

# Antikorozivna zaštita brodova

---

Tuđan, Elena

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:908533>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

**Završni rad br. 413/PS/2023**

## **Antikorozivna zaštita brodova**

**ELENA TUĐAN, 0035220428**

Varaždin, srpanj 2023. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za strojarstvo

Završni rad br. 413/PS/2023

## Antikorozivna zaštita brodova

**Student**

ELENA TUĐAN, 0035220428

**Mentor**

doc. dr. sc. Matija Bušić, dipl. ing. stroj.

Varaždin, srpanj 2023. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PRISTUPNIK Elena Tuđan

MATIČNI BROJ 0035220428

DATUM 15.06.2023.

KOLEGIJ Površinska obrada materijala

NASLOV RADA Antikorozivna zaštita brodova

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Protection of ships against corrosion

MENTOR dr.sc. Matija Bušić

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. izv. prof. dr. sc. Sanja Šolić, predsjednica povjerenstva
2. doc. dr. sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva
3. Marko Horvat, dipl.ing. član povjerenstva
4. doc. dr. sc. Jasna Leder Horina, rezervni član povjerenstva
- 5.

## Zadatak završnog rada

BROJ 413/PS/2023

OPIS

U završnom radu pristupnica treba na temelju literaturnih podataka proučiti i opisati metode zaštite od korozije koje se primjenjuju u brodogradnji i u održavanju brodova. U prvom dijelu rada potrebno je definirati koroziju i usporediti sve njene pojavne oblike. Potrebno je opisati načine djelovanja različitih vrsta korozijskih procesa te oštećenja koja korozija izaziva.

U drugom dijelu rada potrebno je detaljno opisati tehnologije zaštite od korozije koje se primjenjuju pri zaštiti materijala u brodogradnji. Posebno detaljno dati pregled zaštite od korozije nanošenjem premaza. Opisati slijed operacija pripreme površine i tehnologiju nanošenja premaza koja se koristi u održavanju brodova. Navesti primjer i opisati tehnologiju nanošenja protuobraštajnog premaza. Donijeti vlastiti zaključak o proučavanoj tematici. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

ZADATAK URUČEN

07.07.2023.



M. Bušić

## **Sažetak**

Tematika ovog rada su metode zaštite od korozije u brodogradnji. Na početku su dane osnovne informacije o održavanju broda tijekom kojeg se i provode sami postupci zaštite od korozije. Navedena je klasifikacija korozije te su opisane značajke svake vrste iste, nakon čega su obrađene metode zaštite od korozije (zaštita premazima, zaštita inhibitorima korozije, primjena korozijski postojanih materijala, konstrukcijsko-tehnološke mjere te katodna zaštita od korozije) sa specifičnostima koje se primjenjuju u zaštiti brodova.

Ključne riječi: korozija, brodarstvo, brodogradnja, antikorozivna zaštita

## **Abstract**

The topic of this thesis is corrosion protection methods in shipbuilding. It begins by providing basic information about ship maintenance, during which the corrosion protection procedures are carried out. The classification of corrosion is mentioned and the characteristics of each type of corrosion are described. Following that, various corrosion protection methods which are used in ship building are discussed, including coating protection, corrosion inhibitor protection, the use of corrosion-resistant materials, structural and technological measures and cathodic protection against corrosion.

Key words: corrosion, shipping, ship building, anti-corrosion protection

## Popis korištenih kratica

<b>SCC</b>	Stress Corrosion Cracking Napetosna korozija
<b>MIC</b>	Microbially Influenced Corrosion Mikrobiološki poticana korozija
<b>TBT</b>	Tributyltin Tributil tin
<b>CDP</b>	Control Depletion Polymer Premazi s topivom matricom
<b>SPC</b>	Self Polishing Co-polymer Samopolirajući kopolimer
<b>FR</b>	Foul Release Neobraštajući premazi
<b>VCI</b>	Volatile Corrosion Inhibitor Hlapivi inhibitori korozije
<b>VPI</b>	Vapour Phase Inhibitor Inhibitori u parnoj fazi
<b>ZUT</b>	Zona utjecaja topline



# Sadržaj

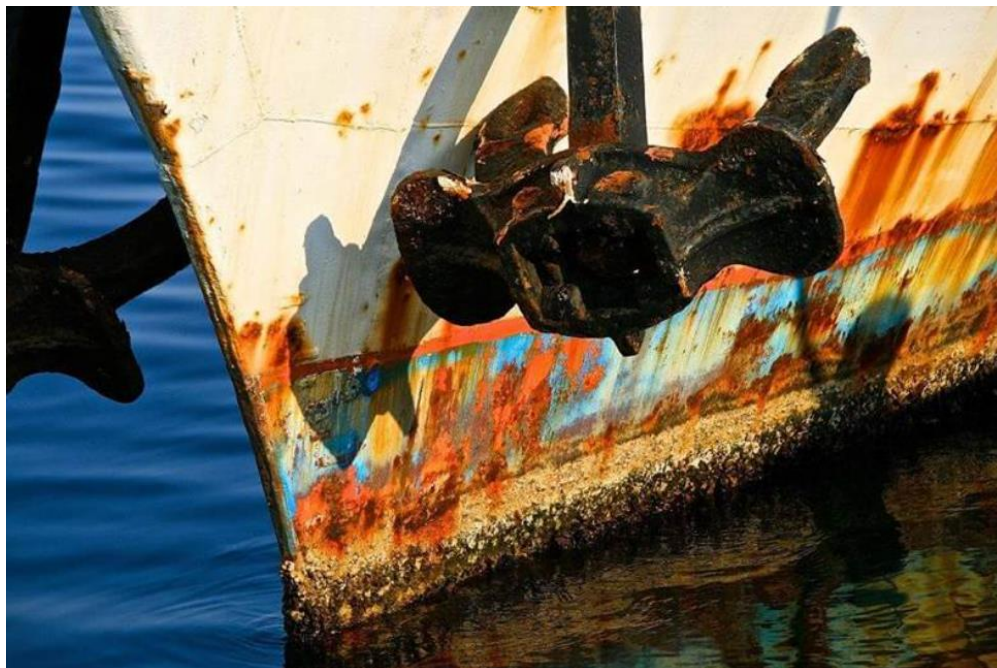
1.	Uvod.....	1
2.	Održavanje brodova .....	3
3.	Općenito o koroziji .....	7
3.1.	Mehanizmi korozijskih procesa.....	8
3.1.1.	<i>Kemijska korozija</i> .....	8
3.1.2.	<i>Elektrokemijska korozija</i> .....	9
3.2.	Geometrijska klasifikacija korozije.....	9
3.2.1.	<i>Opća korozija</i> .....	9
3.2.2.	<i>Lokalna korozija</i> .....	11
3.2.3.	<i>Selektivna korozija</i> .....	15
3.2.4.	<i>Interkristalna korozija</i> .....	16
3.3.	Ostali oblici korozije .....	17
3.3.1.	<i>Napetsna korozija</i> .....	17
3.3.2.	<i>Erozijska korozija i udarni napad</i> .....	18
3.3.3.	<i>Mikrobiološki poticana korozija</i> .....	19
3.4.	Kavitacijska korozija.....	20
3.5.	Zaštita od korozije .....	21
4.	Zaštita premazima .....	22
4.1.	Priprema površine za nanošenje premaza .....	22
4.2.	Nanošenje premaza .....	24
4.3.	Organske prevlake .....	26
4.4.	Organske prevlake posebne namjene – protuobraštajni premazi .....	27
4.4.1.	<i>Sredstva za obraštanje na bazi kositra</i> .....	29
4.4.2.	<i>Suvremene tehnologije zaštite broskog trupa od obraštanja</i> .....	29
4.4.3.	<i>Primjer nanošenja protuobraštajnog premaza na gliser</i> .....	30
4.5.	Organske prevlake – plastifikacija/polimerne prevlake .....	33
4.6.	Organske prevlake – bitumenizacija .....	34
4.7.	Metalne prevlake .....	34
4.8.	Anorganske nemetalne prevlake .....	35
5.	Zaštita materijala promjenama okolnosti (inhibitori korozije) .....	36
6.	Primjena korozijski postojanih materijala .....	40
6.1.	Čelici .....	40
6.2.	Ostali korozijski postojani materijali .....	41
7.	Konstruktivsko-tehnološke mjere .....	42
8.	Električne metode zaštite .....	45
8.1.	Zaštita protektorskom anodom.....	46
8.2.	Zaštita narinutom strujom .....	47
9.	Zaključak.....	50
10.	Literatura.....	51
	Popis slika .....	53

# 1. Uvod

Brod je plovno sredstvo koje služi za transport ljudi i dobara. On je složena cjelina koja se sastoji od velikog broja komponenata koje moraju biti zajedno usklađene te omogućiti njegovu eksploataciju nekoliko desetljeća. Njegove performanse moraju biti na najvišoj razini kako bi transport bio isplativ i rentabilan.

Sami uvjeti u kojima brod prometuje su nepovoljni te ukoliko nisu zadovoljeni svi zahtjevi u pogledu ispravnosti broda (npr. visoka specifična čvrstoća, žilavost, postojanost prema agresivnim medijima te nezapaljivost materijala od kojih je građen), može doći do velikih havarija, pa čak i tragedija. Uz nepovoljne uvjete koje pruža okolina u kojoj se brodovi većinu vremena nalaze, još jedna otegotna okolnost je činjenica da su brodovi izrazito krupna transportna sredstva, stoga je njihova amortizacija vrlo zahtjevna te, analogno tome, zahtijeva i velike financijske izdatke.

Održavanje je jedna od najbitnijih stavki u životnom vijeku brodova. Održavanje broda se provodi s namjerom produljenja njegovog životnog vijeka i otklanjanja kvarova. Neprovođenje održavanja, ne samo brodova, već bilo kojeg tehničkog sustava, može rezultirati velikim gubicima pa je važno posvetiti pozornost planiranju i organizaciji aktivnosti održavanja. Jedan od najvećih uzroka kvarova i šteta na brodovima jest korozija – slike 1 i 2.



*Slika 1 Korozija trupa broda [1]*



*Slika 2 Korozija na sabirnici napajanja broda [2]*

Otpornost na koroziju je jedan od glavnih zahtjeva koji konstrukcijski materijali moraju zadovoljiti. Djelovanjem korozije, materijali propadaju. Okolina koja okružuje brodove je iz aspekta korozije izrazito štetna te je nužno redovito održavanje. Uz otpornost na koroziju, tu su i ostali zahtjevi koje konstrukcijski materijali moraju zadovoljiti (npr. izvrsna mehanička svojstva).

S obzirom da je teško pronaći takve materijali koji ispunjavaju sve kriterije te su pritom cjenovno pristupačni, moraju se primijeniti različite tehnologije i mehanizmi zaštite od korozije. Korozija je specifičan proces koji nije moguće u potpunosti izbjeći ili ga izolirati, stoga se u današnje vrijeme, ne samo u brodogradnji, već u svim područjima tehničkih znanosti izdvaja puno vremena, resursa i pažnje tome problemu.

## 2. Održavanje brodova

Održavanje postrojenja može se definirati kao skup svih aktivnosti s ciljem osiguravanja njegovog ispravnog rada, odnosno odgovarajuće karakteristike pouzdanosti [3].

Pod pojmom održavanja brodova podrazumijeva se sprječavanje kvarova na brodskim sustavima, produženje vremena njihova korištenja te otklanjanje nastalih kvarova na najučinkovitiji način [4].

Osnovni cilj održavanja je povećati profitabilnost i smanjiti troškove, no samo održavanje također donosi izvjesne troškove koji rastu proporcionalno sa starošću broda, uvjetima plovidbe te prijašnjim načinima održavanja, stoga je važno pronaći balans između održavanja s najpovoljnijim odnosom troškova održavanja te utjecaja tog istog održavanja na profitabilnost poslovanja broda.

Održavanje nekog sustava sa sobom donosi direktne i indirektne troškove.

Direktni troškovi održavanja sastoje se od izdataka koji se odnose na uloženi ljudski rad te izdataka za doknadne dijelove upotrijebljenih u procesu održavanja. Na indirektne troškove može se gledati kao na izmaklu dobit, odnosno neostvarenu zaradu radi zastoja broda koji, primjerice, u određenom trenutku ne izvršava svoju funkciju radi izvođenja operacija održavanja ili se na njemu desio neplanirani kvar.

Dakle, u pristupu održavanju potrebno je izvršiti optimizaciju direktnih i indirektnih troškova održavanja, tj. odabrati onaj pristup održavanja kod kojeg je zbroj ukupnih troškova najmanji.

Dva osnovna pristupa održavanju broda su preventivno i korektivno održavanje. Preventivno nastoji da se spriječi kvar pravodobnom zamjenom (obnovom) komponenata [5].

To znači da će se ono provoditi planirano, za određena vremenska razdoblja, čime će se spriječiti dotrajalost komponenti sustava, ali će učestalost održavanja biti visoka, a iskoristivost sustava relativno niska, u odnosu na korektivno održavanje.

Korektivno održavanje temelji se na neprovođenju bilo kakvih aktivnosti održavanja sve do trenutka u kojem će doći do stvarnog kvara na sustavu. Pojednostavljeno rečeno, korektivni pristup odnosi se na neplanirano održavanje sustava.

Oba pristupa imaju prednosti i nedostataka.

Prednosti preventivnog održavanja su [4]:

- bolje udovoljavanje postavljenim uvjetima sigurnosti i pouzdanosti te bolja ekonomska iskoristivost broda,
- smanjeni broj zastoja broda zbog kvara,
- moguće je usklađivanje poslova održavanja temeljenih na planu s ekonomskim uvjetima pod kojima brod posluje,

- posadi broda ravnomjerno su raspoređene aktivnosti u održavanju,
- općenito sustavi imaju manji broj kvarova.

Nedostaci preventivnog održavanja su [4]:

- veća učestalost zahvata održavanja na sustavima,
- veći utrošak pričuvnih dijelova,
- veća cijena troškova održavanja.

Prednosti korektivnog održavanja su [4]:

- iskoristivost komponenti sustava je u cijelosti,
- manji troškovi pričuvnih dijelova,
- nema troškova održavanja dok komponenta sustava ne zakaže.

Nedostaci korektivnog održavanja su [4]:

- povećani broj zastoja broda,
- slabija ekonomska iskoristivost broda, manja razina pouzdanosti i sigurnosti,
- posada broda može biti izložena zahtjevima prilikom otklanjanja kvara koji nadilaze njihove radne mogućnosti,
- vrijeme zastoja broda je uobičajeno duže.

U brodarstvu, u praksi, nema primjene striktno jednog ili drugog pristupa, već se odabire njihova kombinacija objedinjena u pristupu koji ispunjava zahtjeve klasifikacijskih zavoda, inspekcijskih pregleda te zahtjeve brodara.

