

# Primjena hlapivih inhibitora korozije u maloj brodogradnji

---

Huljev, Blaženka

Master's thesis / Diplomski rad

2008

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:378142>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-28**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor  
Prof. dr. sc. Ivan Juraga

Blaženka Huljev

Zagreb, 2008.

## **Izjava**

Izjavljujem da sam diplomski rad na temu „Primjena hlapivih inhibitora korozije u maloj brodogradnji“ izradila samostalno uz potrebne konzultacije, savjete i uporabu navedene literature.

Blaženka Huljev

## **Zahvala**

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na podršci i razumijevanju iskazanom tijekom mog studiranja.

Posebno se zahvaljujem svojem mentoru prof. dr. sc. Ivanu Juragi i dipl. ing. Ivanu Stojanoviću na savjetima i velikoj pomoći tijekom izrade ovog rada.

NAJČEŠĆE KORIŠTENI IZRAZI STRANOG PORIJEKLA KOJI SE KORISTE U  
IZVOĐENJU TEHNOLOGIJE ZAŠTITE OD KOROZIJE I OBRAŠTANJA U  
BRODOGRADNJI

**Steel work** – obrada čeličnih površina vezana uz sekundarnu pripremu površine

**Pitting** – jamičasta (rupičasta) korozija

**Overspray** – pojava osipanja boje pri nanošenju prskanjem s zrakom

**Antifouling** – premazi protiv obraštanja trupa

**Stripe coating** - flekanje, lokalno nanošenje boje četkom

**IMO** – International Maritime Organisation

**MARPOL** - International Convention for the Prevention of Pollution from Ships -

Međunarodna konvencija o sprječavanju onečišćenja s brodova

**VCI** – engl. *Volatile Corrosion Inhibitor*, hlapljivi inhibitor korozije

**Shopprimer** – radionički temeljni premaz (engl. *shop* – radionica, *primer* – temeljni premaz),

**Holding primer** – Temeljni premaz nanesen ručno, nakon ručnog pjeskarenja površine

**Base line** - osnovica broda

**ICCP** - Impressed current cathodic protection - katodna zaštita narinutom strujom

## **Sažetak diplomskog rada**

Diplomski rad sastoji se od dvije cjeline:

- Teorijskog dijela
- Eksperimentalnog dijela

Teorijski dio opisuje korozijske fenomene koji se najčešće događaju u morskom okruženju, te opisuje metode zaštite od korozije u maloj brodogradnji s posebnim naglaskom na zaštitu od korozije hlapivim inhibitorima korozije.

Eksperimentalni dio se sastoji iz pripreme uzoraka zaštićenim različitim hlapivim inhibitorima korozije i bez njih. Pripremljeni uzorci ispitani su na otpornost prema koroziji u agresivnom mediju ( vlažna komora, slana komora i morska atmosfera).

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> Razaranje zaštitne prevlake i korozija broskog trupa [3].....	2
<b>Slika 2.</b> Kavitacijska korozija krila broskog vijka ribarskog broda [4].....	4
<b>Slika 3.</b> Opća korozija [3].....	5
<b>Slika 4.</b> Lokalna korozija (pjegasta) [4].....	6
<b>Slika 5.</b> Primjeri selektivne korozije [4].....	6
<b>Slika 6.</b> Interkristalna korozija [4].....	7
<b>Slika 7.</b> Prikaz zona utjecaja i promjene u brzini korozije [5].....	8
<b>Slika 8.</b> Utjecaj koncentracije NaCl-a na koroziju željeza u aeriranoj otopini pri sobnoj temperaturi [6].....	15
<b>Slika 9.</b> Utjecaj temperature na koroziju željeza u vodi koja sadrži otopljeni kisik [6].....	15
<b>Slika 10.</b> Utjecaj koncentracije O <sub>2</sub> na koroziju nelegiranog čelika u destiliranoj vodi koja se polagano kreće [6].....	16
<b>Slika 11.</b> Primjeri obraslih brodova [7].....	18
<b>Slika 12.</b> Faze razvoja obraštaja [8].....	19
<b>Slika 13.</b> Mehanička priprema površine [7].....	22
<b>Slika 14.</b> Nanošenje premaza valjkom [7].....	25
<b>Slika 15.</b> Nanošenje premaza bezračnim prskanjem [7].....	26
<b>Slika 16.</b> Katodna zaštita broda žrtvovanim anodama [3,7].....	28
<b>Slika 17.</b> Katodna zaštita s vanjskim izvorom struje [3].....	29
<b>Slika 18.</b> Primjena aluminijske slitine u brodogradnji [7].....	32
<b>Slika 19.</b> Dobra i loša konstrukcijska rješenja [17].....	33
<b>Slika 20.</b> Ovisnost djelovanja raznih anodnih inhibitora korozije željeza o koncentraciji [18].....	36
<b>Slika 21.</b> Utjecaj anodnog inhibitora na anodnu polarizaciju metala [18].....	37
<b>Slika 22.</b> Djelovanje katodnih inhibitora na korozijski sustav [18].....	39
<b>Slika 23.</b> Vodikova bolest [19].....	39
<b>Slika 24.</b> Mehanizam djelovanja hlapivog inhibitora korozije [14].....	42
<b>Slika 25.</b> Ovisnost prekrivenosti površine o logaritmu koncentracije inhibitora [18].....	44
<b>Slika 26.</b> Reakcije na granici faza metal – kiselina [18].....	46
<b>Slika 27.</b> Reakcije na granici faza metal – inhibirana kiselina [18].....	47

