθοδικής προστασίας στα πλοία,γίνεται ανάλυση των διαφορετικών μεθόδων καθοδικής προστασίας στα πλοία,μέθοδος με θυσιαζόμενες ανόδους,καθοδική προστασία με επιβαλόμενο ρεύμα,γίνεται λόγος για την καθοδική προστασία των δεξαμενών έρματος,για την καθοδική προστασία της εξωτερικής επιφάνειας της γάστρας,αναφέρονται σχετικές παρατηρήσεις για τα συστήματα καθοδικής προστασίας στο θαλασσινό νερό,αναλύεται η εφαρμογή των θυσιαζόμενων ανόδων σε μεταλλικά σκάφη,αναφέρονται τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν οι θυσιαζόμενες άνοδοι,ειδικότερα οι άνοδοι ψευδαργύρου,οι άνοδοι μαγνησίου,σχολιάζεται η σημασία της σύστασης των ανόδων,οι ηλεκτρονικές μέθοδοι ελέγχου στα συστήματα καθοδικής προστασίας και τέλος γίνεται ανάλυση και κριτική των διαφόρων μεθοδολογιών με σκοπό την ορθή εφαρμογή των συστημάτων καθοδικής προστασίας στο θαλασσινό νερό.

## **Abstract**

The main topic of this project is the cathodic protection systems in sea water.

The structure of the project is the following:

In the first chapter there is an introduction to the operating principles as well as identification and analysis of the key concepts of cathodic protection systems. There is a determination of risk indicator of a cathodic protection system. we learn about the versatility of the electric field, the frequency that damages occur, the influences of alternating currents, as well as for the scheduled and non scheduled maintenance of a cathodic protection system.

The second chapter analyses the implementation of systems of protection to ships, direct analysis of different methods of protection to ships, the sacrificial anode technique, impressed current method, the cathodic protection of ballast tanks, the cathodic protection of the outer surface of the hull, reported remarks on the cathodic protection systems in seawater, specify the characteristics that should have the sacrificial anodes, particularly zinc anodes and magnesium anodes, discussed the importance of the composition of the anode and finally an analysis and review of various methodologies for the proper application of cathodic protection systems in seawater.

## Πρόλογος

Η καθοδική προστασία στα πλοία περιλαμβάνει την προστασία των υφάλων του πλοίου, των εσωτερικών δεξαμενών φορτίου και έρματος, των δεξαμενών στο διπύθμενο, των σωληνώσεων, των διάφορων ανοιγμάτων και πρόσθετων (έλικα, πηδάλιο, κ.α.). Η απαιτούμενη τάση προστασίας ενός πλοίου ή μιας θαλάσσιας κατασκευής καθορίζεται από το δυναμικό διάβρωσης ως προς το διαβρωτικό περιβάλλον. Το μεγάλο πρόβλημα έγκειται στο ότι τα πλοία εκτίθενται σε περιβάλλοντα μεταβαλλόμενων συνθηκών και καταστάσεων αντιδιαβρωτικού και αντιρρυπαντικού χρώματος, οπότε η τάση προστασίας πρέπει να αναπροσαρμόζεται, ώστε να υπάρξει επαρκής προστασία. Συνεπώς, είναι αναγκαία η συνεχής μεταβολή και του απαιτούμενου καθοδικού ρεύματος προστασίας της κατασκευής<sup>1</sup>.

Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η προσεκτική μελέτη και ο μηχανολογικός σχεδιασμός των συστημάτων προστασίας, σε συνδυασμό με τη βοήθεια ειδικών σχεδίασης. Η καθοδική προστασία ενός πλοίου έχει δύο κυρίαρχες συνέπειες. Κατά πρώτον, εμποδίζει την εξέλιξη του φαινομένου της διάβρωσης οπότε τα ελάσματα δε λεπταίνουν, οι συγκολλήσεις δεν καταναλώνονται και δε συμβαίνουν βελονισμοί. Κατά δεύτερον, η γάστρα διατηρείται λεία και συνεπώς δεν υπάρχουν επιπλέον οικονομικές επιβαρύνσεις λόγω της αύξησης της τριβής.

Προβλήματα και αστοχίες συστημάτων καθοδικής προστασίας εν γένει, δεν επιφέρουν μόνο οικονομικό κόστος, αλλά απειλούν και τη ζωή των επιβαινόντων και του περιβάλλοντος. Για την καλύτερη αντιμετώπιση λοιπόν αυτών των προβλημάτων, έχουν αναπτυχθεί λογισμικά προσομοίωσης σε H/Y που επιτρέπουν την προσομοίωση της κατασκευής, του περιβάλλοντος καθώς και των ηλεκτροχημικών διεργασιών που συμβαίνουν στη μεταλλική επιφάνεια. Μέσω αυτών των λογισμικών, οι σχεδιαστές έχουν πολλές δυνατότητες<sup>2</sup>. Για παράδειγμα, μπορούν να αποτιμήσουν την απόδοση των συστημάτων προστασίας, να βελτιστοποιήσουν τη σχεδίαση μεταβάλλοντας παραμέτρους, όπως η

---

<sup>1</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>2</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

τοποθέτηση των ανόδων, του ηλεκτροδίου αναφοράς και του αριθμού των ανόδων, αλλά και να διερευνήσουν την επίδραση παρακείμενων συστημάτων προστασίας άλλων κατασκευών.

Εκτός των παραπάνω, δίνουν τη δυνατότητα καθορισμού του δυναμικού προστασίας, του ρυθμού διάβρωσης, της ζωής του συστήματος, καθώς και την επίδραση των διαφορετικών περιβαλλοντολογικών παραμέτρων στη λειτουργία του συστήματος. Επίσης, τους παρέχεται η δυνατότητα να αξιολογούν τη λειτουργία του συστήματος υπό διάφορες συνθήκες βλάβης και να μοντελοποιούν τη μεταβατική δυναμική απόκριση του. Τα λογισμικά αυτά μοντελοποιούν κάθε γεωμετρία πλοίων, βαρκών, αγωγών και δεξαμενών χρησιμοποιώντας κατάλληλες βιβλιοθήκες. Τέλος, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να συγκρίνει εναλλακτικά συστήματα καθοδικής προστασίας σε διαφορετικά περιβάλλοντα και γεωμετρίες γάστρας.

## Κεφάλαιο 1ο

### Η Έννοια και οι Αρχές Λειτουργίας των Συστημάτων Καθοδικής Προστασίας

#### 1.1 Προσδιορισμός και Ανάλυση Βασικών Εννοιών Συστημάτων Καθοδικής Προστασίας

##### 1.1.1 Προσδιορισμός των Χαρακτηριστικών Σημείων και των Επιλεγμένων Σημείων Μέτρησης του Συστήματος Καθοδικής Προστασίας

Η επιλογή των χαρακτηριστικών σημείων γίνεται με βάση τις ανοδικές και καθοδικές περιοχές του κάθε συστήματος. Η επιλογή των σημείων μέτρησης γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα σημεία, που λόγω της θέσης τους και των αντιστοίχων ηλεκτρικών συνδέσεων δίνουν τη δυνατότητα διαπίστωσης με ικανοποιητική προσέγγιση της πραγματικότητας, μέσω μετρήσεων κυρίως ρεύματος και δυναμικού, ότι η καθοδική προστασία ισχύει σε όλο το σύστημα χωρίς διακοπές<sup>3</sup>.

##### 1.1.2 Προσδιορισμός Δείκτη Κινδύνου του Συστήματος Καθοδικής Προστασίας

Ο κίνδυνος αντιπροσωπεύει την πιθανότητα διάβρωσης σε σύντομο χρονικό διάστημα των σωληνώσεων που ανήκουν σε ένα σύστημα καθοδικής προστασίας<sup>4</sup>. Μετράται με δείκτες, με τους οποίους σχετίζεται η συχνότητα ελέγχου των εγκαταστάσεων, που συνιστούν το σύστημα καθοδικής προστασίας, με σκοπό η εφαρμοζόμενη καθοδική προστασία να διατηρείται στα υψηλότερα και σταθερότερα δυνατά επίπεδα. Η εν λόγω συχνότητα αυξάνεται με την αύξηση του δείκτη κινδύνου. Οι ακόλουθες παράμετροι επηρεάζουν τον δείκτη κινδύνου:

---

<sup>3</sup> Baeckmann, W & Schwenk, W. & Prinz, W. “*Handbook of Cathodic Corrosion Protection*”, 3<sup>rd</sup> Edition, Elsevier 1997

<sup>4</sup> Baeckmann, W & Schwenk, W. & Prinz, W. “*Handbook of Cathodic Corrosion Protection*”, 3<sup>rd</sup> Edition, Elsevier 1997

- ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ
- ΜΕΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
- ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΒΛΑΒΩΝ
- ΕΠΙΡΡΟΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

Σε κάθε μία από τις προαναφερθείσες παραμέτρους αποδίδεται βαθμολογία και το άθροισμα των βαθμολογιών ορίζει το δείκτη κινδύνου του συστήματος καθοδικής προστασίας. Οι δείκτες κινδύνου ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες, βάσει της αντίστασης της μόνωσης της σωλήνωσης, της μεταβλητότητας του ηλεκτρικού πεδίου, των διαστημάτων που παραμένει χωρίς προστασία λόγω βλαβών των εγκαταστάσεων και τις επιρροές από εναλλασσόμενα ρεύματα<sup>5</sup>:

- κίνδυνος 1 – K1 (ελάχιστος), για συνολική βαθμολογία < 50
- κίνδυνος 2 – K2 (ενδιάμεσος), για συνολική βαθμολογία μεγαλύτερη από 50 και μικρότερη από 90
- κίνδυνος 3 – K3 (υψηλός), για συνολική βαθμολογία > 90.