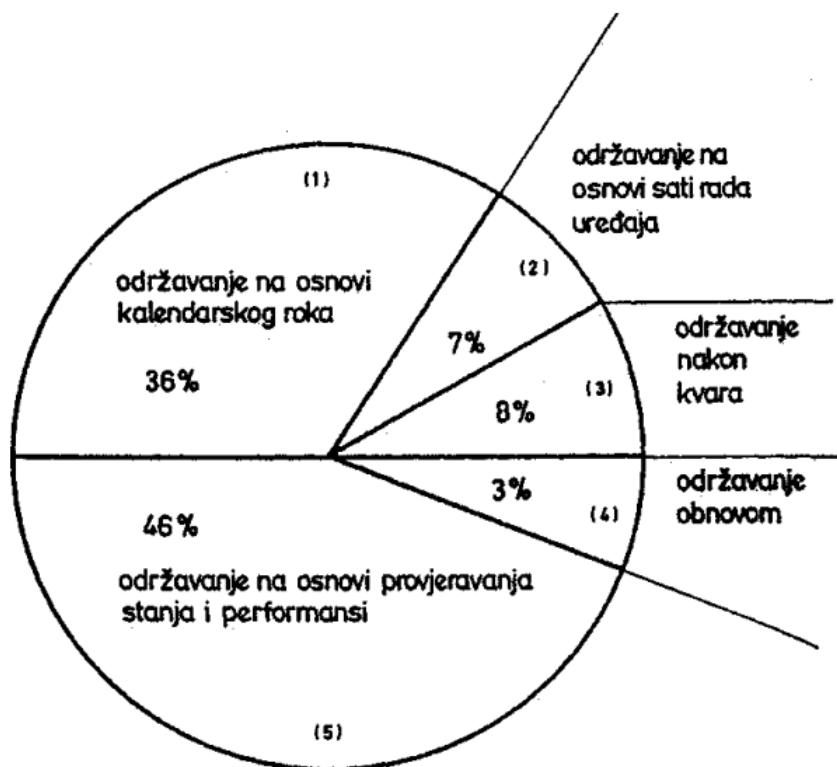
S obzirom na sve navedene pristupe održavanju brodova, postoje i različite metode održavanja. Najčešće metode održavanja su [5]:

1. Metoda održavanja na osnovi kalendarskog roka (odnosi se na preventivno održavanje nakon određenog perioda vremena; primjenjuje se na uređaje tipa palubni uređaji, električni i hidraulički uređaji, protupožarni aparati, uređaji za spašavanje, i sl.)
2. Metoda održavanja na osnovi rada sati uređaja (odnosi se na preventivno održavanje nakon određenog broja rada sati; primjenjuje se za, primjerice, generatore, elektromotore, kompresore, pumpe te za sve važne pomoćne strojeve i uređaje)
3. Metoda održavanja nakon kvara (odnosi se na korektivno održavanje kad se kvar već dogodio; primjenjuje se za uređaje koji, ukoliko dođe do kvara, neće predstavljati veliku opasnost za brod, a popravak se može odraditi u brodskoj ili kopnenoj radionici)
4. Metoda održavanja obnovom (metoda slična metodi održavanja nakon kvara, razlika je u tome što se ne provodi popravak uređaja ili dijela, nego se jednostavno u pogon stavi novi,

zamjenski uređaj ili dio; primjenjuje se za uređaje široke kućanske primjene – kabinski hladnjaci, strojevi za pranje rublja...)

5. Metoda održavanja na osnovi provjeravanja stanja i performansi (redovito se provode provjere stanja i performansi te se održavanje provodi kada iste ukažu na to)

Učestalost primjene pojedine metode održavanja u praksi prikazana je na priloženom grafu na slici 3.



Slika 3 Udio primjene metoda održavanja u ukupnom održavanju [5]

Kvarove i štete na brodovima najčešće uzrokuju korozija, strukturalna oštećenja te vibracije. Od nabrojanih uzroka prednjači korozija. Korozija je ozbiljan problem u brodarstvu zbog nepovoljne okoline u kojoj se brodovi nalaze. Naime, u morskoj vodi metali mnogo brže korodiraju zbog brojnih čimbenika kao što su [4, 6]:

- prisustvo soli (natrijev klorid, magnezijev klorid, magnezijev sulfat, kalcijev sulfat i kalijev sulfat) i velike električne vodljivosti
- sastav zraka koji ovisi o udaljenosti morske obale, nadmorskoj visini te smjeru i jačini vjetrova; konkretno, na proces korozije u sastavu zraka utječu kloridi, sumporov dioksid, dušikovi oksidi i čestice prašine
- udaljenost od obale (brzina korozije obično ubrzava što je brod bliže obali)
- visina (što je nadmorska visina veća, korozija je sporija)

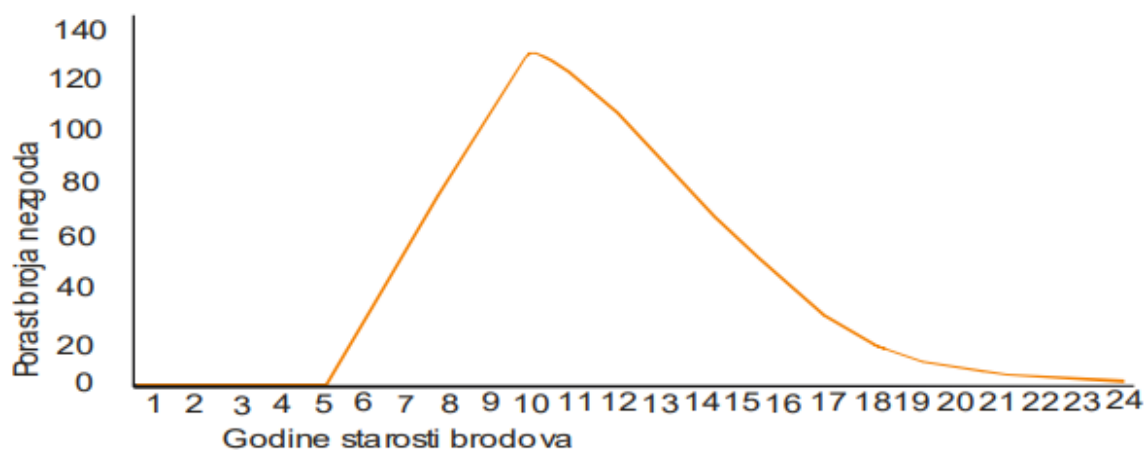
- temperatura (iz aspekta korozije opasniji su hladni i vlažni uvjeti) te velike amplitude temperature
- Sunčeva svjetlost, nepovoljan utjecaj ultraljubičastog zračenja
- vjetar koji može prenositi različite čestice koji mogu uzrokovati ili ubrzati korozijske procese
- vrijeme (s vremenom dolazi do pada brzine korozije)

Korozija ima značajan utjecaj na čvrstoću broda, njegovu operativnost, životni vijek, smanjuje masu metala te njegovu uporabnu vrijednost, poskupljuje održavanje, uzrokuje zastoje u radu, itd. [4].

Također, veliki problem predstavlja i obraštanje (eng. Fouling), odnosno nastanjivanje kolonija mikroorganizama na uronjenim površinama brodova, plutača, offshore i drugih uronjenih objekata koje izazivaju probleme kao što su povećanje mase uronjene konstrukcije, povećanja otpora i smičnih naprezanja, anaerobnu koroziju kovnih površina [7].

Utjecaj korozije prisutan je kod svih vrsta brodova, a najizraženija je na dijelovima brodske strukture koji dolaze u neposredan dodir s morskom vodom, tankovima balasta te prostorima za teret [4].

Na slici 4 možemo vidjeti graf ovisnosti starosti broda i broja šteta nastalih korozijom.



Slika 4 Graf porasta broja šteta uzrokovanih korozijom u odnosu na starost broda [4]

Analizom grafa može se doći do nekoliko zaključaka: nagli porast kvarova uzrokovanih korozijom događa se od 5-te godine starosti pa sve do 10-te, kada on doseže svoj vrhunac nakon čega slijedi nagli pad do 18-te godine. Nakon 18-te godine, pad je nešto blaži te postaje konstanta oko dvadeset i treće godine.

### 3. Općenito o koroziji

Korozija (lat. *Corrodere* – nagrizati) je kemijsko trošenje materijala djelovanjem plinovitog ili kapljevitog medija pri čemu nastaju čvrsti, otopljeni ili plinoviti produkti [8].

Obilježje procesa korozije je spontanost, a preduvjet za njeno nastajanje je postojanje afiniteta između materijala i okolnog medija.

Postoji nekoliko različitih vrsta korozije, a mogu se klasificirati prema dvama kriterijima – mehanizmu procesa korozije te prema pojavnom obliku korozije (geometrijskom obliku korozijskog razaranja) – slika 5.



Slika 5 Klasifikacija korozijskih procesa [9]

Prema mehanizmu procesa razlikujemo [8]:

- kemijsku koroziju
- elektrokemijsku koroziju

Prema pojavnom obliku postoje [8]:

- opća korozija
- lokalna korozija (pjegasta, rupičasta, potpovršinska, kontaktna koja može biti galvanska ili korozija u procijepu)
- selektivna korozija
- interkristalna korozija

Također, postoje i posebne vrste korozije [8]:



- napetosna korozija
- korozijski umor koji se javlja zbog dinamičkog opterećenja, a čije su posljedice pukotine i lomovi
- erozijska korozija i udarni napad
- kavitacijska korozija
- tarna korozija koja se javlja uz trenje između dodirnih ploha
- mikrobiološki poticana korozija
- fotokemijska degradacija nekih nemetala
- korozija uslijed lutajućih struja kojoj uzrok nije afinitet, nego električno polje narinuto iz vanjskog izvora struje na metal u elektrolitu (npr. u moru i tlu)

### **3.1. Mehanizmi korozijskih procesa**

#### **3.1.1. Kemijska korozija**

Kemijska korozija, odnosno neelektrokemijska korozija je izravna kemijska reakcija između metala i medija, pri čemu nastaju različiti spojevi, a najčešće su oksidi i sulfidi [8].

Okoline u kojima nastaje kemijska korozija su vrući plinovi te organske kapljevine. Kemijska korozija kod vrućih plinova nastaje isključivo ukoliko su plinovi suhi tj. ukoliko ne postoje temperaturni uvjeti za stvaranje tekuće vode ili vodene otopine (kondenzacijom ili adsorpcijom) na površini metala. U protivnom dolazi do stvaranja elektrokemijske korozije.

Uvjet za nastajanje kemijske korozije kod organskih tekućina jest da su te tekućine bezvodne (u protivnom dolazi do elektrokemijske korozije). Najčešće takve organske tekućine su nafta i njezini derivati, otapala za odmašćivanje i razrjeđivanje lakova i boja te otopine neioniziranih tvari u takvim tekućinama. Metali neelektrokemijski korodiraju pri vrućem oblikovanju i spajanju (npr. pri lijevanju, kovanju, valjanju, izvlačenju, kaljenju, lemljenju i zavarivanju), u industrijskim pećima, termoenergetskim postrojenjima i motorima s unutarnjim izgaranjem, na plohamo koje se podmazuju, itd [8].

Unatoč štetnosti kemijske korozije, ona može imati i zaštitnu ulogu. Naime, produkti kemijske korozije su uglavnom u čvrstom stanju, stoga vremenom mogu stvoriti čvrst i kompaktan sloj na površini materijala te ga na taj način zaštititi usporavajući tijek korozije. No, kako bi to zaista bilo učinkovito, potrebno je ispuniti nekoliko uvjeta [8]:

1. volumen produkta mora biti jednak ili veći od volumena korodiranog metala (tzv. Pilling-Bedworthov omjer),

2. fizikalna i kemijska stabilnost korozijskih produkata (ne smiju isparavati niti se kemijski mijenjati),
3. kompatibilnost kristalnih rešetki korozijskog produkta i metala tako da sloj može čvrsto prijanjati i rasti bez pojave velikih napetosti,
4. povoljnom učinku zaštitnog sloja doprinose i dobra mehanička svojstva (mala gustoća defekata rešetke sloja, mala razlika između koeficijenata toplinskog rastezanja sloja i metala)

### **3.1.2. Elektrokemijska korozija**

Elektrokemijska korozija metala je redukcijsko-oksidacijski ili redoks-proces, pri kojem se metal gubitkom elektrona oksidira prelazeći iz kristalne rešetke u ionsko stanje u kapljevitom elektrolitu, dok se istodobno oslobođeni elektroni vežu na neki oksidans (tzv. polarizator) iz medija koji se time reducira [8].

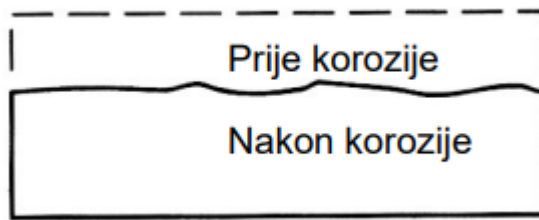
Do elektrokemijske korozije dolazi u medijima koji provode električni tok, tj. u elektrolitima. Ti elektroliti su najčešće prirodne i tehničke vode, vodene otopine soli, kiselina, lužina i drugih tvari, vodene otopine biološkog podrijetla, vlažna tla i taline soli, oksida i hidroksida [8].

Stoga, do elektrokemijske korozije može doći i u prisustvu vlažnog zraka (i u bilo kakvim vlažnim plinovima) ukoliko je relativna vlažnost dostigla kritičnu vrijednost (oko 60 %). Korodirani metal se, dakle, ponaša kao anoda – gubi elektrone, oksidira te prelazi iz kristalne rešetke u stanje iona u kapljevitom elektrolitu, a oslobođeni elektroni se vežu na oksidans. Elektrokemijska korozija nastaje kada postoji razlika potencijala dva kratkospojena galvanska elementa [8].

## **3.2. Geometrijska klasifikacija korozije**

### **3.2.1. Opća korozija**

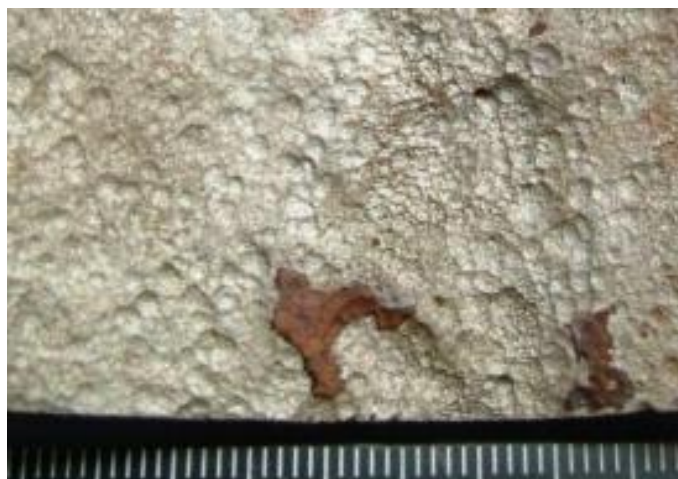
Opća korozija zahvaća cijelu izloženu površinu materijala, a može biti ravnomjerna ili neravnomjerna (slike 6 – 8). Do opće korozije dolazi kada je čitava površina materijala izložena agresivnoj okolini pod približno jednakim uvjetima [10].



*Slika 6 Shematski prikaz površine materijala zahvaćenog općom korozijom [10]*



*Slika 7 Opća korozija na čeličnoj oplati trupa broda [10]*



*Slika 8 Neravnomjerna opća korozija [10]*

Ravnomjerna opća korozija podrazumijeva se manje opasnom jer ju je moguće lakše pratiti i shodno tome tretirati (popravljanje određenog dijela ili zamjena novim dijelom).

Kao što je vidljivo na shematskom prikazu na slici 6, opća korozija uzrokuje povećanje hrapavosti površine. To je posljedica toga što se, gledajući na mikroskopskoj razini, čak ni ravnomjerna korozija ne razvija jednoliko po čitavoj površini materijala.

Osim standardnih načina zaštite od korozije (korištenje različitih prevlaka, zaštita promjenom okoline, konstrukcijsko tehnološke mjere, katodna zaštita, primjena korozijski postojanih materijala), u cilju prevencije opće korozije koriste se podaci o brzini razvijanja opće korozije u pojedinim medijima.

Brzina i tok korozije ovise o nekoliko faktora – materijalu koji korodira (struktura, tekstura, sastav), agresivnoj okolini koja ga okružuje (sastav, koncentracija), korozijskim produktima (njihova fizikalna i kemijska svojstva) te o fizikalnim uvjetima uz koje proces teče (temperatura, hrapavost površine, naprezanja, napetosti) [10].

Najčešća kvantitativna metoda ispitivanja korozije korištena kod ispitivanja opće korozije je gravimetrijska metoda, čiji se princip temelji na određivanju gubitka mase vaganjem uzoraka ili predmeta prije izlaganja agresivnoj okolini te nakon izlaganja i uklanjanja čvrstih produkata korozije [10].

### 3.2.2. Lokalna korozija

Lokalna korozija zahvaća samo neke dijelove izložene površine. To je najrašireniji pojavni oblik korozije. Lokalna korozija dijeli se na pjegastu, rupičastu, potpovršinsku i kontaktnu.