<b>Slika 28.</b> Zaštita lista kormila hlapljivim inhibitorima korozije [3].....	50
<b>Slika 29.</b> Zaštita kobilice, bokoštitnika i pramca broda praškastim hlapivim inhibitorima korozije [3].....	51
<b>Slika 30.</b> Zaštita brodske opreme [3].....	52
<b>Slika 31.</b> Primjena inhibitora za zaštitu brodske električne opreme [22].....	53
<b>Slika 32.</b> Priprema površine vodenim mlazom [14].....	54
<b>Slika 33.</b> Inhibirajući učinak tradicionalnih premaza i premaza s hlapivim inhibitorom korozije [14].....	55
<b>Slika 34.</b> Detalj odmašćivanja uzoraka u posudi s acetonom u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB [3].....	57
<b>Slika 35.</b> Nanošenje hlapivih inhibitora u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB [19].....	59
<b>Slika 36.</b> Vlažna komora u Laboratoriju za zaštitu materijala Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu [3].....	60
<b>Slika 37.</b> Stanje uzoraka nakon 24 sata ispitivanja u vlažnoj komori [3].....	61
<b>Slika 38.</b> Stanje uzoraka nakon 96 sati ispitivanja u vlažnoj komori [3].....	62
<b>Slika 39.</b> Stanje uzoraka nakon 144 sata ispitivanja u vlažnoj komori [3].....	63
<b>Slika 40.</b> Slana komora u Laboratoriju za zaštitu materijala Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu [3].....	64
<b>Slika 41.</b> Stanje uzoraka nakon 2 sata ispitivanja u slanoj komori [3].....	65
<b>Slika 42.</b> Stanje uzoraka nakon 4 sata ispitivanja u slanoj komori [3].....	66
<b>Slika 43.</b> Stanje uzoraka nakon 24 sata ispitivanja u slanoj komori [3].....	67
<b>Slika 44.</b> Priprema uzoraka prije ispitivanja u morskoj atmosferi [3].....	68
<b>Slika 45.</b> Stanje uzoraka nakon 15 dana ispitivanja na terenu u morskoj atmosferi, Šibenik [3].....	69



## POPIS TABLICA

<b>Tablica 1.</b> Utjecaj duljine eksploatacije na brzinu korozije nelegiranog čelika, bakra i aluminija [6].....	9
<b>Tablica 2.</b> Brzina korozije obojenih metala i legura u morskoj vodi [6].....	10
<b>Tablica 3.</b> Plan ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori.....	57
<b>Tablica 4.</b> Uvjeti ispitivanja u vlažnoj komori [3].....	60
<b>Tablica 5.</b> Uvjeti ispitivanja [3].....	64
<b>Tablica 6.</b> Plan ispitivanja u morskoj atmosferi.....	68

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. VRSTE KOROZIJA.....	3
2.1. Korozija u morskoj sredini .....	7
2.1.1. Morska atmosfera .....	10
2.1.1.1 Vlažnost .....	11
2.1.1.2. Sastav zraka .....	11
2.1.1.3 Lokacija.....	11
2.1.1.4. Orijentacija .....	12
2.1.1.5. Temperatura .....	12
2.1.1.6. Sunčeva svjetlost .....	12
2.1.1.7. Vjetar .....	13
2.1.1.8. Vrijeme izgaranja .....	13
2.1.1.9 Utjecaj godišnjeg doba.....	13
2.1.2. Morska voda .....	13
2.1.2.1. Koncentracija soli (salinitet) .....	13
2.1.2.2. Utjecaj temperature.....	15
2.1.2.3. Koncentracija kisika .....	16
2.1.2.4. Utjecaj pH vrijednosti .....	17
2.1.2.5. Onečišćenje .....	17
2.1.2.6. Obraštanje biljnim i životinjskim kolonijama .....	17
2.2. Ekonomsko značenje korozije.....	20
3. METODE ZAŠTITE OD KOROZIJE U BRODOGRADNJI .....	21
3.1. Zaštita prevlačenjem .....	21
3.1.1. Priprema podloge za prevlačenje .....	21
3.1.2. Komponente premaza .....	23
3.1.3. Tehnike nanošenja zaštitnih premaza .....	24
3.2. Katodna zaštita .....	26
3.3. Zaštita inhibitorima korozije.....	29
3.4. Primjena korozijski postojanih materijala .....	31
3.5. Konstrukcijsko – tehnološke mjere.....	32
4. ZAŠTITA INHIBITORIMA KOROZIJE.....	35