Ο δείκτης κινδύνου πρέπει να καθορίζεται τουλάχιστον κάθε 4 έτη. Σε περίπτωση που οι απαιτούμενες μετρήσεις ή στοιχεία για τον προσδιορισμό του δείκτη κινδύνου δεν είναι διαθέσιμα, αυτός θα προσδιορίζεται βάσει των υπάρχοντων στοιχείων. Εντός 12 μηνών, ο δείκτης πρέπει να υπολογίζεται εκ νέου βάσει πραγματικών δεδομένων. Επισημαίνεται ότι η συχνότητα ελέγχου των εγκαταστάσεων και των χαρακτηριστικών σημείων ενός συστήματος καθοδικής προστασίας είναι συνάρτηση του δείκτη κινδύνου. Αντίστοιχα παρακάτω, αναφέρονται οι σχετικές παράμετροι προσδιορισμού του δείκτη κινδύνου.

---

<sup>5</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003



### 1.1.2.1 Μεταβλητότητα του Ηλεκτρικού Πεδίου

Η μεταβλητότητα του ηλεκτρικού πεδίου, η οποία εξαρτάται από την ένταση των περιπλανωμένων ρευμάτων (stray currents), προσδιορίζεται με σειρά προκαταρκτικών μετρήσεων βάσει των γραπτών διαδικασιών του συστήματος καθοδικής προστασίας, που διεξάγονται στα χαρακτηριστικά σημεία ή και στα επιλεγμένα σημεία του κάθε συστήματος Καθοδικής Προστασίας. Αποδίδεται, έτσι, σε κάθε βαθμό μεταβλητότητας, μία βαθμολογία<sup>6</sup>:

- *ΧΑΜΗΛΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ* : 5
- *ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ*: 25
- *ΥΨΗΛΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ*: 50

### 1.1.2.2 Μέση Ηλεκτρική Μόνωση των Σωληνώσεων

Η μέση ηλεκτρική μόνωση του συστήματος καθοδικής προστασίας υπολογίζεται βάσει των τελευταίων μετρήσεων μόνωσης που διεξάγονται στους δακτυλίους του δικτύου και στα μεμονωμένα τμήματα του δικτύου βάσει των γραπτών διαδικασιών του. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν πρόσφατες μετρήσεις, ο υπολογισμός μπορεί να γίνει βάσει της αποδιδόμενης ποσότητας ρεύματος από τους ανορθωτές καθοδικής προστασίας (τροφοδοτικά) για την επίτευξη του προκαθορισμένου δυναμικού, που αναφέρεται στη συνολική επιφάνεια των σωληνώσεων του συστήματος καθοδικής προστασίας<sup>7</sup>. Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται οι βαθμολογίες που αντιστοιχούν στις διάφορες τιμές αντίστασης μη πορώδους μόνωσης  $R_i$  σε ένα σύστημα καθοδικής προστασίας<sup>8</sup>:

---

<sup>6</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>7</sup> Baeckmann, W & Schwenk, W. & Prinz, W. “*Handbook of Cathodic Corrosion Protection*”, 3<sup>rd</sup> Edition, Elsevier 1997

<sup>8</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

### 1.1.2.3 Συχνότητα Βλαβών

<u>ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΜΟΝΩΣΗΣ (Ri)</u>	<u>ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ</u>
$Ri \geq 10^7 \Omega m^2$	5
$10^6 \Omega m^2 \leq Ri < 10^7 \Omega m^2$	10
$10^5 \Omega m^2 \leq Ri < 10^6 \Omega m^2$	15

Υποδεικνύει τη συχνότητα δυσλειτουργιών στα μεμονωμένα συστήματα, όπως, για παράδειγμα, τη συχνή διακοπή του ανορθωτή καθοδικής προστασίας (τροφοδοτικού), λόγω πτώσης του μικροαυτόματου διακόπτη, καθώς και κάθε άλλη βλάβη που προκαλεί την παύση λειτουργίας της καθοδικής προστασίας, ή μέρος αυτής<sup>9</sup>. Οι δυσλειτουργίες που διαπιστώνονται κατά την λειτουργία των εγκαταστάσεων καθοδικής προστασίας συνιστούν τη δημιουργία του δένδρου των βλαβών. Η αποτίμηση των βλαβών γίνεται σε ετήσια βάση. Στον ακόλουθο πίνακα αναφέρονται οι βαθμολογίες που αντιστοιχούν στον ετήσιο αριθμό διαπιστωμένων βλαβών:

<u>ΑΡΙΘΜΟΣ ΒΛΑΒΩΝ/ΕΤΟΣ (A<sub>β</sub>)</u>	<u>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ</u>
$A_{\beta} \leq 5$	5
$5 < A_{\beta} \leq 10$	15

<sup>9</sup> Almeida, E. & Diamantino, T.C. & Orlando de Sousa *Marine Paints: The particular case of antifouling paints*, Elsevier 2007

Σημειώνεται ότι η κατηγοριοποίηση του αριθμού των βλαβών θα πρέπει να προσδιοριστεί ανάλογα με το σύστημα της Καθοδικής Προστασίας, δηλ. ανάλογα με τον αριθμό των τροφοδοτικών και των λοιπών στοιχείων βάσει των οποίων θα καθορίζεται ποιος είναι ο αριθμός των αποδεκτών βλαβών κατ' έτος.

#### 1.1.2.4 Επιρροές από Εναλλασσόμενα Ρεύματα

Οι επιρροές από εναλλασσόμενα ρεύματα αποτιμώνται με την μέτρηση της επαγόμενης τάσης AC στον αγωγό και την πυκνότητα του AC ρεύματος, που μετράται σε αισθητήρια πόλωσης ή δοκίμια διάβρωσης (polarization probes / corrosion coupons) γυμνής επιφάνειας μετάλλου περί το ένα (1) cm<sup>2</sup>. Στους ακόλουθους πίνακες αναφέρονται οι βαθμολογίες που αντιστοιχούν στις μετρήσεις της επαγόμενης τάσης AC στον αγωγό και της πυκνότητα του AC ρεύματος<sup>10</sup>:

**Πίνακας Νο.3**

<b>AC τάσης σε όλο τον αγωγό σε κάθε χρονική στιγμή</b>	<b>Βαθμολογία</b>
<b>&lt; 10V ή &lt; 4V όταν η τοπική ειδική αντίσταση εδάφους &lt; 25 Ωm</b>	<b>5</b>
<b>≥ 10V ή ≥ 4V όταν η τοπική ειδική αντίσταση εδάφους &lt; 25 Ωm</b>	<b>25</b>

---

<sup>10</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

**Πίνακας Νο.4**

<b>AC πυκνότητα ρεύματος</b>	<b>Βαθμολογία</b>
$i_{ac} \leq 30 \text{ A/m}^2$	0
$30 \text{ A/m}^2 < i_{ac} \leq 100 \text{ A/m}^2$	25
$i_{ac} > 100 \text{ A/m}^2$	50

Όταν υπάρχουν μετρήσεις για τα στοιχεία και των δύο πινάκων (No. 3 και No. 4), τότε αθροίζεται η βαθμολογία που προκύπτει από τους δύο πίνακες και το άθροισμα αυτό εισάγεται στην συνολική βαθμολογία για τον προσδιορισμό του δείκτη κινδύνου ενός συστήματος Καθοδικής Προστασίας.

#### **1.1.2.5 Προγραμματισμένη Λειτουργία / Μετρήσεις Καθοδικής Προστασίας**

Η δραστηριότητα προγραμματισμένης λειτουργίας συνίσταται σε: στιγμιαίες μετρήσεις, καταγεγραμμένες μετρήσεις, μετρήσεις on-off, ειδικές μετρήσεις σε αισθητήρια πόλωσης/δοκίμια διάβρωσης, μετρήσεις μόνωσης σε σημεία μέτρησης των δακτυλίων και μεμονωμένων τμημάτων καθοδικής προστασίας, με συχνότητα που θα προσδιορίζεται από τις γραπτές διαδικασίες του συστήματος<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Baeckmann, W & Schwenk, W. & Prinz, W. “*Handbook of Cathodic Corrosion Protection*”, 3<sup>rd</sup> Edition, Elsevier 1997

### 1.1.2.6 Αρχαιοθέτηση Μετρήσεων Καθοδικής Προστασίας

Το τεχνικό τμήμα σε ένα όργανο, το οποίο είναι αρμόδιο για την διαχείριση του συστήματος καθοδικής προστασίας, θα τηρεί αρχείο των μετρήσεων καθοδικής προστασίας, το οποίο μπορεί να είναι ηλεκτρονικό ή όχι<sup>12</sup>. Το αρχείο τηρείται με σκοπό την αξιολόγηση των μετρήσεων και των ευρημάτων ή άλλων πληροφοριών, έτσι ώστε το σύστημα με βάση τα στοιχεία αυτά να μπορεί να αποφασίσει σχετικά με την βελτίωση του συστήματος καθοδικής προστασίας καθώς και την διαχείριση αυτού<sup>13</sup>.

### 1.1.3 Προγραμματισμένη Συντήρηση Καθοδικής Προστασίας

Οι δραστηριότητες προγραμματισμένης συντήρησης είναι επεμβάσεις ή/και περιοδικές επισκευές των διατάξεων ή /και εγκαταστάσεων, που αποτελούν το σύστημα καθοδικής προστασίας. Οι απαραίτητες δραστηριότητες για την εν λόγω συντήρηση καθώς και η συχνότητα διεξαγωγής τους θα περιγράφονται στις αναλυτικές γραπτές διαδικασίες του συστήματος<sup>14</sup>.