#### □ Pjegasta korozija

Ograničena je na pojedine veće dijelove površine. Primjer pjegaste korozije može se uočiti na slici 9.



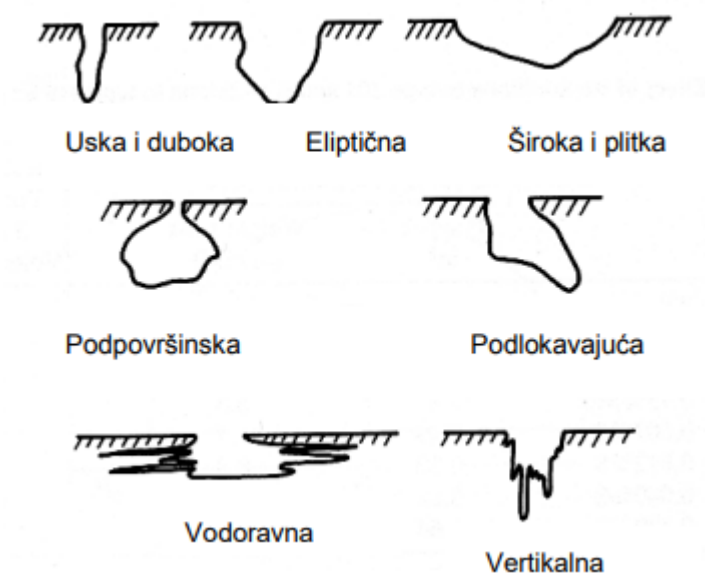
*Slika 9 Pjegasta korozija [11]*

### □ **Rupičasta (pitting) korozija**

Rupičasta korozija je usko lokalizirana sa žarištima približno kružnog presjeka na površini, pri čemu je dubina oštećenja relativno velika [8].

Osnova rupičaste korozije je lokalna depasivacija metala koji su inače u pasivnom stanju. Najčešći pokretač rupičaste korozije su kloridni ioni u vodenim otopinama. Njihova opasnost leži u tome što su oni anioni jake kiseline te je njihova difuzija velikih razmjera jer su ti anioni malih dimenzija.

Rupičasta korozija jest autokatalitički proces, što bi značilo da nakon inicijalne pojave dolazi do niza promjena (medij unutar rupica postaje osiromašen katodnim reaktantima, obogaćen metalnim kationima i kloridima, snižava se pH vrijednost unutar rupica). Rezultat tih procesa je daljnja propagacija korozije u dubinu materijala. Pojavni oblici rupičaste korozije prikazani su na slici 10.



*Slika 10 Pojavni oblici pitting korozije [10]*

Za procjenu opasnosti od pitting korozije može se odrediti pitting-faktor koji je omjer dubine prodiranja korozije u materijal na najснаžnijem korozijskom žarištu promatrane plohe i prosječne dubine prodiranja korozije s obzirom na cijelu ploštinu [10].

### □ **Potpovršinska korozija**

Potpovršinska korozija nastaje kada se žarišta rupičaste korozije šire u dubinu materijala te ga raslojavaju. Na površini materijala nerijetko nastaju mjehuri kao posljedica gomilanja čvrstih korozijskih produkta u unutrašnjosti. Često se pojavljuje u valjanim metalima u dodiru s morskom vodom i kiselinama.

### □ **Kontaktna korozija**

Kontaktna korozija dijeli se na galvansku i pukotinsku kontaktnu koroziju, odnosno koroziju u procjepu.

Galvanska korozija (bimetalna korozija) pojavljuje se kada su u međusobnom električnom kontaktu u nekom elektrolitu spojeni materijali različitih elektrodnih potencijala (različite plemenitosti) [10].

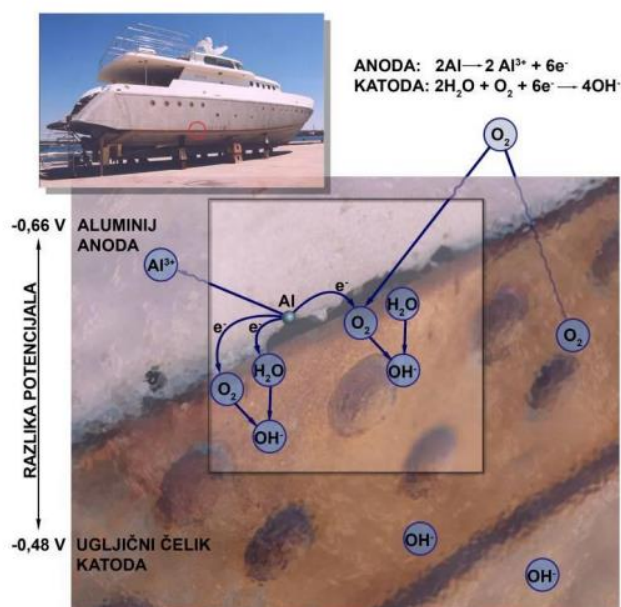
Prilikom konstruiranja, u nekim je situacijama neizbježna pojava kontakta dva različita materijala. Takvo je mjesto rizično za nastanak galvanske korozije jer su, uz prisustvo elektrolita, zadovoljeni svi preduvjeti za stvaranje galvanskog članka pri kojem će manje plemeniti metal (metal nižeg elektrodnog potencijala) postati anoda. Napon tog galvanskog članka ovisit će o razlici potencijala između ta dva spojena metala. Pri tome će se odvijati reakcije oksidacije (tj. anodne reakcije manje plemenitog metala) i redukcije (tj. katodne reakcije plemenitijeg metala). Do galvanske korozije može doći i prilikom taloženja korozijskih produkata plemenitijeg materijala na dijelovima sustava izrađenim od neplemenitijeg materijala [10].

Glavni princip kojim se treba služiti u svrhu sprječavanja galvanske korozije jest odabir materijala srodnih korozijskih potencijala služeći se galvanskim nizom u kojem su metali poredani prema rastućem potencijalu (na vrhu su manje plemeniti, tj. najreaktivniji elementi, a na dnu su plemenitiji elementi) – tablica 1.

Tablica 1. Galvanski niz materijala u morskoj vodi [10]

Materijal	Korozijski potencijal $E^\circ$ / V
magnezij	-1,45 do -1,36
magnezijeve legure	~ -1,35
cink	-0,83 do -0,76
aluminij s 99% Al	-0,66 do -0,53
duraluminij	~ -0,55
kadmij	-0,53 do -0,51
uglični čelik	-0,48 do -0,21
sivi lijev	-0,42 do -0,18
SnPb - legura sa 60 % Sn	~ -0,30
olovo	-0,31 do -0,26
kositar	-0,25 do -0,21
austenitni Cr-Ni čelik u aktivnom stanju	~ -0,10
nikl	~ 0,02
mjed sa 60% Cu	0,05 do 0,27
bakar	0,10 do 0,28
CuNi - legura sa 70 % Cu	0,08 do 0,32
krom	~ 0,23
bronca s 88 % Cu, 10 % Sn i 2 % Zn	0,13 do 0,36
srebro	~ 0,30
monel	0,14 do 0,48
titan	~ 0,37
austenitni Cr-Ni čelik u pasivnom stanju	~ 0,60
grafit	~ 0,70
zlato	~ 0,70
platina	~ 0,80

Na slici 11 prikazan je shematski prikaz galvanske korozije aluminijskog trupa broda koji je bio izveden s čeličnim ojačanjem u podvodnom dijelu i spojen zakovicama, pri čemu je aluminij bio manje plemenit materijal koji je korodirao [10].



Slika 11 Shematski prikaz galvanske korozije [10]

Korozija u procjepu javlja se u blizini pukotina, procjepa ili razmaka između površina, a može biti inicirana i zadržavanjem (nakupljanjem) korozivnog medija u toj pukotini, makar je okolna površina uglavnom suha [10].

Unutar procjepa dolazi do različitih promjena – povećava se kiselost otopine, smanjuje se pH vrijednost, povećava se koncentracija agresivnih čimbenika te time to područje postaje anodno, odnosno sklono koroziji. Osim toga, procjepi su plodno tlo za nastanjivanje različitih mikroorganizama, odnosno stvaranje mikrobiološki poticane korozije. Najčešći uzroci stvaranja ove vrste korozije jesu pogrešna konstrukcijsko-tehnološka rješenja, stoga treba težiti onim rješenjima koje ne stvaraju preduvjete za stvaranje ove vrste korozije.

### 3.2.3. Selektivna korozija

Selektivna korozija je proces koji razara samo jednu fazu ili samo jednu komponentu višefaznog ili višekomponentnog materijala [10].

Neke od najčešćih situacija u kojima se javlja ovaj vid korozije u praksi su decinkacija mjedi i grafitizacija sivog lijeva. Kod mjedi, budući da cink ima daleko veći korozivni potencijal od bakra, dolazi do njegovog izlučivanja te iza njega ostaje čisti bakar izrazito loših mehaničkih svojstava,



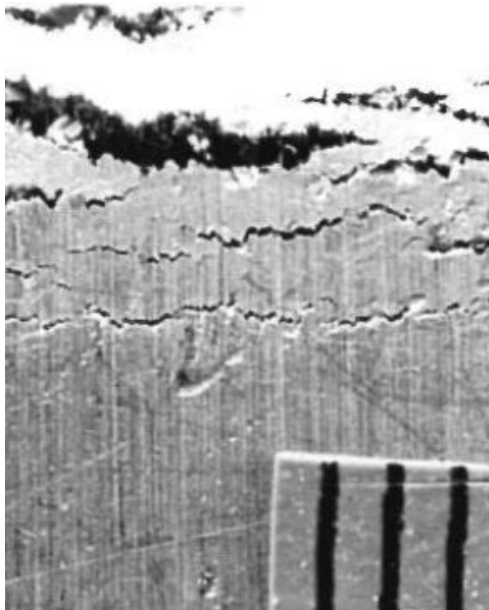
a sam proces može biti lokalnog ili općeg karaktera. Kod grafitizacije sivog lijeva dolazi do otapanja željeza što dovodi do stvaranja krhkog grafita.

### 3.2.4. Interkristalna korozija

Interkristalna korozija (prikazana na slici 12) jedan je od najopasnijih oblika korozije koji razara materijal po granicama zrna šireći se, najčešće neprimjetno, u dubinu i dovodeći do iznenadnog) smanjenja čvrstoće i žilavosti materijala, što ima za konačnu posljedicu lom materijala [10].

Ovaj tip korozije usko je povezan sa zagrijavanjem materijala prilikom čega dolazi do senzibilizacije. Unos topline kod materijala uzrokuje različite promjene, npr. nastanak precipitata, intermetalnih spojeva ili spojeva metala s nemetalima.

Interkristalna korozija danas je rijetko prisutna zbog različitih mjera prevencije kao što su snižavanje udjela ugljika u čelicima ili stabilizacija legiranjem s titanom ili niobijem, toplinski tretman zagrijavanjem na 815 °C te naglo hlađenje i žarenje s naknadnim gašenjem u vodi.



*Slika 12 Interkristalna korozija Cr-Ni čelika [10]*

### 3.3. Ostali oblici korozije

#### 3.3.1. Napetosna korozija

Napetosna korozija (engl. *Stress Corrosion Cracking* – SCC) je korozijski mehanizam u kojem kombinacija osjetljivog materijala, prisutnih vlačnih naprezanja i značajke medija dovode do pojave pukotina na materijalu [10].

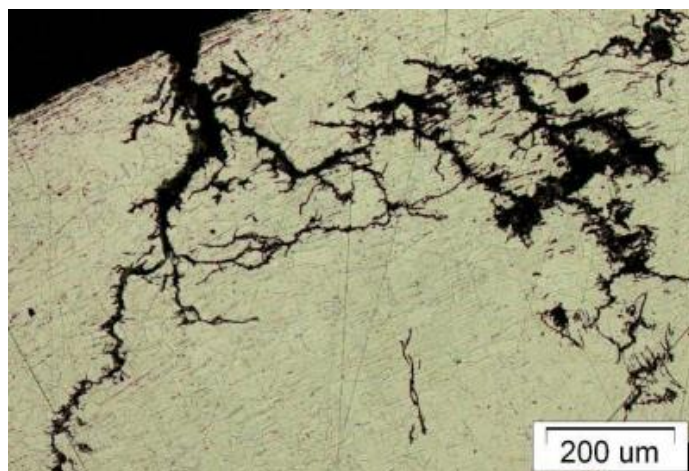
Posljedica ove vrste korozije je krhki lom koji se, najčešće, ne može predvidjeti, stoga su troškovi koje donosi napetosna korozija izrazito visoke.

Naprezanja koja dovode do pojave napetosne su mala (ispod vrijednosti granice razvlačenja), vlačna, statična, posljedica vanjskih opterećenja ili unutrašnjih zaostalih naprezanja [10].

Ovaj tip korozije napreduje transkristalno ili interkristalno, a pojavit će se na mjestima zaostalih naprezanja (npr. hladno defomirani lokaliteti ili oko zavarenih spojeva.) Prikaz napetosne korozije, kao i njezin mikrostrukturni snimak prikazani su na slikama 13 i 14.



Slika 13 Transkristalna napetosna korozija [10]



Slika 14 Mikrostrukturni snimak transkristalne napetosne korozije [10]

### 3.3.2. Erozijska korozija i udarni napad

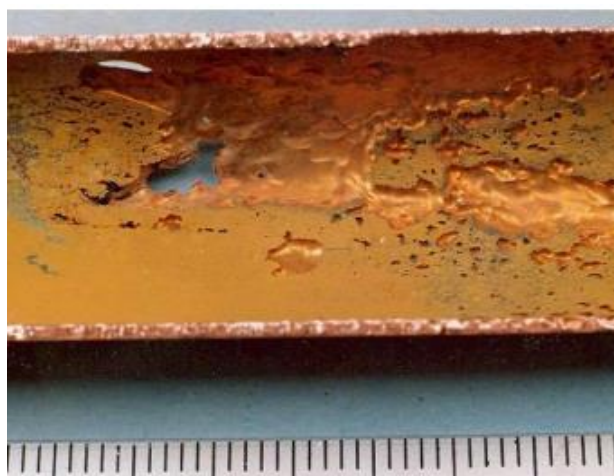
Erozijska korozija (prikazana na slici 15) je korozija koja nastaje sinergijom kemijskog i fizikalnog trošenja materijala.

Erozija je mehanički potpomognut proces trošenja materijala, a definira se kao progresivan gubitak materijala s površine konstrukcije zbog mehaničkog međudjelovanja površine i medija [10].

Ovaj vid korozije susreće se najčešće u sustavima za prijenos tekućina kod kojih je sam proces korozije potpomognut strujanjem medija. Materijali najskloniji erozijskoj koroziji su ugljični čelik te bakar i neke njegove legure.

Mehanizam erozijske korozije sastoji se u tome da erozija s površine materijala otkida čestice koje imaju zaštitnu funkciju (otopljeni ioni, dijelovi kompaktnog korozijskog sloja koji u nekoj mjeri usporava daljnje prodiranje korozije u materijal) te istovremeno povećava hrapavost oštećenog materijala.

Erozijska korozija može poprimiti oblik konjskog kopita (potkove), ugriza, brazdi ili udubljenja, a to ovisi o vrsti metala, svojstvima erozivnih čestica (oblik, težina, tvrdoća, gustoća raspršenih čestica), brzini i agresivnosti medija te pojavi turbulencije [10].



Slika 15 Erozijska korozija bakrene cijevi [10]

Posebni oblik erozijske korozije je udarni napad (engl. *impingement corrosion attack*) koji je posljedica napada na materijal kapljicama vode iz agresivnog medija (mokra para, dvofazni mediji) na mjestima gdje dolazi do promjene smjera strujanja, a uzrokuje lokalno jaku erozijsku koroziju u obliku rupičaste korozije (slika 16) [10].