4.1. Klasifikacija inhibitora.....	35
4.1.1. Anodni inhibitori.....	36
4.1.2. Katodni inhibitori.....	38
4.1.3. Mješoviti inhibitori.....	40
4.2. Hlapivi inhibitori korozije.....	41
4.2.1. Mehanizam djelovanja VCI-ja.....	41
4.2.2. Svojstva VCI – ja.....	42
4.3. Optimalna koncentracija inhibitora.....	43
4.4. Djelotvornost inhibitora.....	44
4.5. Sinergistički učinak.....	45
4.6. Mehanizam inhibiranja korozije.....	45
4.6.1. Metalna površina bez oksida.....	46
4.6.2. Metalna površina prekrivena oksidima.....	47
4.7. Primjena inhibitora korozije u brodogradnji.....	48
4.7.1. Zaštita nepristupačnih prostora brodskih konstrukcija.....	49
4.7.2. Zaštita brodske opreme.....	51
4.7.3. Zaštita brodske električne i elektroničke opreme.....	52
4.7.4. Zaštita cjevovodnih sustava na brodu.....	53
4.7.5. Primjena inhibitora korozije kod pripreme površine metala.....	54
4.7.6. Primjena inhibitora u zaštitnim premazima.....	54
4.7.7. Konzervacija sustava u mirovanju.....	56
5. EKSPERIMENTALNI DIO.....	57
5.1. Priprema uzoraka za ispitivanje.....	58
5.2. Ispitivanje uzoraka u vlažnoj komori.....	60
5.2.1. Stanje uzoraka nakon 24 sata ispitivanja u vlažnoj komori.....	61
5.2.2. Stanje uzoraka nakon 96 sati ispitivanja u vlažnoj komori.....	62
5.2.3. Stanje uzoraka nakon 144 sata ispitivanja u vlažnoj komori.....	63
5.3. Ispitivanje uzoraka u slanoj komori.....	64
5.3.1. Stanje uzoraka nakon 2 sata ispitivanja u slanoj komori.....	65
5.3.2. Stanje uzoraka nakon 4 sata ispitivanja u slanoj komori.....	66
5.3.3. Stanje uzoraka nakon 24 sata ispitivanja u slanoj komori.....	67
5.4. Ispitivanje uzoraka u morskoj atmosferi.....	68
5.4.1. Stanje uzoraka nakon 15 dana ispitivanja u morskoj atmosferi.....	69
5.5. Zaključak eksperimentalnog dijela rada.....	70

6. ZAKLJUČAK.....	71
7. LITERATURA.....	72
8. PRILOG.....	74

## 1. UVOD

Korozija je proces nenamjernog razaranja konstrukcijskih materijala uzrokovanog fizikalnim, fizikalno-kemijskim i biološkim agensima. Riječ korozija dolazi od latinske riječi **corrodere**, što znači nagristi [1].

Brod kao složen i skup proizvod svoju funkciju mora obavljati tijekom životnog vijeka od nekoliko desetljeća, u uvjetima koji su s korozijskog stajališta iznimno nepovoljni. Korozijska oštećenja mogu uzrokovati velike probleme na brodskoj konstrukciji, a s vremenom i kolaps konstrukcije što osim materijalne štete može uzrokovati ljudske žrtve, ekološke probleme i sl. Zbog kompleksnosti broda kao proizvoda, mnoštva tehnologija koje se koriste pri izradi i održavanju kao i zbog agresivnosti morskog okoliša, na brodu nalazimo gotovo sve mehanizme korozije. Korektno i pravodobno izvedena antikorozivna zaštita značajno utječe na produljenje životnog vijeka broda.

U brodogradnji je zaštita od korozije godinama smatrana sporednom, iako su brodograditelji već stoljećima upoznati s problemom korozije na brodu. Premala ulaganja u antikorozivnu zaštitu i loše održavanje redovito skraćuju vijek trajanja broda, a najčešće završavaju katastrofom, te velikim materijalnim i ljudskim gubicima. Samo u razdoblju od 1990. do 1991. godine u svijetu je izgubljeno ili značajno oštećeno 30 brodova za rasuti teret i više od 300 ljudskih života, a korozija je bila jedan od glavnih uzroka [2]. Nadalje, istraživanje Lloyd registra je pokazalo da mnogi brodovi s nekorektno izvedenom zaštitom već nakon 10 do 15 godina gube značajne količine materijala (debljina lima lokalno pala s 12 na svega 3 mm), što rezultira slabljenjem konstrukcije i njenom propašću.

Uviđanjem važnosti antikorozivne zaštite marginalizacija iste u brodogradnji je postala stvar prošlosti. Međutim, kompleksnost korozijskih problema proporcionalna je rješenju, što znači da samo potpuna i do detalja razrađena zaštita može biti učinkovita. Trenutno stanje oscilira od pojedinog brodogradilišta, ali se može uočiti tendencija naglog razvoja sustava antikorozivne zaštite praćene progresijom znanosti. Razina svijesti podigla se i kod brodovlasnika čime je osiguran i financijski preduvjet izvedbe korektno zaštite proizvoda sa stanovišta korozije.

Trenutna situacija u brodograđevnoj industriji može se svesti na slijedeću konstataciju. Naručitelj zahtijeva sve bolje karakteristike proizvoda, klasifikacijska

društva pridaju sve veći interes glede životnog vijeka broda, a proizvođači opreme za antikorozivnu zaštitu razvijaju sve bolje sustave zaštite. Tome valja pridodati sve strože ekološke i zakonske propise.



**Slika 1.** Razaranje zaštitne prevlake i korozija broskog trupa [3]

## 2. VRSTE KOROZIJA

Korozija se može klasificirati prema mehanizmu procesa, prema razdiobi na površini metala, prema vremenskom tijeku, prema materijalu koji korodira i prema korozivnom mediju [1].