---

<sup>12</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>13</sup> Baeckmann, W & Schwenk, W. & Prinz, W. “*Handbook of Cathodic Corrosion Protection*”, 3<sup>rd</sup> Edition, Elsevier 1997

<sup>14</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

## 11.4 Μη Προγραμματισμένη Λειτουργία / Μετρήσεις Καθοδικής Προστασίας

Η δραστηριότητα μη προγραμματισμένης λειτουργίας συνίσταται σε διορθωτικές ενέργειες για την αποτίμηση και/ ή την αποκατάσταση του βαθμού προστασίας του συστήματος, και πιο συγκεκριμένα<sup>15</sup>:

- έκτακτος έλεγχος των συστημάτων
- αναζήτηση επαφών μεταξύ ξεχωριστών δομών
- αναζήτηση επαφών μεταξύ σωλήνα και μεταλλικού χιτωνίου
- αναζήτηση σφαλμάτων στη μόνωση με τη μέθοδο Pearson ή/και άλλες μεθόδους
- κωδικοποίηση συστημάτων και αντίστοιχων σημείων μέτρησης συμπεριλαμβανομένου και του προσδιορισμού των δεικτών κινδύνου.

Αντικείμενο μη προγραμματισμένης λειτουργίας αποτελούν οι εγκαταστάσεις καθοδικής προστασίας και τα σημεία μέτρησης του συστήματος που, κατά τη διάρκεια των τακτικών ελέγχων, παρουσιάζουν τιμές που υποδεικνύουν ανωμαλίες που μειώνουν αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα του συστήματος καθοδικής προστασίας<sup>16</sup>.

### 1.1.6 Μη Προγραμματισμένη Συντήρηση Καθοδικής Προστασίας

Η δραστηριότητα μη προγραμματισμένης συντήρησης, που σκοπό έχει την αποκατάσταση του βαθμού προστασίας του συστήματος καθοδικής προστασίας, συνίσταται σε<sup>17</sup>:

---

<sup>15</sup> Almeida, E. & Diamantino, T.C. & Orlando de Sousa *Marine Paints: The particular case of antifouling paints*, Elsevier 2007

<sup>16</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>17</sup> Almeida, E. & Diamantino, T.C. & Orlando de Sousa *Marine Paints: The particular case of antifouling paints*, Elsevier 2007

- Εξάλειψη ηλεκτρικών επαφών με ξένες μεταλλικές δομές
- Εξάλειψη σφαλμάτων στη μόνωση.
- Περιορισμός και εξάλειψη ηλεκτρικών παρεμβολών από άλλα δίκτυα και θαμμένες υποδομές.
- Επισκευή ή αντικατάσταση συσκευών, εξαρτημάτων κλπ του συστήματος της καθοδικής προστασίας.
- Τροποποίηση των μέτρων εξισορρόπησης λόγω αλλαγής της μεταβλητότητας ηλεκτρικού πεδίου.
- Αντικείμενο μη προγραμματισμένης συντήρησης αποτελούν συστήματα, εγκαταστάσεις και σημεία μέτρησης τα οποία, κατά τη διάρκεια ελέγχων προγραμματισμένης συντήρησης ή/και μη, παρουσιάζουν τιμές που υποδεικνύουν ανωμαλίες βλαπτικές για την αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα του συστήματος καθοδικής προστασίας.

## **Κεφάλαιο 2ο**

### **Η Χρήση των Συστημάτων Καθοδικής Προστασίας στα Πλοία και Προστασία στο Θαλασσινό Νερό**

#### **2.1 Η Εφαρμογή των Συστημάτων Καθοδικής Προστασίας στα Πλοία**

Η καθοδική προστασία της γάστρας χωρίς τη χρήση προστατευτικού επιστρώματος, είναι μια οικονομικά λανθασμένη επιλογή λόγω της υψηλής πυκνότητας του ρεύματος προστασίας που διαφορετικά θα απαιτούνταν για την αποτελεσματική προστασία της κατασκευής. Η καθοδική προστασία μπορεί να είναι ολική ή μερική, προστατεύοντας μόνο την περιοχή της πρύμνης, η οποία εν γένει υφίσταται αυξημένους ρυθμούς διάβρωσης λόγω των παρελκόμενων (έλικα, πηδάλιο) και της

αυξημένης ταχύτητας ροής νερού. Η ολική καθοδική προστασία καθίσταται αναγκαία με την αύξηση της ηλικίας του πλοίου διότι οι ελαττωματικές περιοχές των επιστρωμάτων, κυρίως στην πλώρη και στο μέσον, πληθαίνουν. Επίσης ολική προστασία απαιτείται όταν το υλικό που χρησιμοποιείται είναι το αλουμίνιο ή ο ανοξείδωτος χάλυβας<sup>18</sup>.

## **2.2 Καθοδική Προστασία σε Πλοία με Θυσιαζόμενες Ανόδους**

Πρόκειται για την παλαιότερη μορφή καθοδικής προστασίας, που αναπτύχθηκε μέσω δύο διαφορετικών κατευθύνσεων. Οι άνοδοι (Mg, Zn, Al) είτε συγκολλούνται στη γάστρα μέσω συγκολλημένων εξοχών είτε, τοποθετούνται πάνω σε στηρίγματα συγκολλημένα επί της γάστρας. Έτσι, ενώ στην πρώτη περίπτωση η άνοδος διαβρώνεται άμεσα δίπλα στην εξοχή και για να προληφθεί πρέπει η εξοχή να επικαλυφθεί με κάποιο κεραμικό ή με επιψευδαργύρωση, στη δεύτερη περίπτωση δεν εξασφαλίζεται καλή ηλεκτρική επαφή με τη γάστρα και απαιτείται συγκόλληση με σύρμα<sup>19</sup>.

Η πιο σημαντική παράμετρος είναι η κατανομή στην υποθαλάσσια επιφάνεια ώστε να επιτευχθεί καλή διανομή του ρεύματος προστασίας. Ο αριθμός και η κατανομή τους έχουν υπολογιστεί από εταιρείες, οπότε υπάρχει σχετική τυποποίηση για την πλειονότητα των εμπορικών ανόδων. Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποιες αρχές στις οποίες βασίζονται όλες οι τυποποιήσεις. Το 25% του συνολικού βάρους των ανόδων πρέπει να προστατεύουν την περιοχή της πρύμνης. Το υπόλοιπο βάρος πρέπει να κατανέμεται στην πλώρη και στο μέσον του πλοίου. Οι άνοδοι που βρίσκονται στο μέσον του πλοίου τοποθετούνται στο έλασμα του κυρτού της γάστρας ώστε να προστατεύονται από αποκόλληση λόγω χτυπημάτων.

Η ισάποσταση στην περιοχή αυτή κυμαίνεται από έξι έως οκτώ μέτρα ώστε να μην υπάρχει επικάλυψη των περιοχών προστασίας. Η ακριβής βέβαια απόσταση προκύπτει έπειτα από μελέτες που λαμβάνουν υπόψη τους τις περιοχές πλεύσης του πλοίου, οι οποίες βέβαια μπορεί κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου να μεταβληθούν. Στην περιοχή της πλώρης, οι άνοδοι πρέπει να είναι κεκλιμένες, λόγω της ροής του νερού και να προστατεύονται από την αλυσίδα της άγκυρας. Στην περιοχή της

---

<sup>18</sup> Baeckmann, W & Schwenk, W. & Prinz, W. “*Handbook of Cathodic Corrosion Protection*”, 3<sup>rd</sup> Edition, Elsevier 1997

<sup>19</sup> Almeida, E. & Diamantino, T.C. & Orlando de Sousa *Marine Paints: The particular case of antifouling paints*, Elsevier 2007



πρύμνης τοποθετούνται στην περιοχή του άξονα της έλικας ενώ, ειδικά σχεδιασμένες άνοδοι τοποθετούνται στο πηδάλιο. Τα πλοία που δεν είναι κατασκευασμένα από μεταλλικά υλικά, πρέπει να προστατεύονται καθοδικά 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<sup>20</sup>.

Γενικά, η χρήση αρκετών ανόδων, ώστε να προφυλάσσεται η γάστρα από τυχαίες καταστροφές του χρώματος, μπορεί να σημαίνει ότι η γάστρα υπερ-προστατεύεται ενώ μια πιο συντηρητική προσέγγιση μπορεί να σημαίνει μείωση του επιπέδου προστασίας. Η υπερ-προστασία όμως σημαίνει και ότι αυξάνεται ο ρυθμός διάβρωσης και ότι υπάρχουν πολλές άνοδοι σε μικρή απόσταση και λόγω των πολλών προεξοχών αυξάνεται ο συντελεστής τριβής του πλοίου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω επειδή οι συνθήκες λειτουργίας ενός πλοίου είναι δύσκολο να προβλεφθούν, η ευρεία διακύμανση σε απαιτήσεις ρεύματος σημαίνει ότι ακόμα και με άνοδο μικρού δυναμικού, μπορεί να υπάρξει αρκετά μεγάλη διακύμανση στο δυναμικό όλης της γάστρας.

Μία συχνά ακολουθούμενη μεθοδολογία αντικατάστασης των ανόδων περιλαμβάνει την αντικατάσταση των μισών ανόδων σε κάθε δεξαμενισμό, ώστε να γίνεται μια πιο πλήρης κατανάλωση των ανόδων. Το κόστος της αντικατάστασης είναι υπολογίσιμο επειδή αφενός, οι άνοδοι αντικαθίσταται καταναλωμένες ή μη, αφετέρου, επεκτείνεται και η χρονική διάρκεια του δεξαμενισμού<sup>21</sup>.