Zbog veće gustoće kapljica vode, one pri promjeni smjera strujanja zadržavaju svoj smjer te time udaraju u stjenku materijala i uzrokuju eroziju te stalni film kemijski agresivne vode, a to sve za posljedicu ima stvaranje korozije te pojavu umora površine.

Na pojavu i intenzitet udarnog napada utječu brzina strujanja medija, vrsta medija i materijal od kojeg je konstrukcija izrađena [10].



*Slika 16 Udarni napad u obliku kopita [10]*

### **3.3.3. Mikrobiološki poticana korozija**

Mikrobiološki poticana korozija (engl. Microbially Influenced Corrosion – MIC) podrazumijeva proces korozijskog razaranja uz aktivno sudjelovanje mikroorganizama u samom poticanju korozije – slika 17 [10].

Ovaj tip korozije najčešće poprima oblik rupičaste korozije ili korozije u procjepu, zbog čega se može reći kako ovo nije zasebni oblik korozije.

Postoje dva vida ove korozije – kao dvokomponentni sustav metal – medij ili trokomponentni sustav metal – medij – biofilm. Nastanak biofilma je kritičan proces kojim dolazi do promjene granične barijere između metala i okoliša i u kojem, u protivnom, ne bi došlo do većih korozijskih havarija.

Zbog prisutnosti mikroorganizama može doći do stvaranja elektrokemijskih članaka, članaka koji su nastali uslijed lokalne promjene u sastavu elektrolita ili pH vrijednosti, stvaranja korozivnog medija, aktivacije korozijskog članka, pomicanja korozijskog potencijala nekog metala u pozitivnom smjeru [10].

Problemi povezani s mikrobiološki poticanom korozijom često se mogu susresti kod različitih ukopanih i uronjenih konstrukcija, u naftnoj industriji, u industriji papira, sustavima za hlađenje tehnološke vode, izmjenjivačima topline, u vodnom gospodarstvu, različitim spremnicima vode, protupožarnim instalacijama, brodskih spremnika tereta, itd. [10].



*Slika 17 Mikrobiološki poticana korozija spremnika vode [10]*

### **3.4. Kavitacijska korozija**

Kavitacijska korozija javlja se u uvjetima turbulentnog strujanja. Fluid koji prebrzo struji oštećuje materijal na način da skida zaštitni film ili iza metala nastaju šupljine niskog tlaka pa se iz fluida izdvajaju molekule koje velikom brzinom udaraju u metal i mehanički ga razaraju. Do kavitacijske korozije vrlo često dolazi na rubovima brodskih propelera – slika 18 [4].



*Slika 18 Kavitacijska korozija brodskog propelera [4]*

### **3.5. Zaštita od korozije**

Postoji pet osnovnih metoda zaštite od korozije [10]:

1. Zaštita premazima
2. Zaštita materijala promjenama okolnosti (inhibitori korozije)
3. Primjena korozijski postojanih materijala
4. Konstrukcijsko-tehnološke mjere
5. Električne metode zaštite

## 4. Zaštita premazima

Zaštita premazima je najrašireniji mehanizam zaštite od korozije. Budući da su u brodogradnji različiti dijelovi konstrukcije izloženi različitim korozivskim uvjetima (i njihovim kombinacijama), premazi se nerijetko koriste u kombinaciji s drugim tehnologijama zaštite od korozije. Na taj način se razdvaja podloga materijala koji se želi zaštititi od agresivnog okoliša te se postiže zaštita od njegovog štetnog djelovanja. Stoga je bitno da premazi budu otporni i postojani.

Brodovlasnik donosi odluku o zaštitnom sustavu premaza koji će se koristiti, pri čemu se uzima u obzir starost broda, veličina, cijena i područje plovidbe. Ukoliko zaštitni sustav nije odgovarajući može doći do kredanja, pukotina i boranja. Najčešće pogreške su pogrešan izbor premaza, neodgovarajući sastav premaza, nanošenje premaza u neodgovarajućim uvjetima, defekti koji se manifestiraju lošom prionjivošću, loše nanošenje premaza [12].

Glavna uloga svih prevlaka je antikorozivna zaštita. Sporedne funkcije su najčešće ostvarivanje određenih fizikalnih svojstava površine, zaštita od mehaničkog trošenja, postizanje estetskog dojma, povećanje dimenzija istrošenih dijelova, odnosno popravak loših proizvoda, itd. [13].

Zaštitne prevlake dijele se na organske, metalne i nemetalne anorganske, pri čemu su u brodogradnji najvećim dijelom zastupljene organske prevlake [8].

### 4.1. Priprema površine za nanošenje premaza

Priprema površine nužan je postupak koji prethodi postupku nanošenju premaza. Cilj je ukloniti sva onečišćenja i nečistoće s površine kao što su masnoće, korozivski produkti, produkti oštećenja, prašina, itd. kako bi se omogućilo maksimalno prijanjanje prevlake na površinu materijala. Osim čišćenja, prilagođava se i stupanj hrapavosti podloge.

Priprema površine može se podijeliti na primarnu i sekundarnu. Primarna se izvodi čim brod izađe iz skladišta te prije nanošenja temeljnog radioničkog premaza (shop primer). Sekundarnom pripremom se uklanjaju sva oštećenja, korozija i soli, provodi se odmašćivanje, mehanička priprema i otprašivanje površine [14].

Nakon što se brod izvede na suho, vrši se pranje podvodnih dijelova mlazom slatke vode pod visokim tlakom (minimalno 100 bara). Ukoliko ima potrebe vrši se i odmašćivanje različitim otapalima. Na mjestima na kojima je došlo do korozije vrši se pjeskarenje ili čišćenje mlazom vode pod visokim tlakom (700 – 2000 bara), ovisno o tome, može se reći da se radi o suhoj, odnosno mokroj pripremi površine. Mokra priprema površine (slika 19) može se izvesti uređajem s vodenom zavjesom, potisnim uređajem s ograničenom količinom vode, uređajem s isisnim vodenim mlazom ili uređajem s vodom bez abraziva. Suhi postupak pripreme odnosi se na razaranje površine u struji zraka pod visokim tlakom i uz pomoć abraziva (metalni, mineralni),

pjeskarenje i sačmarenje, a te operacije se izvode prema HRN EN ISO 8501-1:2007. Netom prije suhe pripreme površine je potrebno odmastiti, a deblje naslage otkloniti piketiranjem pneumatskim čekićima. Prema HRN EN ISO 8501-1:2007 postoje 3 stupnja kvalitete pripreme [15]:

- 1: lagano čišćenje mlazom abraziva
- 2: temeljito čišćenje pri kojem se nečistoće uklanjaju s 2/3 bilo kojeg dijela površine
- 2,5: čišćenje skoro do bijelog sjaja metala, s minimalno 95 % svakog dijela površine su uklonjene nečistoće
- 3: čišćenje do čistog metala

Na mjestima gdje se vršilo pjeskarenje originalni sloj boje se obnavlja, a čitava vanjska oplata se premazuje. Ukoliko je hrapavost podvodnog dijela postala prevelika, potrebno je odstraniti svu hrđu i svu boju te potom nanijeti novi sloj boje [15].



*Slika 19 Mokra priprema kormila broda [15]*

Osim suhog i mokrog postupka pripreme, u brodogradnji se još primjenjuje i mehanička priprema površine koja se vrši različitim ručnim i pneumatskim alatima s abrazivnim brusovima, brusnim papirom, strugačima i čeličnim četkama. Prije mehaničke pripreme potrebno je ukloniti veće naslage nečistoća. Označava se oznakom „St“ te postoje tri stupnja [15]:

- St 1 označava površinu koja nije obrađena
- St 2 podrazumijeva površinu koja je pripremljena ručnim i strojnim čišćenjem
- St 3 – obuhvaća temeljito ručno i strojno čišćenje; postupci su isto kao i kod St 2, no izvedba je temeljitija.

Nakon pripreme površine provodi se defektacija kojom se nastoji utvrditi stupanj oštećenja broskog trupa. Defektacija, s obzirom na opseg, može biti kontrolna, djelomična ili potpuna.

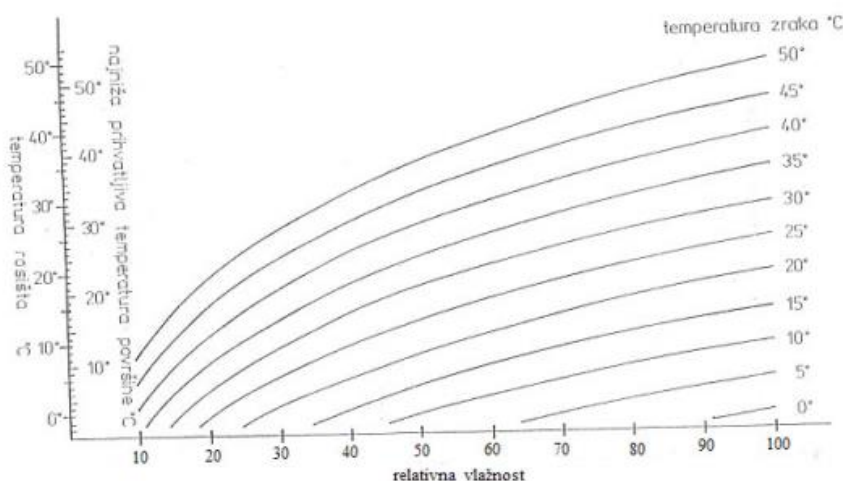


Posebna pozornost obraća se na oštećenja u području tankova goriva i balasta, koferdama, kaljužnih zdenaca i usisnih košara. Nakon pregleda i izrade pripadne dokumentacije, oštećenja se uspoređuju s dopuštenim veličinama [15].

## 4.2. Nanošenje premaza

Kvaliteta nanošenja premaza uvelike ovisi o okruženju u kojem se vrši postupak (klimatski uvjeti, agresivnost okoline u kojoj se vrši nanošenje), o svojstvima premaza, pripremi površine, ali i o samoj odabranoj metodi te vještini i iskustvu radnika (tehnika nanošenja, nanosena debljina, kvaliteta nanošenja). Dokumentacijom bojenja specificirani su svi detalji procesa nanošenja premaza: procesi pripreme s točno definiranim tipovima premaza, vrijeme potrebno za pripremno-završne, pomoćne i obradne zahvate te mikroklimatski uvjeti (temperature podloge, rosište, okolna temperatura, relativna vlažnost i temperatura boje) [12, 13].

Tri veličine koje utječu na kvalitetu nanošenja premaza, a koje su u međusobnoj sprezi su temperatura zraka, relativna vlažnosti i temperatura površine metala brodske strukture. Na temelju temperature zraka i relativne vlažnosti može se odrediti minimalna dozvoljena temperatura površine metala brodske strukture na koji se nanosi premaz. Ta vrijednost se očitava iz nomograma koji je predložen na slici 20. Temperatura podloge je važna kako ne bi došlo do kondenzacije koja bi naknadno mogla odvojiti sloj boje, tj. premaza (mora biti minimalno 3°C iznad rosišta), a relativna vlažnost ne smije prelaziti 85 %. Također, važno je provoditi postupak nanošenja premaza za suha vremena kada su temperature iznad 5°C. Temperatura boje može utjecati na otvrdnuće te na viskoznost [12, 15].



Slika 20 Nomogram relativne vlažnosti, temperature zraka i temperature površine brodske strukture

[15]

S obzirom na sva ograničenja pri nanošenju premaza, nužno je vršiti nadzor radova pri bojenju pa se tako ono provodi u tri faze [13]:

1. kontrola prije bojenja – provjera ispravnosti pripreme površine
2. kontrola tijekom bojenja – međufazne kontrole premaza
3. kontrola nakon bojanja – pregled debljine, provjera općeg izgleda, kontinuitete i adhezije

Nanošenje premaza u brodogradnji najčešće se vrši [8, 14 ]:

- bezračnim prskanjem (airless postupak) – može biti hidrauličko ili pneumatičko, ostvaruje se velika iskoristivost boje
- za lokalnu primjenu se koriste četke (dobra penetracija boje, loš estetski dojam, neravnomjerna debljina premaza) i valjci (produktivnije i ravnomjernije od bojenja četkama, ali i poroznije)

Nanošenje premaza redovito se provodi u više slojeva uz kompletno ili djelomično sušenje prethodnog sloja, a ponekad i njegovu mehaničku obradu pa se tako premazi mogu podijeliti: [8, 12, 14]:

- radionički temeljni premaz (engl. shop primer) koji se nanosi prvi te služi kao privremeni zaštitni sloj te kao zaštita od korozije, debljine je 30 – 60  $\mu\text{m}$ , ovi premazi moraju biti primjenjivi za nanošenje raspršivanjem u tankom sloju, moraju biti pogodni za automatizirane postupke primjene, imati kratko vrijeme sušenja, biti postojani na visokim temperaturama, ne smiju oslobađati otrovne plinove tijekom zavarivanja ili rezanja, ne smiju utjecati na brzinu i kvalitetu zavarivanja, mehanička svojstva zavarenog spoja, ne smiju utjecati negativno na procese rezanja, moraju imati sposobnost da izdrže grubo rukovanje, moraju biti otporni na atmosferilije i moraju biti kompatibilni s konačnim sustavima premaza
- međupremaz koji se nanosi određeno vrijeme nakon nanošenja temeljnog premaza te posjeduje antikorozivna svojstva i služi kao podloga za nanošenje sljedećeg sloja
- završni premaz
- antivegetativni premazi za podvodni dio trupa broda
- premazni sustavi kao prvi sloj sadrže reaktivni temelj (engl. wash primer), a može biti dvokomponentni – prva komponenta sadrži antikorozijski pigment, a druga komponenta je fosfatna kiselina u smjesi vode i otapala, sloj je debljine 10 – 15  $\mu\text{m}$
- ponekad se nanose i kitovi, to su viskozna sredstva za popunjavanje udubina i pukotina na podlozi, uobičajeno se upotrebljavaju samo lokalno; ukoliko se nanesu u prevelikoj količini mogu narušiti zaštitnu funkciju premaznog sustava

Veziva slojeva moraju biti istovrsna ili kompatibilna, kao i podloga i temeljni premaz, vezivo i otapalo s prethodnog sloja i pigmenti, punila i aditivi sljedećeg sloja [8].

Koji će se način nanošenja premaza koristiti ovisi o zahtijevanoj brzini nanošenja, veličini predmeta ili konstrukcije, dostupnosti ventilacije te ekološkoj prihvatljivosti [13].

### 4.3. Organske prevlake

Organske prevlake sastoje se od četiri osnovne komponente [8]:

- veziva – čine nehlapivi organski dio premaznih sredstva, u obliku su viskoznih kapljevina ili smola, omogućuju prijanjanje na površinu i povezuju druge komponente u premazu, često se u jednom premazu kombinira više različitih veziva, najvažnija su veziva na osnovi sušivih masnih ulja, poliplasta, derivata celuloze, prirodnih smola, prirodnog ili sintetskog kaučuka i bituminoznih tvari
- otapalo – organske tvari koje fizikalno otapaju veziva premaznih sredstava, koriste se za skidanje starih premaza te za odmašćivanje, reguliraju reološka svojstva boje, to su najčešće niskoviskozne i lako hlapive smjese na osnovi alifatskih, aromatskih i kloriranih ugljikovodika, alkohola, ketona, estera, itd., mogu poslužiti i kao razrjeđivači za sniženje viskoznosti premaznih sredstava i kao otapala za njihova veziva, dio razrjeđivača/otapala dodaje se u boje i lakove pri proizvodnji, a ostatak neposredno prije nanošenja (ponekad nepotrebno ukoliko je viskoznost već prilagođena tehnologiji ličenja)
- pigmenti – prirodni i sintetski organski spojevi te prirodni anorganski spojevi, premaz čine obojenim i neprozirnim, povećavaju zaštitna svojstva premaza, kemijsku postojanost i toplinsku stabilnost, mogu biti dekorativni, antikorozivni i dekorativno-antikorozivni (dekorativni učinak je bitan za pokrivne premaze, a antikorozivni i za temeljne i za međupremaze te za završne premaze)
- punila i aditivi – anorganske praškaste tvari, poboljšavaju mehanička i kemijska svojstva, povisuju ili snižavaju električni otpor filma, pojeftinjuju premazna sredstva

Svoju zaštitnu svrhu premazi mogu ostvariti na osnovu učinka barijere, učinka inhibitora ili galvanskog učinka. Učinak barijere temelji se na primjeni vrlo debelih premaza (250 – 500  $\mu\text{m}$ ) koji imaju nisku propusnost na vodu. Eventualnim dodavanjem pigmenta u premaz, učinak barijere može se postići i pri manjim debljinama premaza. Pri zaštiti učinkom inhibitora koriste se temeljne boje sa sadržajem inhibitora koji usporavaju ili sprečavaju korozivne procese. Budući da su inhibitori topivi u vodi, nisu pogodni za primjenu na površinama koje su uronjene. Zaštitno djelovanje premaza galvanskim učinkom ostvaruje se kugličastim pigmentom od praškastog cinka

u temeljnim premazima. Nastaje galvanski članak u kojem je cink manje plemenit metal te će biti izložen agresivnom djelovanju korozije, a podloga na koju je nanesen će biti zaštićena [13].