Najvažnija je podjela prema mehanizmu procesa po kojoj se razlikuju ove vrste korozije [1]:

- kemijska korozija metala
- elektrokemijska korozija metala
- korozija nemetala

Kemijska korozija – je izravna kemijska reakcija između metala i medija, pri čemu nastaju različiti spojevi, a najčešće oksidi i sulfidi. Ta se vrsta korozije odvija u fluidnim neelektrolitima, tj. medijima koji ne provode električnu struju, bez kapljevite vode u vrućim plinovima (u vrućem zraku ili u dimnim plinovima) i u organskim kapljevinama (u nafti i njenim derivatima kao što su bezvodna goriva i maziva). Brzina i tok kemijske korozije ovisi o metalu koji korodira, agresivnoj okolini koja ga okružuje, korozivnim produktima, fizikalnim uvjetima i brzini gibanja okoline. Ova vrsta korozije primijećena je na brodu u brodskim motornim postrojenjima, gdje je neelektrolit vrući plin produkta izgaranja goriva.

Elektrokemijska korozija - javlja se na metalima i legurama u dodiru s elektrolitima kao što su voda i vodene otopine kiselina, lužina i soli, pri čemu se odvijaju reakcije oksidacije (reakcija kojom neka tvar ili skupina tvari oslobađa elektrone, pri čemu nastaje druga tvar ili skupina tvari) i redukcije (reakcija kojom neka tvar ili skupina tvari veže elektrone, pri čemu nastaje druga tvar ili skupina tvari). Ovo je najčešći oblik korozije na brodu.

Korozija nemetala - klasificira se prema vrsti materijala, a oni mogu biti anorganski, organski i kompoziti. Zbog činjenice da često čini dio procesa degradacijskog starenja, koroziju nemetala možemo definirati kao degradaciju kemijskim djelovanjem medija.

Tijekom eksploatacije broda, posebno brodske opreme, vrlo su često primijećene posebne vrste korozije:

- napetosna korozija (*engl. stress corrosion*) – pojava pukotina kao posljedice statičkog vanjskog ili zaostalog unutarnjeg naprezanja. Najčešće se pojavljuje u okolini zavara, u uvjetima agresivne okoline i vlačnog naprezanja.
- korozijski umor (*engl. corrosion fatigue*) – pojava pukotina i loma uslijed dinamičkog opterećenja u korozivnoj sredini.
- erozijska korozija (*engl. impingement attack*) – zbiva se u turbulentnoj struji tekućina, koja skida korozijske produkte s materijala i onemogućava njihovo zaštitno djelovanje. Karakteristična je za cjevovode.
- kavitacijska korozija (*engl. cavitation*) – dešava se u vrlo turbulentnim strujama kapljevina, a na brodu se redovito pojavljuje na brodskom vijku, odnosno vrhovima njegovih krila.
- biokorozija – mikrobiološka korozija ubrzana djelovanjem živih bića, a pojavljuje se u vodi i u atmosferi.



**Slika 2.** Kavitacijska korozija krila brodskog vijka ribarskog broda [4]

Unutarnji i vanjski činitelji korozije variraju lokalno i vremenski, što uzrokuje različite brzine korozije na pojedinim mjestima površine materijala, kao i promjene te brzine s vremenom. Na tim se pojavama osniva geometrijska klasifikacija prema obliku korozije te klasifikacija po tijeku procesa.



Prema geometriji, tj. prema obliku razaranja metala korozija može biti [1]:

- opća
- lokalna
- selektivna
- interkristalna

Opća korozija – zahvaća čitavu izloženu površinu metala, može biti ravnomjerna (jednolika) ili neravnomjerna (nejednolika). Mikroskopski gledano nije ravnomjerna korozija svugdje jednako brza, pa obično uzrokuje ohrapavljenje glatke metalne površine. Ipak se takva korozija u praksi pokazala najmanje opasnom jer se lako može pratiti proces i predvidjeti kad je potrebno zamijeniti metalni predmet novim.