### **2.3 Καθοδική Προστασία με Επιβαλλόμενο Ρεύμα**

Η μέθοδος αναπτύχθηκε λόγω της ανεπάρκειας της μεθόδου παρουσιαζόμενων ανόδων. Τα πρώτα εργαστηριακά πειράματα από τον Edison το 1880 οδήγησαν τη μέθοδο στο περιθώριο αφού αποδείχθηκε αντικοινωνική. Γύρω στο 1950 επέστρεψε στο προσκήνιο αναπτυσσόμενη σε δύο

---

<sup>20</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>21</sup> Beltran, V, Past, “*Present and Prospects of Antifouling, paper from the course held at the University of Plymouth*”, Department of Mechanical and Marine Engineering, 32nd Wegment School on Marine Coatings, 10-14 July 2000

κατευθύνσεις<sup>22</sup>. Κατά την πρώτη, γίνεται χρήση συρόμενου επιλευκοχρυσωμένου άργυρου ή σύρματος αλουμινίου που λειτουργεί ταυτόχρονα και ως άνοδος και ως κάθοδος και καθώς καταναλώνεται, ξετύλιγαν και άλλο σύρμα<sup>23</sup>.

Κατά τη δεύτερη που επικράτησε, οι άνοδοι παραμένουν προσαρτημένοι πάνω στη γάστρα, ώστε να μην αυξάνεται ο συντελεστής τριβής. Οι άνοδοι παραμένουν μονωμένες από το μέταλλο της γάστρας και τροφοδοτούνται με ρεύμα από το εσωτερικό του πλοίου. Εξαιτίας της κοντινής απόστασης των ανόδων από τη γάστρα, η περιοχή αυτή πρέπει να μονώνεται με φύλλο νεοπρενίου ή λάστιχο, ώστε να μην υπάρξει βραχυκύκλωμα με τη θάλασσα. Η περιοχή αυτή καλείται ‘ασπίδα’ (shield) και η επιφάνειά της μπορεί να μετρηθεί για διαφορετικές παροχές και μορφές ανόδου<sup>24</sup>.

Οι ζημιές που πιθανώς να προκύψουν στο σύστημα μόνωσης πρέπει να αποκαθίστανται άμεσα. Η μέθοδος αυτή είναι οικονομικά ανώτερη από αυτή των θυσιαζόμενων ανόδων στην περίπτωση που για αποτελεσματική προστασία χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός ανόδων οπότε υπάρχει αυξημένο κόστος υλικών και πλαισίων στήριξης. Η προστασία με επιβαλλόμενο ρεύμα αντιστοιχεί σε υψηλότερα δυναμικά και λιγότερες ανόδους. Επιπλέον, επιτρέπει τη μεταβολή του ρεύματος προστασίας όταν οι συνθήκες λειτουργίας του πλοίου αλλάζουν. Οι χρησιμοποιούμενες άνοδοι επιλέγονται ανάλογα με τη σοβαρότητα των συνθηκών λειτουργίας σε συνδυασμό με το κόστος και την αντοχή τους<sup>25</sup>.

Διαχωρίζονται σε ανόδους – σημεία και σε γραμμικές ανόδους. Οι σημειακές άνοδοι τοποθετούνται στη γάστρα και εμφανίζουν μία ισοδυναμική ημισφαιρική κατανομή του δυναμικού. Οι γραμμικές άνοδοι εμφανίζουν ελλειψοειδές ισοδυναμικό πεδίο, εάν διατηρηθεί ομοιόμορφη παροχή

---

<sup>22</sup> Almeida, E. & Diamantino, T.C. & Orlando de Sousa *Marine Paints: The particular case of antifouling paints*, Elsevier 2007

<sup>23</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>24</sup> Beltran, V, Past, “*Present and Prospects of Antifouling, paper from the course held at the University of Plymouth*”, Department of Mechanical and Marine Engineering, 32nd Wegment School on Marine Coatings, 10-14 July 2000

<sup>25</sup> Almeida, E. & Diamantino, T.C. & Orlando de Sousa *Marine Paints: The particular case of antifouling paints*, Elsevier 2007

ρεύματος. Η κατανομή που αναφέρθηκε στην παραπάνω παράγραφο ισχύουν και γι' αυτή τη μέθοδο προστασίας. Βέβαια, δεν υπάρχει απαίτηση για τήρηση ελάχιστης απόστασης μεταξύ των ανόδων, αφού η τιμή και το πεδίο λειτουργίας του ρεύματος προστασίας είναι ρυθμιζόμενα<sup>26</sup>.

Μετά από πολλές δοκιμές και προτάσεις επιλέχθηκαν δίσκοι λευκόχρυσου για σημειακές ανόδους και κράμα μολύβδου με 2% άργυρο. Η μορφή των ανόδων πρέπει να είναι υδροδυναμική για να σχεδιάζεται με βάση τη θέση που θα τοποθετηθούν. Όσον αφορά στο μέγεθος και στον αριθμό τους, η επιλογή γίνεται με βάση την προδιάθεση κάθε μέρους του πλοίου για διάβρωση. Τα 2/3 των ανόδων συνήθως τοποθετούνται στο πίσω μέρος του πλοίου και το 1/3 μπροστά. Για να γίνει δυνατή η μέτρηση του εκάστοτε δυναμικού διάβρωσης, χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια από μολύβδο, στα οποία μετριέται το δυναμικό τους ως προς ηλεκτρόδια αναφοράς (Zn, Ag/AgCl). Φυσικά έχει προηγηθεί, πριν τη βαφή, η συσχέτιση του δυναμικού του γυμνού ελάσματος της γάστρας ως προς Zn ή Ag/AgCl και κατά την αναπροσαρμογή λαμβάνεται υπόψη αυτή η συσχέτιση με κάποιο σφάλμα φυσικά το οποίο μπορεί να είναι και άνω της τάξεως του 10%<sup>27</sup>. Για το υπολογισμό της έντασης ρεύματος προστασίας πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η ολική επιφάνεια που πρέπει να προστατευθεί<sup>28</sup>.

## 2.4 Καθοδική Προστασία Δεξαμενών Έρματος

Για την προστασία των δεξαμενών έρματος, προτείνεται η καθοδική προστασία θυσιαζόμενων ανόδων σε συνδυασμό πάντα με βαφή, γιατί η πλήρης προστασία σε άβαφες δεξαμενές είναι πρακτικά ακατόρθωτη λόγω της σύνθετης δομής και του μεγάλου αριθμού ανόδων που απαιτούνται. Τα συστήματα προστασίας δεν ασκούν κάποια επίδραση όταν οι κατασκευές είναι κενές και

---

<sup>26</sup> Almeida, E. & Diamantino, T.C. & Orlando de Sousa *Marine Paints: The particular case of antifouling paints*, Elsevier 2007

<sup>27</sup> Beltran, V, Past, “*Present and Prospects of Antifouling, paper from the course held at the University of Plymouth*”, Department of Mechanical and Marine Engineering, 32nd Wegment School on Marine Coatings, 10-14 July 2000

<sup>28</sup> Beltran, V, Past, “*Present and Prospects of Antifouling, paper from the course held at the University of Plymouth*”, Department of Mechanical and Marine Engineering, 32nd Wegment School on Marine Coatings, 10-14 July 2000

ενεργοποιούνται πλήρως μετά από κάποιο χρόνο (μισή ημέρα ή περισσότερο) από την πλήρη κάλυψη της από έρμα<sup>29</sup>.

Η καθοδική προστασία με επιβαλλόμενο ρεύμα δεν χρησιμοποιείται στις δεξαμενές έρματος, λόγω πιθανής έκρηξης από την παραγωγή χλωρίου και υδρογόνου. Συγκριτικά με τις ανόδους προστασίας των εξωτερικών επιφανειών, οι άνοδοι στις εσωτερικές δεξαμενές καλύπτονται από ένα παχύτερο και εντονότερο στρώμα διάβρωσης, αφού ο ηλεκτρολύτης δε μετακινείται και περιέχει και ακαθαρσίες. Αυτή η συμπεριφορά δίνει την εντύπωση ότι οι άνοδοι παύουν να είναι αποτελεσματικές. Συνήθως όμως, αυτό το στρώμα διάβρωσης είναι πορώδες και σπογγώδες και εύκολα αφαιρέσιμο με ψεκασμό κατά την πλύση της δεξαμενής.

Σε περίπτωση όμως που μειωθεί η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε αλάτι, οι άνοδοι μπορεί να αδρανοποιηθούν. Τα συστήματα θυσιαζόμενων ανόδων σχεδιάζονται με βάση κάποιες βασικές αρχές<sup>30</sup>:

- Το μέγεθος, το σχήμα και οι περιοχές που θέλουμε να προστατεύσουμε πρέπει να παρουσιαστούν αναλυτικά και με λεπτομέρεια στον προμηθευτή του συστήματος.
- Οι περιοχές που θα βαφτούν και αυτές που θα παραμείνουν άβαφες πρέπει να καθοριστούν με ακρίβεια.
- Να γίνει υπόδειξη των περιόδων που οι δεξαμενές θα παραμένουν ερματισμένες, της ποιότητας του έρματος και το συνολικό ποσοστό του χρόνου όπου οι δεξαμενές θα είναι γεμάτες.
- Το δυναμικό των επιφανειών που προστατεύονται πρέπει να είναι  $-0.8V$  ή αρνητικότερο με ηλεκτρόδιο αναφοράς  $Ag/AgCl$  ή ισοδύναμο δυναμικό με άλλα ηλεκτρόδια αναφοράς. Γενικά, προτιμώνται δυναμικά θετικότερα του  $-1.05V$  με ηλεκτρόδιο αναφοράς  $Ag/AgCl$ .