Jedan od glavnih nedostataka organskih prevlaka je njihova sklonost lakom oštećenju prilikom mehaničkih ili toplinskih opterećenja, a zbog čega može doći do pojave korozije ispod prevlake.

Postoji nekoliko podjela organskih premaznih sredstava [8]:

- prema sastavu, pri čemu se podjela najčešće zasniva na vrsti veziva (premazi na osnovi sušivih ulja, poliplastičnih veziva, epoksidnih smola, poliuretanskih smola, vinilnih smola, akrilata, politetrafluoretilena, nezasićenih poliestera, fenoplasta, silikona, prirodnih smola i gumenih veziva na osnovi vulkaniziranog kaučuka), ali ponekad se uvode i podjela na osnovi vrste pigmenta, odnosno razrjeđivača/otapala
- prema osnovnoj svrsi (sredstva za zaštitu od korozije, od mehaničkog oštećivanja, od požara, od biološkog obraštanja, sredstva za dekoraciju, za električnu izolaciju, itd.)
- prema izgledu (bezbojne i različito obojene, mutne i sjajne, prozirne i neprozirne boje i lakovi, lakovi za postizanje dojma sjajnog ili kovanog metala, mreškanja i ledenog cvijeća, itd.)
- prema podlogama na koje se nanose (crni i obojeni metali, građevinski materijali, drvo, itd.)
- prema broju sastojaka koji se miješaju prije nanošenja (jedno-, dvo- i višekomponentna premazna sredstva)
- prema načinu skrućivanja sloja (fizikalno isparavanje otapala, kemijsko otvrdnjavanje reakcijama u vezivu ili s vezivom).

Još jedan od nedostataka premaza jest zagađenje okoliša. Naime, problem su otapala koja su organski spojevi niske molekulske mase koji lako hlape te koji tijekom formiranja filma onečišćuju okoliš i zagađuju atmosferu. Stoga se u novije vrijeme teži primjeni ekološki prihvatljivih premaza, pa su tako razvijeni vodorazrjeđivi premazi te su doneseni propisi o dozvoljenoj količini emisija štetnih tvari u okoliš. Vodorazrjeđivi premazi mogu se primijeniti za zaštitu offshore postrojenja, a epoksi vodorazrjeđivi premazi općenito za zaštitu morskih postrojenja. Unatoč prihvatljivosti vodorazrjeđivih premaza iz aspekta tehnologija, njihova razina zaštite od korozije još uvijek nije na razini zaštite koju pružaju premazi na bazi otapala [13].

#### **4.4. Organske prevlake posebne namjene – protuobraštajni premazi**

Obraštanje (engl. Fouling) označava nastanjivanje kolonija biljnih i životinjskih organizama na uronjenim površinama brodova (slika 21), bova, offshore postrojenja i različitih drugih uronjenih konstrukcija [13].



*Slika 21 Obraštanje podvodnog dijela brodskog trupa [13]*

Na obraštanje utječe čitav niz faktora [13]:

- Strujanje mora
- Mehanička oštećenja
- Slanost mora
- Količina svjetla
- Temperatura
- Zagađenje
- Dostupnost nutrijenata
- Geografski položaj

Najskloniji obraštanju su oni brodovi koji plove nižim brzinama (većina trgovačkih brodova), brodovi male aktivnosti te oni brodovi koji plove u tropskim i subtropskim morima [13].

Obraštanje uzrokuje veću hrapavost površine koja pak ima za posljedicu utjecaj na otpor trenja te se znatno povećavaju troškovi: potrebno je učestalije održavanje broda, povećava se potrošnja goriva (negativan utjecaj na okoliš), moguća je pojava mikrobiološki poticane korozije. Osim toga, obraštanje predstavlja prijetnju iz ekološkog aspekta jer može dovesti do širenja morskih organizama u područja koje nisu njihovo prirodno stanište te na taj način narušiti ekološku ravnotežu.

Stoga su razvijeni premazi posebne namjene u svrhu sprečavanja nastanjivanja mikroorganizama, biljaka i životinja na površinama brodova – protuobraštajni premazi (engl. antifouling coatings).

Većina protuobraštajnih premaza su samopolirajuće boje. Funkcioniraju na način da se boja pod djelovanjem morske vode skida sloj po sloj te se na taj način iz sredstva za obraštanje oslobađaju tvari koje u određenoj mjeri sprječavaju obraštanje [15].

#### 4.4.1. Sredstva protiv obraštanja na bazi kositra

Sredstva protiv obraštanja na bazi kositra sadrže tributilkositrove spojeve – TBT spojevi. Dugi niz godina nisu u upotrebi jer su toksični, iako su pružali solidnu zaštitu od obraštanja. TBT spojevi ubijali su mikro- i makroorganizme, larve školjaka i spore algi kada dođu u doticaj s oplatom. Osim tog, negativno su djelovali i na morske organizme koji se nalaze u lukama. Osim što je iznimno otrovan i poguban za morsku floru i faunu, također je i nerazgradiv [15].

#### 4.4.2. Suvremene tehnologije zaštite broskog trupa od obraštanja

Današnje protuobraštajne premaze moguće je podijeliti u dvije skupine: biocidni i neobraštajući premazi

##### □ **Biocidni antivegetativni premazi**

Ova vrsta premaza su kemijski aktivni premazi koji sprječavaju obraštanje na način da napadaju organizme kemijski aktivnim spojevima [6].

Efikasnost ove vrste premaza ovisi o samom biocidu u premazu te o tehnologiji kojom se kontrolira otpuštanje biocida [13].

Najčešće biocidno sredstvo su bakar i njegovi spojevi uz dodatak brzo razgradivih pojačivača biocida.

Biocidni antivegetativni premazi mogu se podijeliti na [6, 13]:

- premazi s netopivom matricom (engl. Contact Leaching Antifouling) - sadrže polimernu matricu koja se ne polira i ne erodira u kontaktu s vodom; koriste se vinil, epoksi, akrilni i klorirani polimeri; nedostatak ovih premaza je kratkotrajnost (12 – 18 mjeseci); premaz se može reaktivirati struganjem polimerne matrice što može izazvati ponovni rast morskih trava nastanjenih u šupljinama; imaju visoku mehaničku čvrstoću, nisu podložni pucanju i otporni su na oksidaciju i foto degradaciju
- premaze s topivom matricom – sadrže topivu matricu čime se izbjegava pad efikasnosti s vremenom (premaz sadrži vezivo koje se može otopiti u morskoj vodi); matrica i biocidi se otapaju i otpuštaju u kontaktu s morskom vodom te zbog toga trajanje zaštite iznosi 12 – 15 mjeseci te su zbog tog razvijeni CDP premazi (engl. Control Depletion Polymer) čije je vezivo ojačano sintetičkom smolom koja je otpornija od prirodne smole te kontrolira hidrataciju i otapanje topivog veziva što rezultira životnim vijekom od 36 mjeseci
- premazi bazirane na samopolirajućim kopolimerima (engl. Self Polishing Co-polymer, SPC) – biocidi se otpuštaju u procesu hidrolize ili ionskom zamjenom između akrilnog

polimera i morske vode isključivo u blizini površine što omogućava kontrolu otpuštanja biocida i proizvodi efekt samozaglađivanja; primjenjuju se za novogradnju i efikasniji su od CDP premaza, a kao biocid sadrže bakreni oksid u kombinaciji s cinkovim oksidom koji se brzo razgrađaju i ne akumulira u morskom okolišu; zaštita može trajati i do 60 mjeseci

- hibridna SPC/CDP tehnologija – kombinacija SPC i CDP tehnologije; sadrže manji udio otapala, stopa otpuštanja biocida je kontrolirana, daju trajniji film od CDP premaza; učinkovitost i cijena između performansi CDP i SPC tehnologija, pružaju zaštitu do 36 mjeseci

#### □ **Neobraštajući premazi**

Budući da je otpuštanje biocida štetno po okoliš, razvijeni su neobraštajući premazi (engl. Foul Release, FR).

Njihov efekt temelji se na specifičnim svojstvima (niska površinska napetost, mali modul elastičnosti i mala hrapavost površine) koji omogućuju otpuštanje prilijepljenih organizama u prisutnosti hidrodinamičkih sila, što dovodi do zaključka da njihova učinkovitost ovisi o aktivnosti broda zbog čega u stanju mirovanja može doći do obraštanja. Nadalje, budući da imaju slabu učinkovitost pri sprječavanju obraštanja nekih vrsta mikroalgi, razvijene su nove generacije ove vrste premaza čiji su rezultat glatki silikonski premazi koji otežavaju adheziju morskih organizama [6].

Negativne strane ovih premaza je to što su podložni mehaničkim oštećenjima, za samočišćenje treba velika brzina plovidbe ili visoka aktivnost broda (budući da se svjetska flota većinski sastoji od tankera i brodova za rasuti teret koji nisu dovoljno brzi za primjenu ove vrste premaza, nije došlo do njihove šire primjene) i skupi su.

#### **4.4.3. Primjer nanošenja protuobraštajnog premaza na gliser**

U svrhu održavanja očuvanja podvodnog dijela glisera na slici 22 svake dvije godine provodi se nanošenje protuobraštajnog premaza.

Nanosio se premaz Hard Racing TecCel 7679A proizvođača Hempel (slika 23). To je protuobraštajni premaz s čvrstom matricom. Uz svaki premaz dolazi njegov tehnički, kao i sigurnosni list. Tehnički list sadrži podatke kao što karakteristike i podaci o proizvodu, sigurnost proizvoda, upute za pripremu površine, primjenu, sušenje, premazivanje plovila i skladištenje proizvoda. U sigurnosnom listu navedeni su podaci o proizvođaču, identifikacija tvari/smjese, opasnosti, sastav/informacije o sastojcima, mjere prve pomoći, mjere za gašenje požara, mjere kod slučajnog ispuštanja, upute za rukovanje i skladištenje, nadzor nad izloženošću i osobna zaštita,

fizikalna i kemijska svojstva proizvoda, stabilnost i reaktivnost proizvoda, toksikološke informacije, ekološke informacije, informacije o zbrinjavanju, informacije o prijevozu te informacije o propisima [18].



*Slika 22 Gliser [2]*



*Slika 23 Protuobraštajni premaz Hempel's Hard Racing TecCel 7679A [17]*

Budući da je nanošenje premaza bilo u svrhu održavanja i popravka te se na plovilu nalazio i ranije nanešen sloj premaza, prvi korak je čišćenje i priprema površine. Sve tvari i rahla onečišćenja odstranjeni su mokrom pripremom mlazom slatke vode pod visokim pritiskom (slika 24). Zatim, nakon kratkog sušenja, sve površine očišćene su sredstvom za pranje brodova (slika 25) nakon čega je uslijedilo brušenje na mokro.





*Slika 24 Mokra priprema površine mlazom vode pod visokim tlakom [2]*



*Slika 25 Pranje plovila sredstvom za čišćenje i pranje [2]*

Nakon što je površina pripremljena za nanošenje premaza, slijedi sušenje površina nakon čega je potrebno na plovilu krep trakama označiti dijelove na koje će se nanositi premaz. Nakon toga, slijedi nanošenje ranije navedenog protuobraštajnog premaza valjcima, u uvjetima koje je propisao proizvođač (relativna vlažnost mora biti niža od 85 % i temperatura površine na koju se nanosi

premaz 3°C iznad rosišta) – slika 26. Sušenje, prema preporukama proizvođača, traje ovisno o vanjskoj temperaturi koja je u konkretnom slučaju iznosila između 20 i 40°C, što odgovara vremenu sušenja od 2 do 4 sata. Nakon sušenja gliser je spreman za spuštanje u more.



*Slika 26 Svježe nanesen protuobraštajni premaz na plovilo [2]*

#### **4.5. Organske prevlake – plastifikacija/polimerne prevlake**

Postupcima plastifikacije se na različite metalne i nemetalne proizvode nanose prevlake od plastičnih masa, najčešće većih debljina (0,2 – 5 mm) koje se nazivaju i oblogama [8].

Polimerne prevlake ekološki su prihvatljivije za upotrebu od drugih premaza jer ne sadrže otapalo te savršeno odgovaraju zahtjevima antikorozivnosti [13].

Plastifikacija se u brodarstvu često koristi za zaštitu broskog trupa u svrhu antikorozivne zaštite. Primjenom polimernih prevlaka, umjesto klasičnih premaza, olakšava se održavanje, no sam postupak plastifikacije je nešto složeniji od nanošenja premaza. Površine koje se plastificiraju potrebno je temeljito očistiti od bilo kakvih premaza, odnosno pobrusiti do golog drva. Površine prije izvođenja postupka plastifikacije moraju biti suhe te u drvu ne smije biti vlage što je teško postići jer zatvaranjem površine s vanjske strane drvo „ne diše“, dok će s unutrašnje, nezaštićene strane, upijati vlagu što dovodi do širenja i stezanja. Vлага može prouzročiti i odvajanje polimerne prevlake od drva. Također, do truljenja najčešće dolazi ispod između polimerne prevlake i drva (jer zaostala vlaga isušuje drvo) pa se to ne može uočiti [19, 20].

Prvo se izvodi impregnacija drva rijetkom smolom koja penetrira duboko u drvo i zapravo stvara kompozit smole i drvenih vlakana. Budući da smola treba biti što rjeđa, potrebno je ovaj postupak izvoditi na što višim temperaturama (od 25°C pa naviše). Ukoliko je drvo na mjestima rasušeno ili su prisutne pukotine ili šupljine, ta se mjesta može tretirati kitom od smole i praškastog punila kojim se zapunjava prostor. Plastifikacija se izvodi u nekoliko slojeva, uključujući primjenu staklenog mata i rovinga. Na kraju je potrebno sve slojeve izbrusiti da površina bude glatka, nakon čega slijedi bojanje. Unutrašnju stranu broskog dna potrebno je zaštititi kvalitetnim premazima koji će spriječiti da drvo upija vlagu [19, 20].

#### **4.6. Organske prevlake – bitumenizacija**

Bituminozne tvari potječu iz nafte (bitumeni u užem smislu riječi) ili iz ugljenog katrana (katranske smole). Naftnim bitumenima su srodni i oni iz bitumenskih jezera ili bituminoznih škrljaca. Takve tvari su tamnijih boja (crne ili tamnosmeđe) pa se ne mogu koristiti za premaze svijetlih boja. Bitumenizacija je nanošenje upravo tih, bituminoznih tvari, pri čemu se rabi oblaganje lijepljenjem ili djelomičnim nataljivanjem bitumenskih bandaža, odnosno nataljivanjem samog bitumena ili katrana. Bitumenizirane bandaže služe za dugotrajnu zaštitu, a proizvode se tvornički ili se oblikuju pri nanošenju prevlake. Bitumenizacija se vrši na konstrukcije koje se nalaze u vodi, tlu, slabo kiselim i slabo lužnatim otopinama, no postojani su samo u temperaturnom intervalu -10 – 40°C (taj se raspon može proširiti prethodnim propuhivanjem rastaljenog bitumena zrakom, modificiranjem epoksidnim i poliuretanskim smolama i sl.) [8].