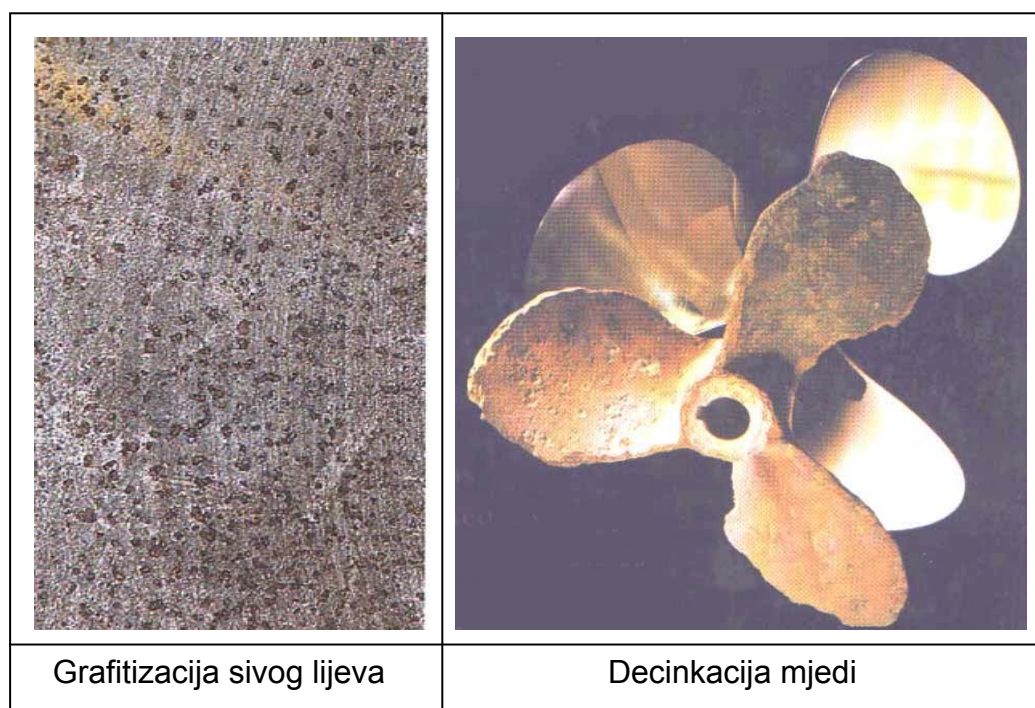
**Slika 3.** Opća korozija [3]

Lokalna korozija – zahvaća samo neke dijelove izložene površine metala. Može biti pjegasta koja je ograničena na pojedine veće dijelove površine i točkasta (*pitting*) kad nastaju rupičasta oštećenja tj. šupljine koje se protežu od površine u metal. Podrazumijeva se da je pjegasta korozija, a pogotovo točkasta korozija, mnogo opasnija od opće korozije jer je korozijski proces teže kontrolirati.



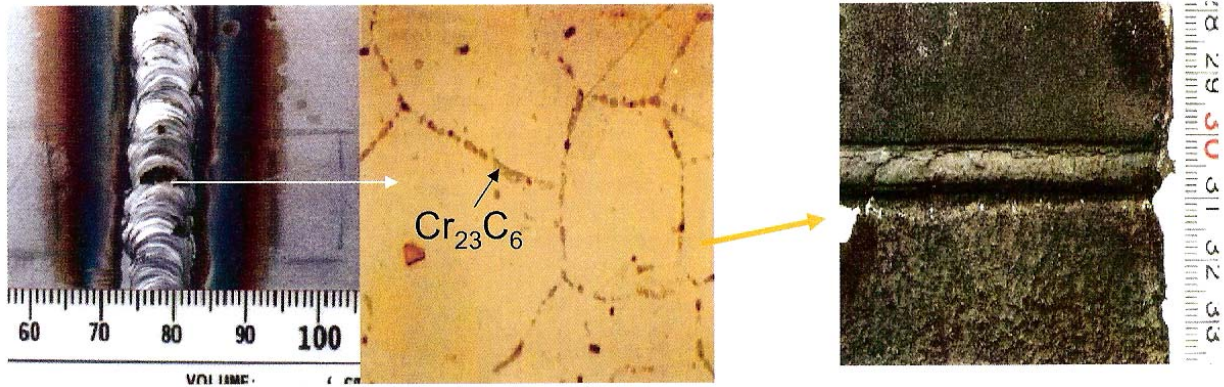
**Slika 4.** Lokalna korozija (pjegasta) [4]

Selektivna korozija – različitom brzinom napada pojedine komponente, odnosno faze, višekomponentnih ili višefaznih materijala, a može biti opća i lokalna. Najvažniji primjeri selektivnog otapanja konstrukcijskog materijala su decinkacija mjedi i grafitizacija sivog lijeva, slika 5.



**Slika 5.** Primjeri selektivne korozije [4]

Interkristalna korozija – napreduje uzduž granica metalnog zrna u unutrašnjost materijala, a na površini je često nevidljiva, pa je najopasnija, pogotovo s obzirom na naglo smanjenje čvrstoće. Konačna posljedica interkristalne korozije je lom ili čak raspad metala u zrna. Najčešće zahvaća nehrđajuće čelike i legure na bazi nikla



**Slika 6.** Interkristalna korozija [4]

Spomenuti ćemo još i galvansku koroziju, kao podvrstu elektrokemijske korozije i jedan od najbitnijih oblika pojave korozije na brodu. Ako u elektrolitu (morska voda) spojimo dva metala vodičem, generirat će se napon, što će rezultirati korozijom manje plemenitog metala, odnosno metala nižeg elektrodnog potencijala.