---

<sup>29</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>30</sup> Almeida, E. & Diamantino, T.C. & Orlando de Sousa *Marine Paints: The particular case of antifouling paints*, Elsevier 2007

## 2.5 Καθοδική Προστασία Εξωτερικής Επιφάνειας Γάστρας

Για την προστασία της εξωτερικής γάστρας, η έρευνα έχει μετατεθεί προς τα λεγόμενα υβριδικά συστήματα καθοδικής προστασίας. Πρόκειται για μεθόδους που συνδυάζουν τις δύο μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω με στόχο την ταυτόχρονη εμφάνιση των πλεονεκτημάτων τους. Για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου πρέπει:

Να καθοριστούν με ακρίβεια τα παρακάτω:

- Σχήμα, μέγεθος και επιφάνεια εξωτερικής γάστρας.
- Ταχύτητα και πιθανή ρότα πλοίου καθώς και εκτιμώμενος χρόνος φορτο-εκφόρτωσης στους λιμένες.
- Τύπος προπέλας, μέγεθος, υλικά κατασκευής.
- Το πηδάλιο και τα εξαρτήματά του.
- Όλα τα λοιπά εξαρτήματα της γάστρας.

Γενικά, όλα τα εξωτερικά εξαρτήματα πρέπει να βρίσκονται σε ηλεκτρική επαφή με τη γάστρα και να συμπεριλαμβάνονται στο σύστημα προστασίας.

- Το δυναμικό της επιφάνειας να κυμαίνεται από  $-1.05$  έως  $-0.8V$  με ηλεκτρόδιο αναφοράς  $Ag/AgCl$  ή ισοδύναμο δυναμικό με άλλο ηλεκτρόδιο αναφοράς.
- Η μέση πυκνότητα ρεύματος για πλήρη καθοδική προστασία καλά επιστρωμένων γαστρών είναι περίπου  $10mA/m$  ή περισσότερο.

Όσον αφορά τις ειδικές αντιστάσεις τις θάλασσας θεωρούμε τα κάτωθι<sup>31</sup>:

- Ανοικτή θάλασσα στους  $25^{\circ}C$ ,  $20\text{ Ohm}\cdot\text{cm}$

---

<sup>31</sup> Baeckmann, W & Schwenk, W. & Prinz, W. "Handbook of Cathodic Corrosion Protection", 3<sup>rd</sup> Edition, Elsevier 1997

- Ανοικτή θάλασσα στους  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $30 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$
- Νερό ποταμού,  $200 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$
- Αποσταγμένο νερό,  $500000 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$

## 2.6 Σχετικές Παρατηρήσεις στα Συστήματα Καθοδικής Προστασίας στο Θαλασσινό Νερό

Οι σχετικές παρατηρήσεις και οι οποίες αναφέρονται στα συστήματα καθοδικής προστασίας στις μέρες μας, σημειώνονται ως εξής<sup>32</sup>.

- Στην περίπτωση της προστασίας με εξωτερική τάση υπάρχει τεχνικά η δυνατότητα ρύθμισης του δυναμικού. Αντίθετα, η προηγούμενη δυνατότητα δεν υφίσταται στην περίπτωση των θυσιαζόμενων ανόδων.
- Στην καθοδική προστασία πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπ' όψιν η συμπεριφορά της οργανικής επικάλυψης (χρώμα) που συνήθως χρησιμοποιείται ως συμπληρωματική προστασία. Με τη χρησιμοποίηση της οργανικής επικάλυψης μπορεί να μειωθεί ο λόγος της ανοδικής προς καθοδική περιοχή (π.χ. από  $1/200$  στο γυμνό χάλυβα σε  $1/275$  στον επικαλυμμένο) και να χρησιμοποιηθεί μικρότερη πυκνότητα ρεύματος προστασίας.
- Στην περιοχή υπερπροστασίας δημιουργείται έντονη αλκαλικοποίηση εξαιτίας της αναγωγής του οξυγόνου ή έκλυση υδρογόνου σε περίπτωση έλλειψης οξυγόνου. Η αλκαλικοποίηση μπορεί να οδηγήσει χημικά στην καταστροφή της επικάλυψης (αποφλοιώση). Πέραν όμως της χημικής αστάθειας των οργανικών επικαλύψεων στο αλκαλικό περιβάλλον υφίσταται ο κίνδυνος καταστροφής τους από ηλεκτροωσμωτικά φαινόμενα. Για τους λόγους αυτούς, οι χρησιμοποιούμενες οργανικές επικαλύψεις πρέπει να διαθέτουν υψηλή αντοχή στα αλκάλια και αυξημένη ικανότητα πρόσφυσης.

---

<sup>32</sup> Beltran, V, Past, "Present and Prospects of Antifouling, paper from the course held at the University of Plymouth", Department of Mechanical and Marine Engineering, 32nd Wegment School on Marine Coatings, 10-14 July 2000

- Η υπό ορισμένες συνθήκες παραγωγή υδρογόνου, εξαιτίας της υπερπροστασίας που αναφέρθηκε μπορεί να προκαλέσει βλάβες στο ίδιο το κράμα (αποσάθρωση ή ψαθυροποίηση υδρογόνου, hydrogen embrittlement, hydrogen damage, Wasserstoffversproedung). Τέτοιες περιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί σε καθοδική προστασία κυρίως με εξωτερικό ρεύμα.
- Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι προσοχή απαιτείται στη χύτευση των θυσιαζόμενων ανόδων, η οποία επηρεάζει τόσο τη μηχανική όσο και την ηλεκτροχημική συμπεριφορά τους. Στη βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί περιπτώσεις ανόδων ψευδαργύρου που υπέστησαν θρυμματισμό κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους.

## **2.7 Η Εφαρμογή των Θυσιαζόμενων Ανόδων σε Μεταλλικά Σκάφη**

Η διάβρωση των μεταλλικών σκαφών στη θάλασσα είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο. Οι παράγοντες που το επηρεάζουν μπορούν να συνοψισθούν στους εξής<sup>33</sup>:

- Διακύμανση της αγωγιμότητας και της περιεκτικότητας σε άλατα του θαλασσινού νερού (salinity, Salzgehalt) π.χ. στη Μεσόγειο, στη βόρεια θάλασσα, στις τροπικές θάλασσες κ.λπ.
- Διακύμανση θερμική (εποχιακή και τοπική π.χ. στις τροπικές θάλασσες)
- Βιολογικοί παράγοντες (θαλάσσιοι οργανισμοί που προσκολλώνται στα ύφαλα)
- Κίνηση (το σκάφος εν πλω) - ακινησία (το σκάφος ελλιμενισμένο ή υπό επισκευή)
- Ποικιλία υλικών κατασκευής (διάφορα κράματα)

Η προστασία συνεπώς των μεταλλικών κατασκευών, λαμβάνοντας υπ' όψιν τους προηγούμενους παράγοντες είναι ένα σύνθετο πρόβλημα. Στην πράξη, χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση άνοδοι ψευδαργύρου ή αλουμινίου που τοποθετούνται στη γάστρα των υφάλων του πλοίου. Η τοποθέτηση γίνεται με συγκόλληση ή μέσω κοχλιών. Για το λόγο αυτό, κατά τη χύτευση τοποθετούνται στις ανόδους ψευδαργύρου ελάσματα επιψευδαργυρωμένου χάλυβα (inserts, Halterung). Από πλευράς μορφολογίας υπάρχει ποικιλία<sup>34</sup>. Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις κυρίως τύπους: άνοδοι υδροδυναμικής, μορφής με καμπυλωτή διαμόρφωση της επιφάνειας έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον προκειμένου να περιορίζεται στο ελάχιστο η αντίσταση στην κίνηση του σκάφους, άνοδοι ορθογωνικοί με επίπεδες επιφάνειες και άνοδοι μικτού τύπου (συνδυασμός καμπύλων και επίπεδων επιφανειών).

---

<sup>33</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>34</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003



## 2.7.1 Προβληματισμοί στα Υλικά που Χρησιμοποιούνται ως Θυσιαζόμενες Άνοδοι

Το δυναμικό προστασίας είναι στην πραγματικότητα μια περιοχή τιμών δυναμικού, η θέση του δυναμικού προστασίας εξαρτάται από τις παραμέτρους του διαβρωτικού συστήματος και αναφέρεται πάντα σε συγκεκριμένο τύπο διάβρωσης. Σε ένα διαβρωτικό σύστημα όμως μπορεί να εμφανίζονται διάφοροι τύποι διάβρωσης με διαφορετικές περιοχές δυναμικού προστασίας. Συνήθως δεν αντιμετωπίζονται όλοι οι τύποι της διάβρωσης. Κατά την ηλεκτροχημική προστασία, επιδιώκεται η μείωση της ταχύτητας διάβρωσης εκείνου του τύπου διάβρωσης, ο οποίος οδηγεί στις σημαντικότερες βλάβες του υλικού.

Το δυναμικό λειτουργίας του συστήματος (E) κατά την καθοδική προστασία πρέπει να βρίσκεται εντός της περιοχής των δυναμικών προστασίας. Η περιοχή των δυναμικών προστασίας πρέπει να είναι αρνητικότερη από το δυναμικό διάβρωσης E (ταυτόσημοι όροι του δυναμικού διάβρωσης είναι: δυναμικό ηρεμίας, ελεύθερο δυναμικό διάβρωσης, rest potential, reherpotential free corrosion, potential, korrosions poential, δυναμικό ανοιχτού κυκλώματος - open circuit potential).