Prevlake redovito sadrže i praškasta - punila koja mogu biti kiselostalna ili lužnatostalna. Prevlake se nanose lijevanjem taline sirovine na metalnu površinu uz četkanje. Prevlake su najčešće debljine 0,5 – 10 mm, one deblje se armiraju jutenim ili pamučnim platnom, vunanim pustom, sintetskom tkaninom, staklenom vunom ili azbestnim tkanjem [13].

#### **4.7. Metalne prevlake**

Metalne prevlake nanose se s ciljem antikorozivne zaštite te poboljšanja nekih mehaničkih svojstva kao što su čvrstoća, tvrdoća, otpornost na trošenje, sjaj, toplinske ili električne vodljivosti. Postupci nanošenja metalnih prevlaka su [13]:

- Vruće uranjanje
- Difuzijska metalizacija
- Metalizacija prskanjem
- Fizikalne i kemijske metalizacije iz parne faze
- Metode oblaganja (platiranja, navarivanja)

- Galvanotehnike
- Ionske izmjene
- Katalitičke redukcije

Od tih postupaka najznačajnije je vruće uranjanje. Kako bi metalna prevlaka dobro prijanjala na podlogu, nužno je da su ispunjena dva uvjeta [13]:

- Osnovni metal mora imati više talište od prevlake
- Metal osnovnog materijala i metal prevlake moraju se moći legirati

Osim toga, važno je i da talina potpuno kvasi sve obrađivane plohe što se osigurava predobradom. Priprema za vruće uranjanje izvodi se uobičajenim postupcima (kemijska predobrada, mehanička predobrada, odmašćivanje), fluksiranjem i završne predobrade. Kada nanešeni film taline skrutne, prevlaka se sastoji od površinskog sloja čiji je sastav jednak sastavu taline te od krhkog međusloja legure osnovnog materijala i taline koji osigurava čvrsto prijanjanje, no budući da je krhak, poželjno je da debljina međusloja bude što manja. Uobičajeno se nanose prevlake cinka, kositra, olova i njegovih legura i aluminija najčešće na ugljični čelik ili lijevano željezo te rjeđe na druge metale. Pri postupku je važno voditi računa o temperaturi, trajanju obrade, brzini uranjanja i vađenja te o sastavu taline i o drugim čimbenicima [13].

#### **4.8. Anorganske nemetalne prevlake**

Anorganske nemetalne prevlake mogu se nanositi fizikalnim ili kemijskim putem (prskanjem u rastaljenom stanju, premazivanjem, oblaganjem). Prevlake se fizikalno najčešće nanose izvana, tj. bez sudjelovanja podloge, dok se kemijskim putem prevlake obično oblikuju procesom u kojem sudjeluje površina podloge (konverzijske prevlake). Najčešće anorganske nemetalne prevlake su [8]:

- Emajliranje
- Bruniranje
- Anodizacija (eloksiranje)
- Fosfatiranje
- Kromatiranje
- Patiniranje

## 5. Zaštita materijala promjenama okolnosti (inhibitori korozije)

Inhibitori se rabe za kočenje korozije metala u elektrolitima i vlažnim plinovima, a katkad i u ugljikovodičnim kapljevinama (npr. u mazivima) [8].

Postoje dvije osnovne klasifikacije inhibitora:

- prema sastavu: anorganski, organski
- prema načinu djelovanja: anodni, katodni i miješani (kombinirani, anodno-katodni).

Uspješnost djelovanja inhibitora izražava se preko faktora usporenja (retardacije)  $f_u$  koji se izražava prema formuli (1):

$$f_u = \frac{(v_{kor})_{ni}}{(v_{kor})_i} \quad (1)$$

Odnosno, stupnjem inhibicije  $\eta_i$  koji je definiram preko formule (2):

$$\eta_i = \frac{(v_{kor})_{ni} - (v_{kor})_i}{(v_{kor})_{ni}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Pri čemu je  $(v_{kor})_{ni}$  brzina korozije u neinhibiranom mediju, a  $(v_{kor})_i$  brzina korozije u inhibiranom mediju [8].

Inhibitori većinom djeluju selektivno, tj. samo u određenim sustavima metal/elektrolit, a na stupanj inhibicije bitno utječu njihova koncentracija, pH-vrijednost otopine i temperatura. [8]

Anodni inhibitori koče ionizaciju metala, a u njih se ubrajaju pasivatori i taložni inhibitori. Pasivatori su topljive soli oksidativnih aniona. Pri njihovoj upotrebi, važno je da na površini postoji dovoljna koncentracija inhibitora. U protivnom može doći do razvijanja jamičaste korozije. Taložni inhibitori s ionima konstrukcijskog metala, nastalima na lokalnim anodama, daju slojeve netopljivih korozijskih produkata [8].

Ovoj vrsti inhibitora potreban je kisik u otopini kako bi izvršili svoju zaštitnu funkciju, a taj se kisik najčešće apsorbira iz zraka. Oni ne uzrokuju jamičastu koroziju, a najpoznatiji među njima jest vodeno staklo.

Katodni inhibitori izravno koče katodnu reakciju povišenjem aktivacijskog prenapona ili djeluju kao taložni inhibitori tvoreći na lokalnim katodama netopljive produkte. U odnosu na anodne inhibitore, katodni ne uzrokuju jamičastu koroziju te su efikasni bez obzira na upotrijebljenu količinu [8].

Mješoviti inhibitori objedinjuju anodno i katodno djelovanje, tj. usporavaju katodnu i anodnu reakciju.

Većina miješanih, tj. anodno-katodnih inhibitora čine organski spojevi koji teže gomilanju na metalnoj površini. Ovo gomilanje može biti monomolekularno, i to fizikalno (adsorpcija) ili kemijsko uz tvorbu spojeva (kemisorpcija) i višemolekularno (inhibicija opnom ili filmom). Takvi filmovi mogu biti hidrofilni ili hidrofobni (vodoodbojni) [8].

Vrlo su često u upotrebi i smjese dva ili više inhibitora, čiji je stupanj inhibicije povećan zbog miješanja istih.

Hlapivi inhibitori korozije (eng. volatile corrosion inhibitor – VCI) ili inhibitori u parnoj fazi (eng. vapour phase inhibitor – VPI) su organske tvari u čvrstom stanju koje imaju dovoljno visok tlak para da bi sublimacijom učinile nekorozivnim okolni zrak ili neki drugi plin. Hlapivi inhibitori služe i za zaštitu od korozije u različitim kondenzatima jer isparavaju zajedno s vrelin kapljevinama (s vodom i organskim otapalima) [8].

U praksi se upotrebljavaju u praškastom obliku ili se njihovom alkoholnom kiselinom natapaju papiri ili spužvaste tvari. Isparavanjem VCI-ja, isti se širi po cijeloj površini metala te kondenzira u tanki monomolekularni film koji ionskim djelovanjem štiti metal. Njihove molekule su dipolne, odnosno pozitivni dio je vezan za površinu, dok negativan odbija vodu i zrak zbog svoje hidrofobnosti te na taj način štiti materijal od štetnog djelovanja okoline. Najizraženija svojstva VCI-ja su otpornost adsorbiranoga zaštitnog sloja na koroziju i otpornost na temperaturu.

Prednosti primjene VCI inhibitora su [21]:

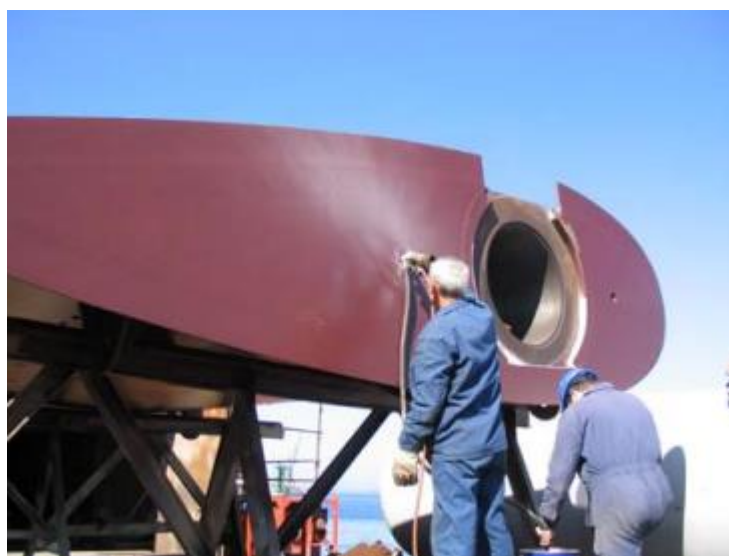
- stvaranje monomolekularnoga inhibirajućeg sloja koji štiti i nedostupne površine
- ukoliko je VCI sloj poremećen mehanički ili otvaranjem zatvorenog prostora, sloj se kontinuirano obnavlja hlapljenjem
- potrebna je mala ili nikakva priprema površine
- sprječava daljnju koroziju obojenih površina
- jednostavan za primjenu
- VCI sloj nije potrebno ukloniti prije obrade ili upotrebe
- ukoliko je potrebno, lako se uklanja ispuhivanjem ili ispiranjem
- VCI sloj ne utječe negativno na rad mehaničkih komponenti
- ne sadrži silikone, fosfate, nitrite ni teške metale

Inhibitori u brodogradnji imaju sve veću primjenu i to za nepristupačne dijelove koje nije praktično zaštititi premazima. To su npr. kobilica, unutrašnjost lista kormila, rog kormila, bokoštitnik, cjevovodi, brodska oprema, električni kontakti, pramac broda, razni protočni sustavi (sustavi grijanja tereta, rashladni sustavi glavnog i pomoćnih motora, sustavi grijanja prostora za posadu i putnike) postolja uređaja i strojeva, postolja i kranovi palubnih dizalica, stupovi (rogovi) rampe za ukrcaj automobila i razni drugi uski prostori itd [21].

Tako se, primjerice, list i rog i kormila štite od korozije primjenom inhibitora na način da se u njih na 1 m<sup>3</sup> upuhuje 500 g Cortec-ovog VCI-309 inhibitora. Takva zaštita može poslužiti i do 3 godine (slike 27 i 28) [21].



*Slika 27 Primjena inhibitora korozije za zaštitu unutrašnjosti lista kormila [21]*



*Slika 28 Primjena inhibitora korozije za zaštitu unutrašnjosti lista [21]*

Koriste se i za zaštitu zatvorenih suhih prostora na brodovima (kao što su prostori za ugradnju strojeva ili spremišta radne opreme) koji su sklони korodiranju zbog prisutne agresivne atmosfere. Naime, tu atmosferu čini visok udio klorida zbog blizine mora, a karakterizira ju visoka relativna vlažnosti i učestale temperaturne promjene. Zbog nepristupačnosti zaštita premazima nije opcija, stoga se za ovakve prostore upotrebljavaju inhibitori čija količina ovisi o samoj veličini prostora te prisutnim uvjetima.

Inhibitori imaju značajnu ulogu zaštitu od korozije i tijekom samog procesa gradnje broda. Naime, to je izrazito dugotrajan proces kojeg karakterizira nedostatak prostora pa stoga oprema, koja će se kasnije ugraditi na brod, prije nego bude korištena najčešće stoji na otvorenom. Tada se

ta oprema zaštićuje najlonskim folijama u kojima su postavljeni inhibitori korozije koji sprečavaju nakupljanje vlage u folijama (slika 29).



*Slika 29 Zaštita brodske opreme najlonskom folijom [21]*

Jedna od primjena inhibitora korozije je i kao dodatak vodi koja se koristi za pripremu površine metala u obliku mlaza. Glavni razlog ove primjene leži u činjenici da brodograđevni čelik nije otporan na vodu, što znači da ona može uzrokovati koroziju.

Inhibitori se koriste i kao dodaci u zaštitnim premazima. Zbog veličine čestica pigmentata, u premazima postoje praznine koje mogu uzrokovati iniciranje korozivnih procesa, kao i njihovu propagaciju. Inhibitorima se takve praznine uklanjaju te nastaje cjeloviti zaštitni film.



## 6. Primjena korozijski postojećih materijala

### 6.1. Čelici

Korozijski postojeće materijale odlikuje korozijska otpornost na djelovanje okolnog medija. Ta korozijska otpornost uvelike ovisi o sposobnosti pasiviranja površine. Na stvaranje te zaštitne prevlake utjecaj ima ponajprije maseni udio kroma te nekih drugih legiranih elemenata, kao što su nikel, molibden, volfram, titan i aluminij. Također je od iznimne važnosti u sprječavanju korozije da je udio ugljika u materijalu što niži kako bi se spriječilo stvaranje karbida kojima se osiromašuje čvrsta otopina na legiranim elementima.

Stoga, postoje dva uvjeta koje čelik mora zadovoljiti kako bi bio korozijski postojan [22]:

1. udio kroma mora biti minimalno 12 % u čvrstoj otopini.
2. moraju imati monofaznu strukturu kako bi se izbjegla mogućnost nastanka lokaliteta različitih elektropotencijala od potencijala osnovnog materijala čime bi došlo do stvaranja galvanskog članka pa tako postoje korozijski postojani čelici feritne, austenitne ili martenzitne strukture

S obzirom na sastav i mikrostrukturu, korozijski postojani čelici mogu se klasificirati [22]:

1. Cr-čelici (neki s dodacima molibdena, aluminija i titana) – feritni, martenzitni i martenzitno-karbidni i feritno-martenzitni
2. Cr-Ni, Cr-Ni-Mo i Cr-Mn čelici – austenitni, feritni, martenzitni, austenitno-feritni, martenzitno-feritni i austenitno-martenzitno-feritni

Modifikacijom i kombiniranjem prethodno navedenih vrsta korozijski postojećih čelika dobiveni su [22]:

- superferitni čelici s vrlo niskim udjelom ugljika i niskim maseni udjelima nečistoća (ELA – Extra Low Additions)
- austenitni s vrlo niskim udjelom ugljika (ELC – Extra Low Carbon)
- austenitni legirani dušikom
- duplex čelici (austenitno feritni s > 40 % ferita)
- niskougljični martenzitni (mekomartenzitni)

U brodogradnji se nehrđajući čelici svih vrsta primjenjuju za tankove tereta, cjevovode, teretne pumpe te ljestve i nosače u tankovima.

## 6.2. Ostali korozijski postojani materijali

Bakar je pogodan za izradu dijelova koji su izloženi vlažnoj atmosferi (na njemu se stvara zelena patina koja usporava, a naposljetku i u potpunosti sprečava koroziju), kondenzatorskih cijevi i cijevi za vodu [4].

Bakreni ioni su otrovni pa se na njega ne vežu biljni i životinjski organizmi, što je izrazito važno u brodarstvu.

Od bakrenih legura, u brodogradnji se najčešće koriste:

- aluminijeva bronca (kojoj se mogu dodati još poneki legirni elementi, npr. željezo, nikal, mangan; koriste se za izradu osovina pumpi, klipove motora, dijelove ventila, brodske vijke (propelere), osovine za brodske vijke, itd.)
- berilijeve bronce (sadrže od 1,5 do 2 % berilija, uz eventualni dodatak nikla; upotrebljavaju se za izradu opruga, membrana, vijaka, male zupčanike, sjedišta ventila; vrlo su skup materijal)
- legure bakra s niklom (koriste se za izradu dijelova kondenzatora na brodovima i postrojenjima za demineralizaciju i desalinizaciju morske vode)
- manganova bronca (osim otpornosti na koroziju, ima i veliku sposobnost prigušenja vibracija, no nedostatak joj je visoka cijena)

Aluminij i njegove legure također su često korišten materijal u brodarstvu. Prednosti aluminija su svakako mala gustoća, niža čvrstoća i veća elastičnost od čelika [23].