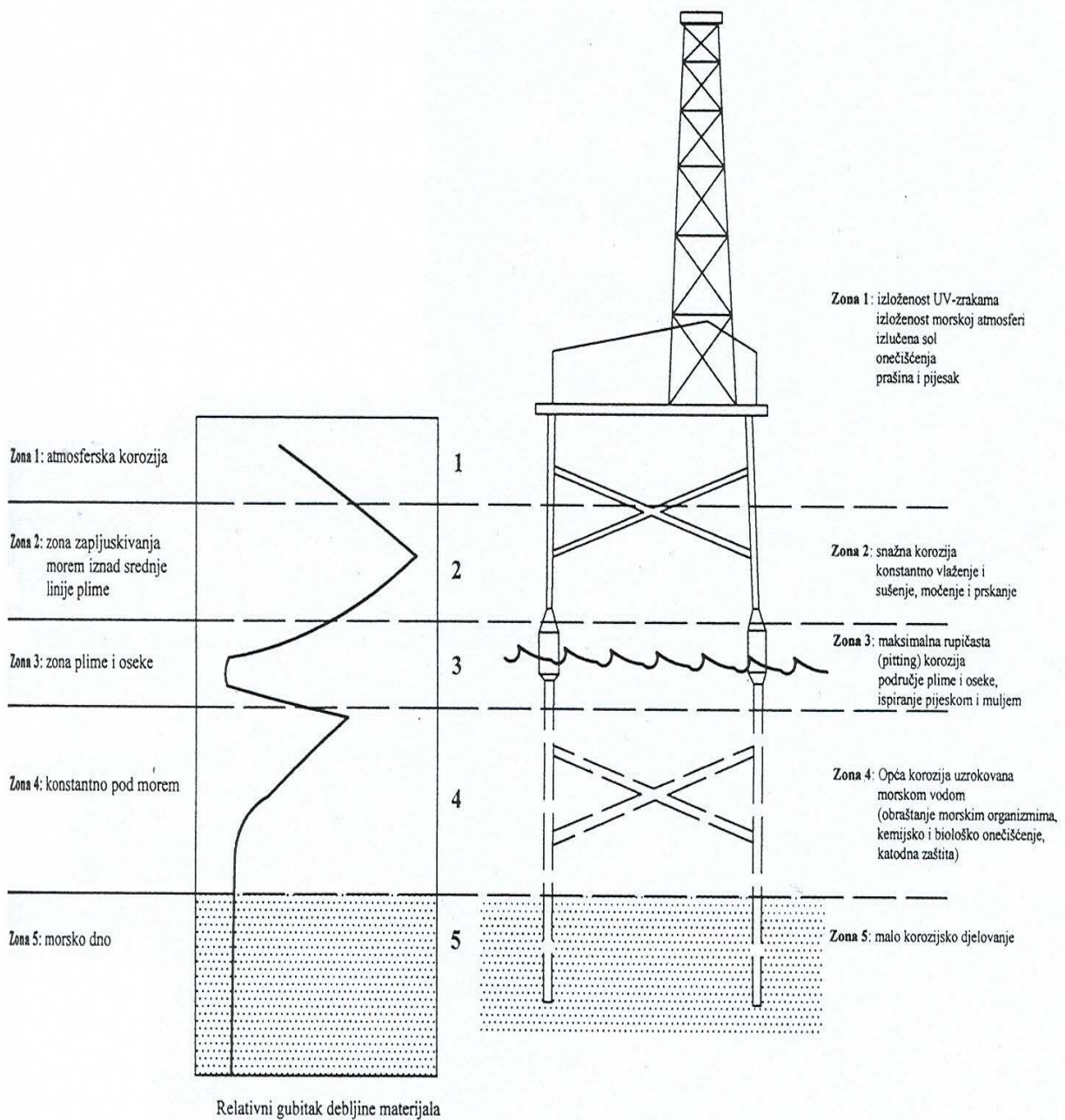
Po tijeku procesa valja razlikovati linearnu, usporenu, ubrzanu, miješanu i diskontinuiranu koroziju. Linearna se korozija odvija konstantnom brzinom, usporena sve sporije, ubrzana sve brže, a miješana i diskontinuirana brzinama koje se postupno ili naglo mijenjaju u pojedinim razdobljima. Nakon dužeg vremena usporena i ubrzana korozija često poprimaju linearni tijek [1].

## 2.1. Korozija u morskoj sredini

Korozija u morskoj sredini je spontano razaranje materijala pod utjecajem morske vode i/ili morske atmosfere. Zbog posebnosti morske sredine konstrukcije izložene njegovom djelovanju istovremeno su izložene različitim uvjetima pod kojima se mogu pojaviti korozijski procesi. Utjecaj morskog okoliša s obzirom na njegovo djelovanje može se podijeliti na pet zona djelovanja [5].

Te zone su:

- djelovanje atmosfere korozije
- zona zapljuskivanja iznad srednje linije plime
- zona plime i oseke
- zona koja je konstantno pod vodom
- morsko dno



**Slika 7.** Prikaz zona utjecaja i promjene u brzini korozije [5]

U svakoj od tih zona postoje glavni i manje važni faktori koji svojim djelovanjem utječu na korozijske procese. U ovisnosti o tim faktorima stupanj korozijskog djelovanja po zonama prilično je različit [5].

U zoni zapljuskivanja je obilan dotok kisika i neprekidno vlaženje metala morskom vodom, pa je brzina korozije najveća. U tom području brzina korozije je red veličine veća nego u zoni potpune uronjenosti.

Korozija potpuno uronjenog čelika u morsku vodu u početnoj je fazi vrlo velika, ali se tijekom nekoliko mjeseci potpuno smanjuje na prilično konstantnu vrijednost. Usporavanje korozije s vremenom treba pripisati stvaranju zaštitnog sloja korozijskih produkata, kroz koji je otežana difuzija kisika do metalne površine. Korozija se usporava i radi obraštanja metala biološkim organizmima, koji također sprečavaju dotok kisika.