Η περιοχή των τιμών προστασίας περιορίζεται προς τις αρνητικότερες τιμές δυναμικού από την τιμή E5' επειδή για μερικά υλικά πολύ αρνητικές τιμές μπορεί να οδηγήσουν σε αντίστροφα αποτελέσματα, δηλαδή επιπλέον διάβρωση.

Με βάση τα ανωτέρω, οι θυσιαζόμενες άνοδοι πρέπει να έχουν τα εξής χαρακτηριστικά<sup>35</sup>:

- Να είναι ανοδικές ως προς το υλικό της κατασκευής που πρόκειται να προστατευθεί και για το συγκεκριμένο διαβρωτικό περιβάλλον της κατασκευής
- Να μην παθητικοποιούνται
- Να έχουν χαμηλό ρυθμό κατανάλωσης (δηλαδή μεγάλο χρόνο ζωής)
- Να έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης

---

<sup>35</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., "Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings", Elsevier 2003

Οι απαιτήσεις αυτές για τα χαρακτηριστικά των θυσιαζόμενων ανόδων, οδήγησαν στην ευρεία χρήση διαφορετικών υλικών για την προστασία εγκαταστάσεων. Τα πιο διαδεδομένα υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα και συνεπώς πιο σπουδαία για την καθοδική προστασία των μετάλλων (με την μέθοδο των θυσιαζόμενων ανόδων) είναι<sup>36</sup>:

- ο ψευδάργυρος
- το μαγνήσιο
- το αλουμίνιο ή/ και
- τα κράματά τους

### **2.7.2 Οι Άνοδοι Ψευδαργύρου στα Συστήματα Καθοδικής Προστασίας στο Θαλασινό Νερό**

Ο Ζn είναι ένα από τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται πιο συχνά ως θυσιαζόμενοι άνοδοι σε μεγάλη ποικιλία διαβρωτικού περιβάλλοντος (μαλακό, υφάλμυρο ή θαλασινό νερό, εδάφη ποικίλης σύστασης). Το διαβρωτικό περιβάλλον επηρεάζει σημαντικά την επιτυχία ή αποτυχία των συστημάτων προστασίας με θυσιαζόμενες ανόδους<sup>37</sup>. Ένας βασικός παράγοντας υπεύθυνος για την απόδοση των ανόδων από ψευδάργυρο είναι η περιεκτικότητά τους σε Fe. Έτσι βρέθηκε ότι, όταν η περιεκτικότητα σε σίδηρο ήταν μεγαλύτερη από 0.005%, σχηματιζόταν υμένας (φιλμ) με μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση στην επιφάνεια του Fe και η προστασία ήταν πολύ κακή. Ορίστηκε λοιπόν ως ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε σίδηρο 0.005%.

Άλλες εργαστηριακές μελέτες έδειξαν ότι προσθήκη 0.5-1% Al δρα ευεργετικά στην απόδοση της ανόδου. Τα ανωτέρω ελήφθησαν υπόψη στην διαμόρφωση των σχετικών προτύπων/ προδιαγραφών ανόδων Ζn. Από μετρήσεις σε τεχνητό θαλασινό νερό έχει αποδειχθεί ότι αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει ελάττωση της απόδοσης της ανόδου ενώ ταυτόχρονα το δυναμικό της ανόδου

---

<sup>36</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>37</sup> Almeida, E. & Diamantino, T.C. & Orlando de Sousa *Marine Paints: The particular case of antifouling paints*, Elsevier 2007

οδεύει προς της ηλεκτροθετικότερες τιμές π.χ. στους 21° C είναι -1040 mV ως προς το ηλεκτρόδιο κορεσμένου καλομέλανα (SCE) ενώ στους 69°C είναι -1000 mV<sup>38</sup>.

Όσον αφορά τη χρήση ανόδων Zn για προστασία εγκαταστάσεων στο έδαφος, οι πρώτες προσπάθειες άρχισαν το 1930. Παρατηρήθηκαν σχηματισμοί ανοδικού φιλμ οξειδίου οι οποίοι αύξαναν αρκετά την αντίσταση του κυκλώματος και συνεπώς μείωναν την απόδοση της ανόδου. Παρατηρήθηκε επίσης σταθερή συμπεριφορά των ανόδων όταν ήταν βυθισμένες μέσα σε εδάφη που περιείχαν γύψο.

Επειδή το περιβάλλον της ανόδου επιβάλλει σε μεγάλο βαθμό τον τύπο και τη φύση του ανοδικού υμένα (φιλμ) που θα σχηματιστεί σε αυτή και άρα την καλή συμπεριφορά της, πρέπει να διατηρείται τεχνητά στην άνοδο κατάλληλο περιβάλλον. Το πιο συνηθισμένο περιβάλλον ανόδου αποτελείται από μίγμα: 75% γύψος, 20% λάσπη μπετονίτη, και 5% Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> που έχει μικρή ειδική αντίσταση και συνεπώς επιτρέπει μεγάλη ένταση καθοδικού ρεύματος. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται στις ανόδους μαγνησίου που χρησιμοποιούνται πολύ περισσότερο στην πράξη (στο έδαφος). Γύρω από την άνοδο τοποθετείται παρεμφερές υλικό (Backfill, Bettungsmasse), που τελικά υποβοηθάει τη λειτουργία της<sup>39</sup>.

Ως πλεονέκτημα των ανόδων ψευδαργύρου θεωρείται ο καλός βαθμός απόδοσης (περίπου 90-96%) και άρα η μεγάλη διάρκεια ζωής. Τα μειονεκτήματα είναι:

- η μικρή ενεργή τάση (περίπου 0.22 V) και η χρησιμοποίησή τους σε μαλακό νερό είναι προβληματική εξαιτίας, της πόλωσής τους (κυρίως στο ζεστό νερό λόγω της αντιστροφής του δυναμικού σε θερμοκρασία > 63oC. Στην περίπτωση αυτή ο Zn καθίσταται καθοδικότερος του Fe με αποτέλεσμα να μη προστατεύεται πλέον ο σίδηρος.

---

<sup>38</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>39</sup> Beltran, V, Past, “*Present and Prospects of Antifouling, paper from the course held at the University of Plymouth*”, Department of Mechanical and Marine Engineering, 32nd Wegment School on Marine Coatings, 10-14 July 2000

### 2.7.3 Οι Άνοδοι Μαγνησίου στα Συστήματα Καθοδικής Προστασίας στο Θαλασσινό Νερό

Παρουσιάζουν πολύ μικρή ανοδική πόλωση και έτσι εξασφαλίζεται η ομοιόμορφη ροή του ρεύματος. Ξένες προσμίξεις όπως Fe, Cu, και Ni αυξάνουν την απόδοση της ανόδου, πράγμα που μειώνει τη διάρκεια ζωής της. Άνοδοι μαγνησίου χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε οικιακές συσκευές παραγωγής ζεστού νερού (ηλιακοί-ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες) όταν η εσωτερική επιφάνεια του μεταλλικού δοχείου προστατεύεται παθητικά (σμάλτο ή οργανική επικάλυψη)<sup>40</sup>. Σε ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού έχει αποκλεισθεί ο γαλβανισμένος χάλυβας βάσει προδιαγραφών. Ακόμη και στον επισμαλτωμένο χαλυβδόφυλλο υπάρχουν ατέλειες που οδηγούν σε ανοδικές περιοχές. Επίσης, για χρήση στο έδαφος, οι άνοδοι τοποθετούνται σε περιβάλλον λάσπης μπετονίτη μέσα σε διαπερατό υφασμάτινο σάκο (backfill, Bettungsmasse).

Επειδή το Mg τείνει να διαβρωθεί γρήγορα στο θαλασσινό νερό, αποφεύγεται πλέον η χρήση του για μακροχρόνια καθοδική προστασία σε θαλασσινό περιβάλλον. Ως πλεονέκτημα της χρήσης των ανόδων Mg αναφέρεται η μεγάλη διαφορά του δυναμικού σε σχέση με τον χάλυβα (0.6 Volt) ενώ βασικό μειονέκτημα της είναι ο μικρός βαθμός εκμετάλλευσης, 50%. Ο χαμηλός βαθμός απόδοσης των ανόδων Mg οδήγησε στην προσπάθεια ανάπτυξης κραμάτων με μεγαλύτερη απόδοση.

Αποτέλεσμα ήταν η παραγωγή του κράματος Mg με 6% Al και 3% Zn. Βρέθηκε επίσης ότι τα στοιχεία Pb, Sn, Cd, και Zn έχουν μικρή επίδραση στη συμπεριφορά της ανόδου, ενώ, όπως ήδη αναφέρθηκε, τα στοιχεία Ni, Cu και Fe επιταχύνουν τη διάβρωσή της<sup>41</sup>.

### 2.7.4 Άνοδοι Αλουμινίου

Ένα τρίτο μέταλλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως θυσιαζόμενη άνοδος για το χάλυβα είναι το αλουμίνιο. Η θέση του στην ηλεκτροχημική σειρά των μετάλλων είναι μεταξύ του Mg και Zn. Στο καθαρό αλουμίνιο ή στα τεχνικά παραγόμενα συνηθισμένα κράματά του, σχηματίζεται επιφανειακό

---

<sup>40</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>41</sup> Baeckmann, W & Schwenk, W. & Prinz, W. “*Handbook of Cathodic Corrosion Protection*”, 3<sup>rd</sup> Edition, Elsevier 1997

στρώμα από οξείδιο που εμποδίζει την ομοιόμορφη ροή του ρεύματος. Γι αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται ειδικά κράματα ως υλικό ανόδου.