Stoga će brodski trup izrađen od aluminija i njegovih legura biti lakši od onog izrađenog od čelika te, općenito, aluminijskim konstrukcijama nije potrebno predimenzioniranje kao zaštita od korozijskih procesa, a osim toga, indirektna je prednost smanjenje troškova u pogledu potrošnje goriva. Također, aluminij je izrazito korozijski postojan zbog stvaranja oksidne prevlake na svojoj površini koja ima sposobnost samoobnavljanja. Zbog toga nije potrebna upotreba premaza u svrhu zaštite od korozije, već samo upotreba antivegetativnih premaza (naročito na kugličarenim slitinama).

Od korozijskih postojanih materijala u brodogradnji značajan je još i nikal te njegove legure (nikal-bakar (monel), nikal-krom (nimonic), nikal-molibden-krom (hastelloy), nikal-krom-željezo (inconel), nikal-željezo-krom (incoloy), superlegure)

## 7. Konstrukcijsko-tehnološke mjere

Prilikom konstruiranja, ne samo brodova, već svakog tehničkog sustava, različitim kreativnim rješenjima potrebno je u najvećoj mogućoj mjeri spriječiti nastanak uvjeta pogodnih za razvoj korozije. Time se može značajno usporiti ili čak spriječiti nastajanje korozije. Konstrukcijska rješenja uvelike diktiraju kakav će karakter i tijek razvitka korozija imati. Ispravnim odabirom konstrukcijskih rješenja mogu se smanjiti troškovi održavanja, produljiti vijek trajanja opreme te u konačnici povećati prihodi.

Neke od važnijih smjernica su: [13, 25, 26]

- Konstrukciju oblikovati na način da svi njeni dijelovi budu lako dostupni za čišćenje. Također, budući da je u praksi čest slučaj kombinacije više tehnologija zaštite od korozije, važno je da je konstrukcija oblikovana na način koji će omogućiti jednostavnu upotrebu premaza. Bitno je i izbjegavati svaku heterogenost, odnosno oštećenje, pa se preporuča izvođenje skošenja na oštrim rubovima, bridovima i profilima. Osim toga, ova smjernica se odnosi i na izbjegavanje oštih prijelaza (kod npr. dijelova kod kojih se mijenja debljina stjenke). U protivnom, na mjestu prijelaza može doći do zadržavanja vlage i nečistoća koji pogoduju razvoju korozije. Prilikom konstruiranja spremnika, poželjno je izvesti ih na način da se odignu od tla kako bi se spriječilo nakupljanje vlage i olakšala provedba površinske zaštite tijekom eksploatacije.
- Spriječiti nakupljanje vode ili agresivnih tekućina te im osigurati lako otjecanje. Budući da je voda, odnosno vlaga, jedan od glavnih inicijatora korozije, potrebno je pri konstruiranju oblikovati i orijentirati različite elemente, kod kojih postoji opasnost od nakupljanja vode, tako da se na njima ne može ista ne može zadržati te eventualno osigurati otvore za njeno otjecanje. Jedan od glavnih problema pri stvaranju korozije u procjepu su naslage ispod kojeg dolazi do razvoja korozijskog procesa. Kako bi se izbjeglo njihovo nakupljanje, potrebno je izbjeći oštre bridove primjenom zaobljenja. Prilikom konstruiranja često se koriste različita ojačanja za pojedine elemente koji su, iz aspekta korozije, štetni jer mogu biti početna točka korozije ukoliko nisu odgovarajuće izvedeni. Stoga, i pri oblikovanju takvih ojačanja, važno je imati na umu eksploatacijske uvjete te primijeniti ono rješenje koje će kasnije stvoriti najmanje havarija.
- Upotrijebiti konstrukcijska rješenja koja neće dovesti do nastanka različitih procjepa u kojima bi moglo doći do inicijacije procesa korozije. Do nastanka korozije u procjepu često dolazi kod preklopnih zavarenih spojeva. Umjesto preklopnih, uputno je formirati sučeljene spojeve ili, ukoliko nije moguća zamjena preklopnih sa sučeljenim spojevima, zatvoriti nastali procjep zavarom. Isto je poželjno napraviti i kod dijelova u međusobnom

dodiru u području njihovih dosjeda te procjepa koji nastaju spajanjem različitih profila te kod zavarenih spojeva prakticirati obostranu izvedbu spoja. Osim preklopnih zavarenih spojeva, opasnost od korozije u procjepu predstavljaju i isprekidani zavareni spojevi te bi sve zavarene spojeve trebalo izvoditi kao kontinuirane te pripaziti da oni budu pravilno protaljeni. Korozija u procjepu može se pojaviti i kod cijevnih ogranaka koji strše, a osim toga, oni nepovoljno djeluju i na razvoj erozijske korozije. Ukoliko je nemoguće eliminirati procjep, tada ga je potrebno „otvoriti“, odnosno omogućiti otjecanje različitih medija.

- Zavareni spojevi imaju prednost pred vijčanim spojevima i spojevima sa zakovicama. Kod vijčanih i spojeva sa zakovicama postoji opasnost od razvoja korozije u procjepu te povećavaju samu masu konstrukcije. Kod zavarenih spojeva vrlo je važno da su oni pravilno izvedeni. Pri zavarivanju postoji čitav niz pogrešaka koje se mogu pojaviti zbog primjene neadekvatnog režima i tehnologije zavarivanja. Takve pogreške predstavljaju nehomogenosti na površini konstrukcije pogodne za razvoj korozije.
- Pri spajanju različitih materijala bitno je uskladiti njihove korozijski potencijala, odnosno primijeniti one sa srodnim korozijskim potencijalima kako bi se spriječila mogućnost nastanka galvanskog članka. Ukoliko izvedba izolacije nije moguća (npr. u uvjetima visoke temperature ili u okolini agresivnih medija), potrebno je koristiti plemenitiji metal kao zaštitu za spajanje dijelova manje plemenitog metala. Iako bi prva pomisao kod primjene ove metode mogla biti da će doći do razvoja galvanske korozije zbog primjene dva metala različitih potencijala, to nije slučaj. Naime, kako bi se izbjegla korozijska oštećenja u galvanskome paru, nužno je da anodno područje bude puno veće od katodnog. Iste te omjere anodnog i katodnog područja, bitno je imati na umu i pri primjeni zaštitnih boja i prevlaka – mora se prevlačiti cijela konstrukcija, i katodno i anodno područje.
- Izbjegavati uvjete koji pogoduju razvoju i ubrzanju korozijskih procesa kao što su visoke temperature, tlakovi, naprezanja i brzina gibanja medija te lokalno intenzivno zagrijavanje.
- Izbjegavati oštre zavoje u cjevovodnim sistemima radi smanjenja opasnosti od erozijske korozije. Na takvim lokalitetima mogu se stvoriti nanosi i nakupljati se nečistoće koji su štetni jer mogu uzrokovati turbulencije i lokalni porast brzine medija. Stoga je nužno pri konstruiranju predvidjeti ulaze i otvore za održavanje cjevovoda na mjestima najniže točke sustava. Već spomenutu kontinuiranu promjenu presjeka važno je izvesti i radi sprječavanja turbulencija. Pri procesima s brzim strujanjem za ublažavanje udara fluida potrebno je koristiti zaštitne ploče jer bi se na mjestu udara mogla pojaviti korozijska oštećenja. Na mjestima gdje se može očekivati onečišćenje medija potrebno je predvidjeti i upotrebu filtera.

- Izbjegavati mehanička naprezanja u svrhu smanjenja opasnosti od napetosne korozije. Takva su mjesta u materijalima najčešće u području zavarenih spojeva, konkretno u zoni utjecaja topline (ZUT). Oblik spojeva kod kojih naročito treba pripaziti na zaostala naprezanja su sučeljeni spojevi, stoga ih je potrebno izvesti s užim i blago ispupčenim slojevima. Na smanjenje opasnost od napetosne korozije može se utjecati i snižavanjem temperature. Veći udio klorida u vodenim otopinama također povećava opasnost od napetosne korozije pa je potrebno održavati sadržaj klorida niskim (iako to nije garancija da uopće neće doći do razvoja napetosne korozije).
- Pri proračunu uzeti u obzir smanjenje dimenzija konstrukcija uslijed korozijskih procesa.
- Primjenjivati korozijskih postojane materijale.
- Konstrukcijskim i tehnološkim rješenjima osigurati brzo i jednostavno održavanje i zamjenu istrošenih dijelova.
- Izbjegavati kontakt s agresivnim česticama.
- Provoditi plansko i preventivno održavanje te racionalno kombinirati konstrukcijske materijale i zaštitne metode.

## 8. Električne metode zaštite

Električne metode zaštite, odnosno katodna zaštita materijala od korozije se temelji na privođenju elektrona metalu, bilo iz negativnoga pola istosmjerne struje (narinuta struja), bilo iz neplemenitijeg metala (žrtvovana anoda), sve dok potencijal objekta ne padne ispod zaštitne vrijednosti jednake ravnotežnom potencijalu anode korozijskoga članka, čime nestaje afinitet za koroziju, tj metal postaje imun [27].

Dakle, ovaj princip zaštite počiva na činjenici da metal, koji je uključen u strujni krug kao katoda, ne korodira. Stoga se namjerno stvara galvanski članak u koji će se kao anoda uključiti neki neplemenitiji metal. Taj galvanski članak mora sadržavati katodu i anodu koje su električki povezane te elektrolit.

Važno je da konstrukcijska koja se želi zaštititi bude polarizirana na vrijednosti elektrodnog potencijala između -1,05 V i -0,8 V. Naime, ukoliko je potencijal ispod donje granice može doći do negativnih posljedica kao što su nepotrebno velika struja zaštite i trošenje anoda, pojava vodikove krhkosti te oštećenje premaza [13].

Budući da se mjere katodne zaštite nerijetko koriste u kombinaciji sa zaštitnim premazima (kako bi se smanjila trenutna potreba za katodnom zaštitom jer premaz u određenoj mjeri sprečava dopiranje kisika, vode i iona do površine materijala koji se štiti), pri samom projektiranju konstrukcija to je uzeto u obzir, tako da oštećenja premaza mogu oslabiti mogućnost zaštite električnim mjerama. Stoga, organske prevlake nisu prikladne za korištenje u kombinaciji s katodnom zaštitom jer bi ona mogla stvoriti lužnatost na površini između premaza i metala što bi moglo uzrokovati koroziju ispod premaza. Najčešće se za ovu namjenu koriste kombinacije s epoksidnim smolama.

Od velike su važnosti mjere prethodne zaštite. Njima se provodi optimalan izbor lokacije ukopanih objekata te ograničenje lutajućih struja eliminacijom njihovog izbora. Dakle, svrha preliminarne zaštite je usporavanje korozije pri projektiranju geometrije konstrukcija [28].

U brodarstvu katodna zaštita je iznimno važna za zaštitu brodskih betonskih konstrukcija. Naime, beton je osjetljiv na prodiranje klorida koji uzrokuju poroznost, a posljedično i koroziju, a koji su sastavni dio morske vode. Kada korozija jednom prođe do betona, to znači da je samo pitanje vremena kada će se ista proširiti i na armaturne šipke, nakon čega će se povećati brzina korozije u betonu zbog čega može doći do različitih havarija. Kada jednom korozija dođe do armaturnih šipki, nije moguće riješiti je se, stoga na ovaj problem treba djelovati preventivno, odnosno spriječiti ga prije nego što dođe do korozije u betonu te se u tom području uvelike primjenjuje katodna zaštita kao mjera prevencije korozijskog procesa, ali i mjera odgađanja početka istog.

## 8.1. Zaštita protektorskom anodom

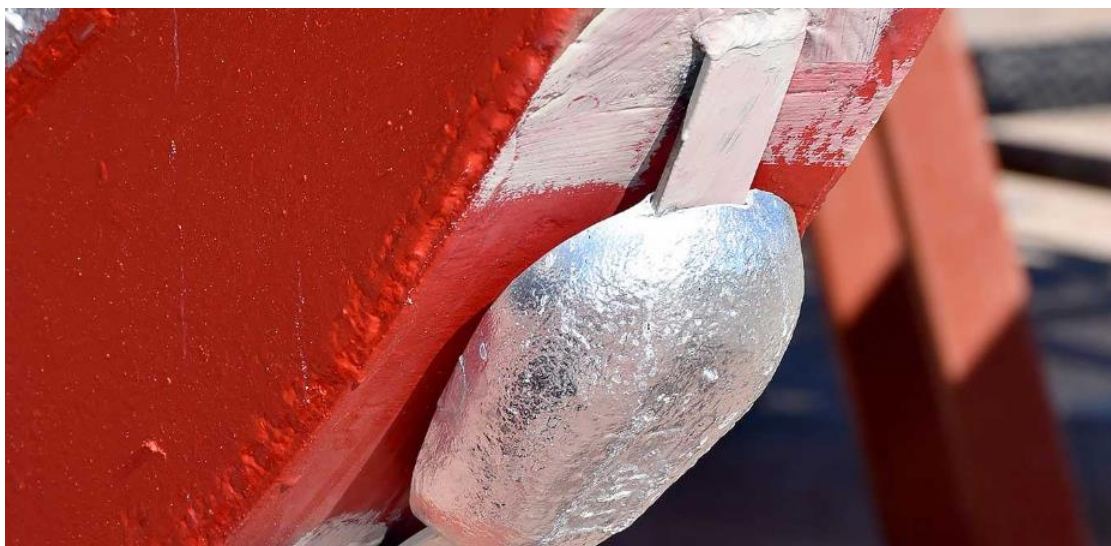
Pri protektorskoj zaštiti konstrukciju, koju želimo zaštititi, potrebno je spojiti s nekim neplemenitijem metalom u galvanski članak. Kao što je već spomenuto, anoda se počinje trošiti uslijed uspostave galvanskog članka, a na konstrukciji se odvija katodna reakcija. Bitna stavka na koju treba obratiti pažnju prilikom primjene ove metode zaštite jest brzina korozije anode [13].

Uređaji za zaštitu protektorskim anodama sadrže [28]:

- Anodne protektore za štice metalnu konstrukciju
- Aktivator u kojem je smješten protektor
- Izolirani kabel koji vodi od protektora do konstrukcije
- Kontrolnu mjernu jedinicu koja mjeri katodnu zaštitu

Najčešće upotrebljavane protektorske anode su od cinka, magnezija, aluminija i njihovih legura za zaštitu čeličnih konstrukcija te od željeza za zaštitu konstrukcija od bakra i njegovih legura, a pri odabiru materijala potrebno je uzeti u obzir vrijednosti minimalne polarizacije, visokog strujnog kapaciteta, malu topljivost anode protektora i visoki negativni potencijal radne sredine.

Protektorske anode od cinka prigodne su za uporabu kada se očekuje dugi životni vijek (slike 30 i 31). Jeftiniji je od magnezija te posjeduje iznimno nisku brzinu vlastite korozije. Uobičajeno se upotrebljavaju anode od rafiniranog cinka (kako ne bi došlo do pasivizacije) ili njegovih legura uz dodatak aluminija ili magnezija. Oko 90 posto protektorskih anoda koja se koristi za zaštitu trupa broda načinjene su od cinka. Upotrebljavaju se kod zaštite tankera te zaštitu balastnih tankova [13].



*Slika 30 Protektorska anoda od cinka [19]*



*Slika 31 Zaštita brodskog trupa protektorskim anodama od cinka [13]*

Kao protektorske anode koriste se isključivo aluminijske legure s aktivirajućim elementima. Čisti aluminij se ne koristi jer vrlo brzo stvara pasivni sloj, stoga se i legurama dodaju aktivirajući elementi koji će spriječiti pasivizaciju. Brzina vlastite korozije aluminijevih legura ovisi o brojnim parametrima, ali redovito je veća od cinkovih anoda. Oksidi, hidroksidi i aluminijske bazične soli posjeduju veću sklonost polarizaciji, stoga se koriste uglavnom u off-shore tehnici [13].