Vrijeme eksploatacije (mjeseci)	Srednja brzina korozije za period eksploatacije (mm/god)		
	Čelik	Bakar	Aluminij
1	0,33	-	-
2	0,25	-	-
3	0,19	-	-
6	0,15	-	-
12	0,13	0,034	0,0043
24	0,11	0,019	0,0021
48	0,11	0,018	0,0017

**Tablica 1.** Utjecaj duljine eksploatacije na brzinu korozije nelegiranog čelika, bakra i aluminija [6]

Izbor materijala pogodnog za rad u morskoj sredini je složen zadatak. Za pravilan izbor materijala sa stajališta korozijske postojanosti, potrebno je detaljno poznavati procese i faktore koji određuju korozijsko ponašanje morske sredine, te ograničenja pojedinih skupina materijala.

Mnogi obojeni metali i njihove legure korodiraju relativno polagano u mirujućoj morskoj vodi. Tipične vrijednosti dane su u tablici 2.

Materijal	Brzina korozije (mm/god)
Bakar	0,0038
Mjed	0,0045
Al - mjed	0,0020
Fosforna bronca	0,0025
Al - bronca	0,0038
Bakar - nikl - željezo	0,0038
Nikl	0,0025
Monel	0,0025
Aluminij ( 98,8% )	0,00038
Aluminij ( 98% )	0,00076
Olovo	0,001
Cink	0,0018

**Tablica 2.** Brzina korozije obojenih metala i legura u morskoj vodi [6]

### 2.1.1. Morska atmosfera

Morska atmosfera predstavlja vrlo agresivnu korozijsku sredinu. Intenzitet korozijskih procesa u toj sredini ovisan je o više faktora, a poznavanje njihovih utjecaja važno je za razumijevanje korozijskih procesa, te uvjeta kojima će konstrukcije biti izložene. Glavni utjecajni faktori u morskoj atmosferi su:

1. Vlažnost
2. Sastav zraka
3. Lokacija
4. Orijentacija
5. Temperatura
6. Sunčeva svjetlost
7. Vjetar
8. Vrijeme
9. Utjecaj godišnjeg doba

### 2.1.1.1 Vlažnost

Za nastajanje elektrokemijskih korozijskih procesa nužno je prisustvo elektrolita. Količina prisutne vlage značajno utječe na promjene brzine korozijskih procesa. Za ubrzanje korozijskih procesa osim relativne vlažnosti važna je i hidroskopnost korozijskih produkata, te prisutnost u zraku raznih kemijskih spojeva, koji mogu značajno utjecati na karakteristike elektrolita [5].

### 2.1.1.2. Sastav zraka

Onečišćenje sastava zraka može biti prirodno ili izazvano ljudskim utjecajem. Komponente koje imaju važan utjecaj na atmosfersku koroziju su: kloridi, sumporni dioksid, dušikovi oksidi i čestice prašine (minerali i sl.)

**Kloridi.** S povećanjem udjela soli (klorida) u zraku, povećava se i brzina korozije. Postotak udjela klorida u atmosferi ovisi o udaljenosti morske obale, nadmorskoj visini, te o smjeru i jačini vjetrova.

**Sumpor dioksid.** Prisutnost sumpor dioksida u atmosferi smanjuje kritičnu vrijednost relativne vlažnosti, odnosno povećava agresivnost okoline. Nadalje, povećava debljinu elektrolitskog filma. Povećanjem koncentracije povećava se i brzina korozije.

**Ugljični dioksid.** Njegov utjecaj na koroziju puno je manji u odnosu na sumpor dioksid [5].

### 2.1.1.3 Lokacija

Lokaciju kao faktor dijelimo na udaljenost od obale i na udaljenost od morske razine (visina).

**Udaljenost od obale.** Testovi na različitim lokacijama pokazali su da brzina korozije naglo pada s udaljavanjem od morske obale [5]. Već na relativno malim udaljenostima (1-1.5 km) od obale, brzina korozije pada na vrijednost koje ukazuju na neovisnost o morskoj atmosferi.

**Visina.** Ovisnost brzine korozije o visini pokazuje nejednolike vrijednosti. Najveća brzina korozije je malo iznad glavne linije plime. To područje, osim visoke koncentracije klorida, izloženo i naizmjeničnom vlaženju i sušenju. Povećanjem

udaljenosti od morske razine, učestalost vlaženja se smanjuje, a time opada i brzina korozije [5].

**Geografska lokacija.** Kao utjecajni čimbenik, vezana je uz specifične klimatske pojave koje se pojavljuju na određenim lokacijama. Te pojave su usko vezane uz specifične klimatske uvjete na tim lokacijama.

#### **2.1.1.4. Orijentacija**

Orijentaciju možemo promatrati s obzirom na vertikalnu os prema Zemlji i otklon za neki kut od te osi, zatim s obzirom na stranu koja gleda prema moru i stranu koja gleda prema kopnu. Orijentaciju s obzirom na stranu koja gleda prema nebu, odnosno ona koja gleda prema dole.

Ispitivanjima su utvrđene značajne razlike u brzini korozijskih procesa u odnosu na orijentaciju [5].