Οι άνοδοι από ΑΙ χρησιμοποιούνται κυρίως για την προστασία κατασκευών που βρίσκονται σε περιβάλλον θαλασσινού νερού. Πλεονέκτημα της χρήσης ανόδων από ΑΙ είναι ο καλός βαθμός απόδοσής τους που είναι περίπου 80% και άρα η μεγάλη διάρκεια ζωής τους. Το μειονέκτημα τους είναι η σχετικά μικρή ενεργή τάση που αναπτύσσεται. Το πρόβλημα της παθητικοποίησης ανόδων αντιμετωπίζεται με προσθήκη μικροποσοτήτων στοιχείων όπως το ίδιο για το οποίο θα αναφερθούμε αργότερα διεξοδικά.

## **2.8 Η Σημασία της Σύστασης των Ανόδων**

Όλες οι ηλεκτροχημικές ιδιότητες εξαρτώνται από τη σύσταση του κράματος, δηλαδή της ανόδου. Είναι επομένως αποφασιστικής σημασίας να ελέγχεται η σύσταση των ανόδων μετά τη χύτευση μέσα σε πολύ στενά όρια. Άνοδοι με συστάσεις που αποκλίνουν, έστω και λίγο, από τις πειραματικά ελεγμένες είναι πολύ πιθανό να παθητικοποιούνται ή να πάσχουν από άλλου είδους ατέλειες, να παρέχουν ιδιότητες ανώτερες από αυτές των απλών συστατικών τους και γι' αυτό η διαδικασία της χύτευσης πρέπει να ελέγχεται συστηματικά<sup>42</sup>.

Μεταξύ των άλλων, σημαντικό είναι τα χυτά να είναι λεπτόκοκκα. Η εξέταση επομένως με μεταλλογραφικό μικροσκόπιο της διατομής των ανόδων είναι απαραίτητη για να διαπιστωθεί η δομή τους. Η λειτουργία των ανόδων μπορεί να επηρεάζεται από εξωτερικά ελαττώματα, όπως μη μεταλλικές εγκλείσεις, πόρους, ρωγμές και σπηλαιώσεις τα οποία όμως δεν έχουν ερευνηθεί εκτενέστερα ώστε να υπάρχουν αποδεκτά όρια ανοχής ατελειών. Πέραν της σύστασης των χυτών ανόδων, σημασία έχει η καλή σύνδεση του ελάσματος στερέωσης εντός του χυτού. Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις στην πράξη αποκοπής τεμαχιδίων ανόδων (άρα και ελάττωσης του χρόνου ζωής τους) εξαιτίας ανεπαρκούς ή κακής σύνδεσης του ελάσματος<sup>43</sup>.

---

<sup>42</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>43</sup> Almeida, E. & Diamantino, T.C. & Orlando de Sousa *Marine Paints: The particular case of antifouling paints*, Elsevier 2007

## 2.9 Μορφολογία της Διάβρωσης και ο Σκοπός της Χρήσης Συστημάτων Καθοδικής Προστασίας

Η μορφολογία και η φύση των προϊόντων της διάβρωσης είναι σημαντικές παράμετροι για τους εξής ρόλους:

- Κράμα, το οποίο στις συνθήκες δοκιμής παράγει βαριές και συμπαγείς αποθέσεις, έχει αυξημένη πιθανότητα παθητικοποίησης σε συνθήκες λειτουργίας ή πιθανότητα τοπικής διάβρωσης με μορφή στιγμάτων (pitting corrosion).
- Σε κράμα με καλή συμπεριφορά δημιουργείται ελαφριά πορώδης απόθεση, η οποία όταν απομακρυνθεί μηχανικά αφήνει σχετικά λεία επιφάνεια, με αποτέλεσμα να υπάρχει σχετικά αυξημένη πιθανότητα να παραμείνει ενεργή η άνοδος για μακρό χρονικό διάστημα.

Οι έλεγχοι των ανόδων μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 κατηγορίες<sup>44</sup>:

- Έλεγχοι στην παραγωγή (δηλαδή βραχείας διάρκειας έλεγχοι στο χυτήριο).
- Εργαστηριακοί έλεγχοι (μακροχρόνιοι ή βραχυχρόνιοι).
- Έλεγχοι στην πράξη (δηλαδή στην κατασκευή σε πραγματικές συνθήκες)

Η τρίτη κατηγορία είναι η πλέον αξιόπιστη. Για τις άλλες δύο κατηγορίες είναι προφανές ότι πρέπει να γίνει διεθνής τυποποίηση των μεθόδων ελέγχου προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους.

---

<sup>44</sup> Baeckmann, W & Schwenk, W. & Prinz, W. “*Handbook of Cathodic Corrosion Protection*”, 3<sup>rd</sup> Edition, Elsevier 1997

## **2.10 Ηλεκτρονικές Μέθοδοι Ελέγχου στα Συστήματα Καθοδικής Προστασίας**

Στη βιβλιογραφία υπάρχει πλήθος μεθοδολογιών οι οποίες μπορούν να ομαδοποιηθούν από την πλευρά της ηλεκτροχημείας ως εξής<sup>45</sup>:

- Γαλβανοστατικές (με υποδιαιρέσεις την απλή γαλβανοστατική και τη μέθοδο έκλυσης υδρογόνου) όπου επιβάλλεται σταθερή πυκνότητα ρεύματος.
- Μέθοδοι με βραχυκυκλωμένο γαλβανικό στοιχείο (αντιστοιχούν στην πραγματική λειτουργία της ανόδου)
- Ποτενσιοστατικές ( όπου επιβάλλεται σταθερό δυναμικό ανόδου).
- Ποτενσιοδυναμικές ή ποτενσιοκινητικές ( όπου επιβάλλεται δυναμικό μεταβαλλόμενο συναρτήσει του χρόνου με καθορισμένη ταχύτητα).
- Γαλβανοδυναμικές ( όπου επιβάλλεται ένταση ρεύματος μεταβαλλόμενη συναρτήσει του χρόνου με καθορισμένη ταχύτητα).

## **2.11 Ανάλυση και Κριτική των Διαφόρων Μεθοδολογιών με Σκοπό την Ορθή Εφαρμογή των Συστημάτων Καθοδικής Προστασίας στο Θαλασσινό Νερό**

Η γαλβανοστατική μέθοδος (συνήθης στην έρευνα της διάβρωσης) συνίσταται στην επιβολή σταθερής έντασης ρεύματος και στην παρακολούθηση του προκύπτοντος δυναμικού (η μέθοδος με καταγραφή του χρόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ηλεκτροχημικής απόδοσης). Στις γαλβανοστατικές μεθόδους εντάσσεται και η μέθοδος της έκλυσης υδρογόνου. Μικροακαθαρσίες, οι οποίες πιθανόν να μην έχουν ανιχνευθεί με κοινές αναλυτικές μεθόδους μπορούν να δημιουργήσουν τοπικά γαλβανικά στοιχεία τα οποία μειώνουν τη δράση της ανόδου.

Η έκλυση υδρογόνου είναι η πρωτογενής καθοδική δράση των τοπικών γαλβανικών στοιχείων. Συνεπώς η μέτρηση του όγκου του υδρογόνου μπορεί να αποτελέσει ένδειξη για την απώλεια

---

<sup>45</sup> Almeida, E. & Diamantino, T.C. & Orlando de Sousa *Marine Paints: The particular case of antifouling paints*, Elsevier 2007

απόδοσης της ανόδου. Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές της μεθόδου στη βιβλιογραφία. Επειδή η απώλεια της απόδοσης της ανόδου δεν εξαρτάται μόνο από τις προηγούμενες καθοδικές δράσεις, με τη μέθοδο της έκλυσης υδρογόνου δεν μπορεί να αξιολογηθεί η συνολική συμπεριφορά της ανόδου.

Συνήθως στις γαλβανοστατικές μεθόδους μετρείται η απώλεια του βάρους του υλικού. Μεγαλύτερη ακρίβεια στις γαλβανοστατικές μεθόδους επιτυγχάνεται με τη συνεχή μέτρηση της πτώσης τάσης σε δεδομένη αντίσταση του κυκλώματος. Γενικά θεωρείται ότι ο προσδιορισμός της απόδοσης της ανόδου δεν επηρεάζεται από το επιβαλλόμενο ρεύμα, σε σχέση με την πραγματική λειτουργία της ανόδου που με την μορφή βραχυκυκλωμένου γαλβανικού στοιχείου παράγει ρεύμα<sup>46</sup>.

Το πλεονέκτημα των γαλβανοστατικών μεθόδων έγκειται αφενός στον έλεγχο της πυκνότητας ρεύματος, επομένως μπορεί να προδικάσει τη συμπεριφορά υλικών που επηρεάζονται από αλλαγές της πυκνότητας, και αφετέρου επιτρέπει καλή αναπαραγωγιμότητα των ελέγχων. Εξαιτίας της εξωτερικής επιβολής ρεύματος που ελέγχεται από εξωτερική πηγή, δεν είναι δυνατό να εκτιμηθεί η τάση του υλικού της ανόδου προς παθητικοποίηση. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως βασικό μειονέκτημα της μεθόδου. Άρα οι μετρήσεις δυναμικού που προκύπτουν είναι ενδεικτικές και έχουν μόνο συγκριτική αξία<sup>47</sup>.

---

<sup>46</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>47</sup> Baeckmann, W & Schwenk, W. & Prinz, W. “*Handbook of Cathodic Corrosion Protection*”, 3<sup>rd</sup> Edition, Elsevier 1997



## Επίλογος – Συμπεράσματα

Τα χαρακτηριστικά σημεία ενός συστήματος καθοδικής προστασίας είναι σημεία μέτρησης που επιτρέπουν την επιβεβαίωση, με ικανοποιητική προσέγγιση και με απλή σύγκριση των τρεχόντων ηλεκτρικών παραμέτρων τους με αυτές που καταγράφονται από την μελέτη καθοδικής προστασίας, δηλαδή ότι το σύστημα διατήρησε την αρχική του αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα. Ο αριθμός των χαρακτηριστικών σημείων και των επιλεγμένων σημείων μέτρησης κάθε συστήματος προσδιορίζονται στις γραπτές διαδικασίες του συστήματος, συναρτήσει της έκτασης του καθοδικά προστατευόμενου δικτύου στο τόπο και για τους λόγους εκείνους και τους οποίους χρησιμοποιούνται<sup>48</sup>.