Magnezijske anode sve se manje upotrebljavaju u brodogradnji zbog svojih nedostataka: visoka cijena, niska iskoristivost (anode se brzo troše), velik pogonski napon anode (opasnost od prezaštićenosti) [13].

Na efikasnost ove metode zaštite utječu lokalni uvjeti, konstrukcija i rad koji sustav vrši, a samo projektiranje zaštite od korozije uz pomoć sustava žrtvenih anoda je složenije od zaštite narinutom strujom jer anode i zaštićene strukture čine bimetalni sustav koji je osjetljiv na pojavu korozijskih procesa. Još neke od negativnih strana zaštite protektorskim anodama su potrebna periodična zamjena anoda, nemogućnost regulacije struje koje je potrebna zbog npr. oštećenja premaza, potreba za velikim brojem anoda [28].

## **8.2. Zaštita narinutom strujom**

Kod zaštite narinutom strujom konstrukcija koja se želi zaštititi se uključi kao katoda u krug struje iz vanjskog izvora, tj. spoji se s negativnim polom, dok se s pozitivnim polom spoji neka



pomoćna anoda. Ta pomoćna anoda ne mora nužno imati niži potencijal od metala koji ima ulogu katode jer prirodni polaritet mijenja narinuta struja. Anode mogu biti topljive (npr. ugljični čelik) ili netopljive (npr. ferosilicij, grafit, ugljen, nikal, olovo, platinirani titan, itd.). Ova metoda katodne zaštite koristi se za zaštitu ukopanih i uronjenih konstrukcija među kojima se svakako nalaze i različite brodske konstrukcije. Jedan od primjera primjene katodne zaštite u brodarstvu jest zaštita broskog trupa koji se spaja preko regulatora na minus pol izvora struje, a na plus pol se spajaju anode od plemenitih materijala (platina, grafit, vodljivi poliplasti, smjesa metalnih oksida, itd.) koje se ugrađuju u oplatu broda. To područje trupa koje se štiti mora biti zaštićeno posebnim premazom debljine od 1 mm pa naviše. Struja i napon katodne zaštite ovise o veličini broda, udjelu oštećene površine dijela broda, brzini broda, salinitetu morske vode, broju i položaju anoda [13].

Ovaj tip zaštite se može ostvariti uporabom stalnog potencijala i uz konstantnu struju. Katodna zaštita konstantnim potencijalom temelji se na principu održavanja stalnog zaštitnog potencijala konstrukcija u odnosu na referentnu elektrodu. Konstantni potencijal se može regulirati ručnim uređajem ili automatskom kontrolom potencijala iz ispravljača. Ovaj sustav zaštite sastoji se od inertne anode, referentne elektrode i jedinice za automatsko upravljanje. Osim toga, koristi se i ispravljač pomoću kojeg se zapravo i postiže zaštita pružanjem istosmjerne struje kroz anode u metalnim spremnik, cjevovod ili druge podvodne komponente [28].

Materijali koji se koriste za izradu inertnih elektroda su: niskougljični čelik, ferosilicij, grafit, legure olova, magnetit te platinizirani titan. Inertne elektrode od niskougljičnog čelika su lako dostupne i cijenom prihvatljive, također, potrebne su niske vrijednosti jakosti struje za efikasnu zaštitu. Unatoč tome, nije ih isplativo koristiti za zaštitu većih konstrukcija zbog mogućnost stvaranja korozije. Grafitne inertne anode daju zadovoljavajuću zaštitu kod podzemnih primjena. Bolju zaštitu daju u morskoj vodi, nego u slatkoj (grafit je otporan na kloride, a sulfatni ioni i slabo vodljiva voda ga razaraju). Inertne anode od ferosilicija daju zaštitu konstrukciji stvaranje hidratiziranog sloja silicijevog dioksida na njihovoj površini, a brzina njihove potrošnje ovisi o samom okolišu. Inertne anode od legura olova nerijetko se koriste s dodatkom srebra. Na površini anoda stvara se olovov (IV) oksid koji je otporan u morskom okolišu. Magnetit anode dovode čelik u visoko oksidirano stanje koje je otporno na daljnju oksidaciju nakon prolaska struje, što je iznimno povoljno. Anode se izrađuju u obliku epruveta te se koriste za katodnu zaštitu pomorskih struktura pri visokim gustoćama struje. Kod platiniziranih titanskih anoda platina se elektrokemijski taloži na titansku podlogu, a koriste se za zaštitu trupova brodova, podmornica, pristaništa te sustava cirkulacije morske vode. Nedostatak ovih široko rasprostranjenih anoda jest što je potrošnja platine daleko veća u vodama gdje dolazi do oslobađanja kisika – slatke vode [28].

Pomoću referentnih elektroda održava se potencijal zaštitne strukture, odnosno, one su kontrolne točke struje. Referentne elektrode mjere potencijal pomorske strukture na temelju kojeg

jedinica za automatsko upravljanje šalje potrebnu struju kroz inertne anode kako bi se taj potencijal podesio na zadanu vrijednost koja će omogućiti zaštitu. Referentne elektrode i inertne anode smještene su na podvodnom dijelu struktura (brodski trup, podmornice, cjevovodi) te je prilikom projektiranja važna procjena njihovih lokacija na konstrukciji.

Katodna zaštita uz konstantnu struju primjenjuje se na metalnim konstrukcijama velikih površina. Budući da postoji puno više parametara koji određuju gustoću struje i napon u odnosu na katodnu zaštitu uporabom stalnog potencijala, nužan je i puno viši stupanj kontrole tih parametara. Sastavni dijelovi su ispravljač, anoda, referentna elektroda i kontrolni uređaj. Referentna elektroda nadzire vrijednosti zaštitnog potencijala prema kojem kontrolni uređaj proizvodi struju [28].

Zaštita narinutom strujom ovisi o slanosti vode, zagađenju, količini mikroorganizama, brzini broda i stanju iskoristivosti anode [28].

Prednosti zaštite narinutom strujom su minimalni troškovi održavanja, regulacija parametara zaštite, pouzdanost te zamjena anoda po potrebi ili vremenskim intervalima. Nedostaci ove metode zaštite od korozije su početni visoki troškovi, mogućnost pogrešnog spajanja sustava što uzrokuje brzo i intenzivno korozijsko oštećivanje broskog trupa, a prejaka struja zaštite može oštetiti zaštitne premaze, stoga se metoda protektorskih anoda češće koristi u praksi u sustavima s trenutno niskim zahtjevima i u okruženjima s relativno visokom vodljivošću [13, 28].

## 9. Zaključak

Cilj održavanja broda je poboljšanje njegove konkurentnosti na tržištu (zadovoljavanje zahtjeva u pogledu financijske dobiti, rokova isporuke te općenito kvaliteta usluge i zadovoljstvo korisnika). Pristup koji će se koristiti pri održavanju brodova uvjetovan je brojnim kriterijima, a najčešće se razmatraju oni u pogledu troškova i pouzdanosti, pri čemu treba donijeti kompromis kojim će se zadovoljiti zahtjevi u pogledu sigurnosti broda, njegove posade, putnika i tereta te ekonomske isplativosti.

Korozija je jedan od najvećih problema današnjice u tehničkim sustavima jer nastoji vratiti materijale u njihov prvotni oblik, odnosno uzrokuje razaranje istih. Važno je koristiti ispravnu tehnologiju zaštite od korozije jer ona može uveliko doprinijeti produljenju životnog vijeka broda, ukoliko je pravodobno provedena. Korozija je posebno velik problem u brodarstvu zbog samih karakteristika okoline koja okružuje brodove, sigurnosti koju on treba pružiti te zbog velikih financijskih izdataka koje on kao sredstvo za transport donosi sa sobom.

Kod zaštite od korozije rabi se 5 glavnih metoda – zaštita premazima, katodna zaštita, upotreba korozijski postojanih materijala, konstrukcijsko-tehnološke mjere, zaštita promjenom okolnosti (inhibitori korozije). U brodogradnji se najviše koristi tehnologija zaštite premazima u kombinaciji s još nekom od tehnologija zaštite. Osim korozijske zaštite, zaštitne prevlake se koriste i s ciljem sprječavanja obraštanja trupa broda koje može dovesti do različitih problema kao što su razvijanje mikrobiološki poticane korozije, veća potrošnja goriva, stvaranje i aktivacija elektrokemijskih članaka i sl. Budući da su pojedini dijelovi broda nepristupačni te samim tim neprikladni za upotrebu premaza, na takvim mjestima moguće je upotrijebiti inhibitore korozije. Osim primjene premaza i upotrebe inhibitora korozije, važno je slijediti preporučene smjernice pri projektiranju različitih brodskih konstrukcija koristeći korozijski što postojanije konstrukcijske materijale te implementirati rješenja katodne zaštite kako bi se preventivno djelovalo na rješavanje problema korozije.

Korozija uzrokuje propadanje materijala, stoga je nužno redovito provođenje zaštite od korozije kako bi se spriječile moguće posljedice u vidu kvarova te mogućih ljudskih gubitaka i ekoloških katastrofa.

## 10. Literatura

- [1] <https://www.corrosionpedia.com/2/5388/corrosion/corrosive-process/how-to-stop-a-ships-marine-corrosion-in-3-steps> (dostupno 13.5.2023.)
- [2] Vlastita arhiva fotografija
- [3] Ž. Kondić, I. Samardžić, L. Maglić, A. Čikić: Pouzdanost industrijskih postrojenja, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 2011.
- [4] D. Šakan.: Održavanje broda, nastavni materijali, Pomorski fakultet u Rijeci  
[https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads\\_nastava/20180308\\_093453\\_sakan\\_1.Odrzavanje.broda.pdf](https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180308_093453_sakan_1.Odrzavanje.broda.pdf) (dostupno 13.5.2023.)
- [5] J. Lovrić: Osnove brodske tehnologije, Pomorski fakultet Dubrovnik, Dubrovnik, 1989.
- [6] D. Bačić: Protuobraštajni premazi na bazi silikona za zaštitu morskog trupa, diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2020.
- [7] I. Juraga, I. Stojanović, T. Noršić: Zaštita broskog trupa od korozije i obraštanja, Brodogradnja, Vol. 58 No. 3, 1.10.2007., str. 278 – 283
- [8] I. Esih: Osnove površinske zaštite, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.
- [9] I. Juraga, V. Alar, I. Stojanović, V. Šimunović: Korozija i metode zaštite od korozije, skripta, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2011.
- [10] V. Alar: Kemijska postojanost materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [11] G. Jelić Mrčelić: Korozija i zaštita materijala, skripta, Pomorski fakultet Split, Split, 2010.
- [12] Ž. Kniflić, R. Ivče, P. Komadina: Značaj uporabe zaštitnih premaza u održavanju trupa broda, Pomorski zbornik, Vol. 49 – 50 No. 1, 2015., str. 117 – 125
- [13] I. Juraga, V. Šimunović, I. Stojanović, V. Alar: Mehanizmi zaštite od korozije, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012.
- [14] I. Juraga, I. Stojanović, V. Šimunović, M. Nikolić: Radionički temeljni premazi i njihov utjecaj na zavarivanje, 4. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje: Tehnolička primjena postupaka zavarivanja i zavarivanju srodnih tehnika u izradi zavarenih konstrukcija i proizvoda, Slavonski Brod, 14. – 16. studeni 2007.
- [15] Skupina autora: Održavanje i remont brodova, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.
- [16]  
<https://marinecoatings.brand.akzonobel.com/m/455041c957c8242e/original/AntifoulingPerformance-English.pdf> (dostupno 19.5.2023.)
- [17] <https://www.marinastores.hr/index.php> (dostupno 21.5.2023.)
- [18] <https://www.hempelyacht.com/hr-hr> (dostupno 21.5.2023.)

- [19] <https://www.burzanautike.com/> (dostupno 22.5.2023.)
- [20] <https://saxumtec.com/hr/plastificiranje-drvenog-broda-epoksi-smolom/> (dostupno 22.5.2023.)
- [21] I. Juraga, V. Šimunović, I. Stojanović: Primjena inhibitora u zaštiti od korozije u brodogradnji, SORTA 2006, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci i 3. maj brodogradilište d.d., Rijeka, 2006., 183. – 198.
- [22] T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indof: Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011.
- [23] D. Živković, B. Anzulović, D. Delić: Utjecaj morske korozije na kugličareni sloj aluminijske slitine, Naše more, Vol. 52, No. 5 – 6, 2005., str. 206 – 213
- [24] S. Vuko: Značajke materijala u brodogradnji, diplomski rad, Pomorski fakultet Split, Split, 2019.
- [25] I. Esih, Z. Dugi: Tehnologija zaštite od korozije I, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [26] I. Juraga, V. Šimunović, V. Parat, I. Stojanović: Konstrukcijsko-tehnološke mjere i smanjenje koruzijskih oštećenja, Zavarivanje, vol. 48., No. 5/6, 2005., str. 167 – 180
- [27] I. Esih, Z. Dugi: Tehnologija zaštite od korozije I, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [28] M. Ignjac: Katodna zaštita konstrukcija od nelegiranog čelika, diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2022.

## Popis slika

Slika 1 Korozija trupa broda [1] .....	1
Slika 2 Korozija na sabirnici napajanja broda [2] .....	2
Slika 3 Udio primjene metoda održavanja u ukupnom održavanju [5] .....	5
Slika 4 Graf porasta broja šteta uzrokovanih korozijom u odnosu na starost broda [4].....	6
Slika 5 Klasifikacija korozijskih procesa [9].....	7
Slika 6 Shematski prikaz površine materijala zahvaćenog općom korozijom [10].....	10
Slika 7 Opća korozija na čeličnoj oplati trupa broda [10] .....	10
Slika 8 Neravnomjerna opća korozija [10].....	10
Slika 9 Pjegasta korozija [11] .....	11
Slika 10 Pojavni oblici pitting korozije [10] .....	12
Slika 11 Shematski prikaz galvanske korozije [10].....	15
Slika 12 Interkristalna korozija Cr-Ni čelika [10] .....	16
Slika 13 Transkristalna napetosna korozija [10] .....	17
Slika 14 Mikrostrukturni snimak transkristalne napetosne korozije [10].....	17
Slika 15 Erozijska korozija bakrene cijevi [10].....	18
Slika 16 Udarni napad u obliku kopita [10] .....	19
Slika 17 Mikrobiološki poticana korozija spremnika vode [10] .....	20
Slika 18 Kavitacijska korozija brodskog propelera [4] .....	20
Slika 19 Mokra priprema kormila broda [15].....	23
Slika 20 Nomogram relativne vlažnosti, temperature zraka i temperature površine brodske strukture [15] .....	24
Slika 21 Obraštanje podvodnog dijela brodskog trupa [13] .....	28
Slika 22 Gliser [2].....	31
Slika 23 Protuobraštajni premaz Hempel's Hard Racing TecCel 7679A [17] .....	31
Slika 24 Mokra priprema površine mlazom vode pod visokim tlakom [2].....	32
Slika 25 Pranje plovila sredstvom za čišćenje i pranje [2] .....	32
Slika 26 Svježe nanesen protuobraštajni premaz na plovilo [2].....	33
Slika 27 Primjena inhibitora korozije za zaštitu unutrašnjosti lista kormila [21] .....	38
Slika 28 Primjena inhibitora korozije za zaštitu unutrašnjosti lista [21] .....	38
Slika 29 Zaštita brodske opreme najlonskom folijom [21] .....	39
Slika 30 Protektorska anoda od cinka [19] .....	46
Slika 31 Zaštita brodskog trupa protektorskim anodama od cinka [13].....	47

## **Popis tablica**

Tablica 1. Galvanski niz materijala u morskoj vodi [10].....	14
--	----

MORON  
ALIPERAINO

## Sveučilište Sjever

1  
2024



1  
11

SVEUČILIŠTE  
SJEVER

### IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora e interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, ELENA TUDAN (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom ANTI-KORUPCIJNA ZAŠTITA PRACIONA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Tudan E.

(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Sukladno čl. 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.