Η καθοδική προστασία στα πλοία περιλαμβάνει την προστασία των υφάλων του πλοίου, των εσωτερικών δεξαμενών φορτίου και έρματος, των δεξαμενών στο διπύθμενο, των σωληνώσεων, των διάφορων ανοιγμάτων και πρόσθετων (έλικα, πηδάλιο, κ.α.). Η απαιτούμενη τάση προστασίας ενός πλοίου ή μιας θαλάσσιας κατασκευής καθορίζεται από το δυναμικό διάβρωσης ως προς το διαβρωτικό περιβάλλον. Το μεγάλο πρόβλημα έγκειται στο ότι τα πλοία εκτίθενται σε περιβάλλοντα μεταβαλλόμενων συνθηκών και καταστάσεων αντιδιαβρωτικού και αντιρρυπαντικού χρώματος, οπότε η τάση προστασίας πρέπει να αναπροσαρμόζεται ώστε να υπάρξει επαρκής προστασία. Συνεπώς, είναι αναγκαία η συνεχής μεταβολή και του απαιτούμενου καθοδικού ρεύματος προστασίας της κατασκευής<sup>49</sup>.

Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η προσεκτική μελέτη και ο μηχανολογικός σχεδιασμός των συστημάτων προστασίας σε συνδυασμό με τη βοήθεια ειδικών σχεδίασης. Η καθοδική προστασία ενός

---

<sup>48</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>49</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

πλοίου έχει δύο κυρίαρχες συνέπειες. Κατά πρώτον, εμποδίζει την εξέλιξη του φαινομένου της διάβρωσης οπότε τα ελάσματα δε λεπταίνουν, οι συγκολλήσεις δεν καταναλώνονται και δε συμβαίνουν βελονισμοί. Κατά δεύτερον, η γάστρα διατηρείται λεία και συνεπώς δεν υπάρχουν επιπλέον οικονομικές επιβαρύνσεις λόγω της αύξησης της τριβής.

Για την προστασία των δεξαμενών έρματος προτείνεται η καθοδική προστασία θυσιαζόμενων ανόδων σε συνδυασμό πάντα με βαφή, γιατί η πλήρης προστασία σε άβαφες δεξαμενές είναι πρακτικά ακατόρθωτη, λόγω της σύνθετης δομής και του μεγάλου αριθμού ανόδων που απαιτούνται. Τα συστήματα προστασίας δεν ασκούν κάποια επίδραση όταν οι κατασκευές είναι κενές και ενεργοποιούνται πλήρως μετά από κάποιο χρόνο (μισή ημέρα ή περισσότερο) από την πλήρη κάλυψη της από έρμα<sup>50</sup>.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί πως γενικά η ταχύτητα διάβρωσης ενός μεταλλικού υλικού σε ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη εξαρτάται από το δυναμικό του μετάλλου/ ηλεκτρολύτη. Η ταχύτητα διάβρωσης μειώνεται με μετατόπιση του δυναμικού προς αρνητικότερες τιμές όταν όπως ήδη αναφέρθηκε αυτό συνδεθεί αγώγιμα με θυσιαζόμενη άνοδο. Η οριακή τιμή του δυναμικού στην οποία η ταχύτητα διάβρωσης μπορεί να θεωρηθεί από τεχνικής άποψης αμελητέα, έτσι ώστε μα μην παρουσιάζονται βλάβες λόγω διάβρωσης, ονομάζεται δυναμικό προστασίας, ES<sup>51</sup>.

---

<sup>50</sup> Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003

<sup>51</sup> Baeckmann, W & Schwenk, W. & Prinz, W. “*Handbook of Cathodic Corrosion Protection*”, 3<sup>rd</sup> Edition, Elsevier 1997

## Βιβλιογραφία

### Αγγλική Βιβλιογραφία

- ✓ ABB Marine, 2000, *Azimuthing Electric Propulsion Drive*
- ✓ Bose B.K., 1997, “*Power Electronics and Variable Frequency Drives: Technology and Applications*”, IEEE Press, New York
- ✓ Harrington R. L., 1992, ed., “*Marine Engineering*”, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, N.J.
- ✓ Kuuskoski J., 1995, “*Diesel-Electric Machinery Concept in a Safe and Economical Tanker*” in *Marine Propulsion Systems : Design and Performance*, Athens, Greece
- ✓ Woodyard D., 1994, “*D-E moves to Mainstream*” in *Marine Propulsion*, October
- ✓ Woodyard D., 1995, “*Electric Propulsion Charges Ahead*” in *Marine Propulsion*, April
- ✓ Yacamini R., Smith K. S., 1996, “*Noise generation in marine motors*”, *Trans ImarE*, Vol. 107, Part 4
- ✓ Lorange P., Strategic re-thinking in shipping companies, *Maritime Policy and Management*, Vol. 28, no.1, 2001.
- ✓ Alderton, T. and Winchester, N., 2002, “*Globalization and Deregulation in the Maritime Industry*”, *Marine Policy* 26 (1)
- ✓ Alderton, Patrick, 2004 “*Transport, Operations and Economics*”, Adlard Coles Nautical
- ✓ Bloor, M., Thomas, M. and Lane, T., 2000, “*Healthy Risks in the Global Shipping Industry: An Overview*”, *Health, Risk and Society* 2 (3)
- ✓ Chrzanowski, I., 2002, “*An Introduction to Shipping Economics*”, London, Fairplay Publications.

- ✓ Davies, F., 1996, "*Implementing the ISM Code*", BIMCO Bulletin, Volume 91, No. 2
- ✓ Davies, F., 1996, "*Quality Policy Manual*", BIMCO Bulletin, Volume 92, No. 2
- ✓ De Bievre, A., 2005, "*IMO and the ISM Code*", BIMCO Review 2004
- ✓ Huges, L., 2002, "*The Shipping Transport*", Chapman and Hall
- ✓ Huges, M., 2004, "*Internal Safety Management Systems Controls*", BIMCO Bulletin, 2005
- ✓ Kemp P., 2003, "*History of ships*", New York, Books for Shipping
- ✓ MARPOL – Pollution Prevention – BIMCO Bulletin Review 2004
- ✓ Michael, G., 2002, "*Economics of Shipping*", Thomas Reed Publications
- ✓ Metaxas, B., 1996, "*The Economics of Shipping*". London, Athlone Press.
- ✓ Metaxas, B., 1998, "*The Economics of Tramp Shipping*". London, Athlone Press.
- ✓ Saunders M., Lewis P. and Thornhill A., 2000, "*Research Methods For Business Students*", London: Prentice Hall.
- ✓ Sekaran U., 1992, "*Research Methods for Business, A Skill Building Approach*", New York: John Wiles and Sons Inc.
- ✓ Zikmund W.G., 2000, "*Business Research Methods*", London: Harcourt college publishers.
- ✓ Beltran, V, Past, "*Present and Prospects of Antifouling, paper from the course held at the University of Plymouth*", Department of Mechanical and Marine Engineering, 32nd Wegment School on Marine Coatings, 10-14 July 2000
- ✓ Jones, D., "*Afloat Maintenance, the Control of Marine Fouling and the Care of Coatings Underwater*", paper from the course held at the University of Plymouth, Department of Mechanical and Marine Engineering, 32nd Wegment School on Marine Coatings, 10-14 July 2000

- ✓ Almeida, E. & Diamantino, T.C. & Orlando de Sousa *Marine Paints: The particular case of antifouling paints*, Elsevier 2007
- ✓ Yebra, D.M. & Kiil, S. & Dam – Johansen, K., “*Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*”, Elsevier 2003
- ✓ Baeckmann, W & Schwenk, W. & Prinz, W. “*Handbook of Cathodic Corrosion Protection*”, 3<sup>rd</sup> Edition, Elsevier 1997

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

- ✓ Μαλατέστας Π, Μανιάς Σ., 1995, “*Συστήματα Οδήγησης Ηλεκτρικών Κινητήρων*”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
- ✓ Μπατιστάτος Ν. 1999, “*Ανάλυση Συστημάτων Δηζελοηλεκτρικής Πρόωσης Πλοίων*”, Διπλωματική Μεταπτυχιακή Εργασία ΔΠΜΣ “*Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας*”, Αθήνα, Οκτώβριος
- ✓ Φραγκόπουλος Χ., 2005, “*Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου – Τόμος Α’: Ηλεκτρολογικό μέρος*”, Διδακτικές σημειώσεις για φοιτητές της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ
- ✓ Χατζηλάου Ι.Κ, Γύπαρης Ι.Κ., 2001, “*Ηλεκτροπρόωση Μηχανών Πολεμικών Πλοίων*”, Μονογραφία ΣΝΔ, Πειραιάς, Μάρτιος

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Πρόλογος.....	5
Κεφάλαιο 1: Η Έννοια και οι Αρχές Λειτουργίας των Συστημάτων Καθοδικής Προστασίας.....	7
Κεφάλαιο 2 : Η Χρήση των Συστημάτων Καθοδικής Προστασίας στα Πλοία και Προστασία στο Θαλασινό Νερό.....	15
Επίλογος – Συμπεράσματα.....	33
Βιβλιογραφία.....	35