#### **2.1.1.5. Temperatura**

Temperatura djeluje na kinetiku korozijskog procesa, utječe na relativnu vlažnost, točku rosišta i vrijeme ovlaživanja. Sa stanovišta korozijskog procesa važno je poznavati površinsku temperaturu materijala ili temperaturu točke rosišta za relativnu vlažnost. Temperatura bitno utječe na brzinu korozije. Povišenjem temperature kod nekih materijala brzina korozije raste, a kod nekih pada. S gledišta atmosfere korozije poželjniji su topli suhi uvjeti u odnosu na hladne i vlažne [5].

#### **2.1.1.6. Sunčeva svjetlost**

Sunčeva svjetlost može utjecati na stupanj vlažnosti, fotosenzitivne korozijske procese i biološke reakcije. Sunčeva svjetlost može zagrijati površinu metala znatno iznad okolišne temperature. Ukoliko je pri tome konstrukcija oblikovana tako da se u njoj može zadržavati tekućina, u uvjetima morske atmosfere može doći do povećanja koncentracije soli u elektrolitu sve do potpunog gubitka vlage [5].



### **2.1.1.7. Vjetar**

Vjetrovi svojim djelovanjem mogu prenijeti različite čestice i kemijske spojeve koji povećavaju djelovanje atmosferske korozije. Svojim smjerom i brzinom utječu na brzinu taloženja čestica [5]

### **2.1.1.8. Vrijeme izgaranja**

Kod mnogih materijala nakon određenog vremenskog perioda dolazi do smanjenja brzine korozije. Ta pojava objašnjava se nastajanjem sloja korozijskih produkata koji djeluje zaštitno za materijal [5].

### **2.1.1.9 Utjecaj godišnjeg doba**

Tijekom godine atmosferske prilike bitno se mijenjaju, što utječe na veliki broj faktora koji imaju utjecaj na brzinu korozije.

## **2.1.2. Morska voda**

Morska voda je jedan od najagresivnijih medija u prirodi, a pokriva preko dvije trećine zemljine površine. To je slana otopina pretežno natrijevog i magnezijevog klorida u vodi. Na korozijske procese u morskoj vodi utječu [5]:

1. Koncentracija soli (salinitet)
2. Temperatura
3. Koncentracija kisika
4. Vrijednost pH
5. Onečišćenja
6. Obraštanje biljnim i životinjskim kolonijama

### **2.1.2.1. Koncentracija soli (salinitet)**

U morskoj vodi je otopljena većina kemijskih elemenata. Velik broj kemijskih elemenata nalazi se samo u tragovima. Glavni utjecajni konstituenti na sastav i svojstva morske vode smatraju se oni koji imaju udjel veći od 1 mg/L i na koje znatno

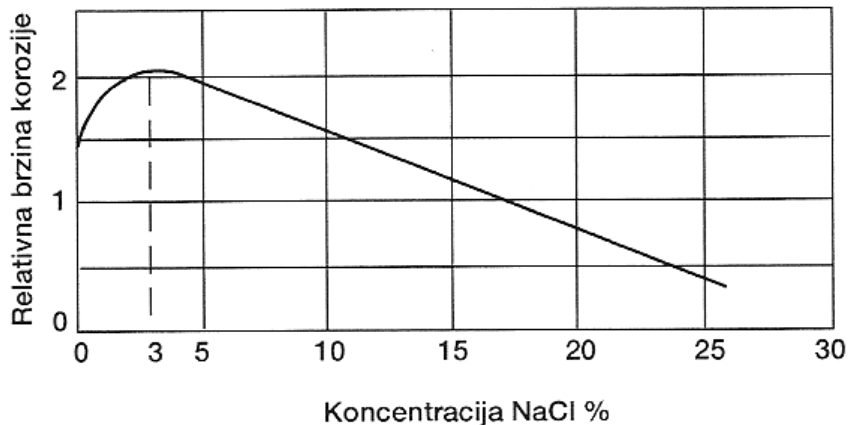
ne utječu biološki procesi. Sadržaj soli u morskoj vodi se najčešće izražava kao salinitet, koji izražava ukupni sadržaj soli u gramima po kilogramu morske vode. Pri tome su svi karbonati izraženi kao oksidi, a svi halogenidi kao kloridi. Radi lakoće kojom se može odrediti sadržaj halogenida, često se izražava klorinitet (Cl) morske vode, koji se prema salinitetu odnosi:

$$\text{Salinitet} = 1.8 \times \text{klorinitet} \quad [6]$$

Salinitet se, kao i klorinitet, najčešće izražava u promilima. Ova relativno dogovorna konverzija u većini slučajeva je zadovoljavajuća, jer je varijacija saliniteta na otvorenim morima relativni mala i kreće se između 33 i 37 promila. Promjena saliniteta po dubini je vrlo mala. Lokalni uvjeti mogu bitno utjecati na salinitet morske vode. Proces koji utječu na salinitet su isparavanje, padaline i utjecanje riječnih tokova u more. Tako npr. salinitet Jadranskog mora iznosi oko 39 promila [6].

Salinitet morske vode je najvažniji faktor koji utječe na korozijske procese u morskoj vodi. Otopljene soli djeluju na električnu vodljivost vode. Što je vodljivost bolja, lakše će doći do elektrokorozijskih procesa. Salinitet od 33 – 37 ‰, što je uobičajena vrijednost saliniteta morske vode, je koncentracija koja daje najveću korozivnost [6].

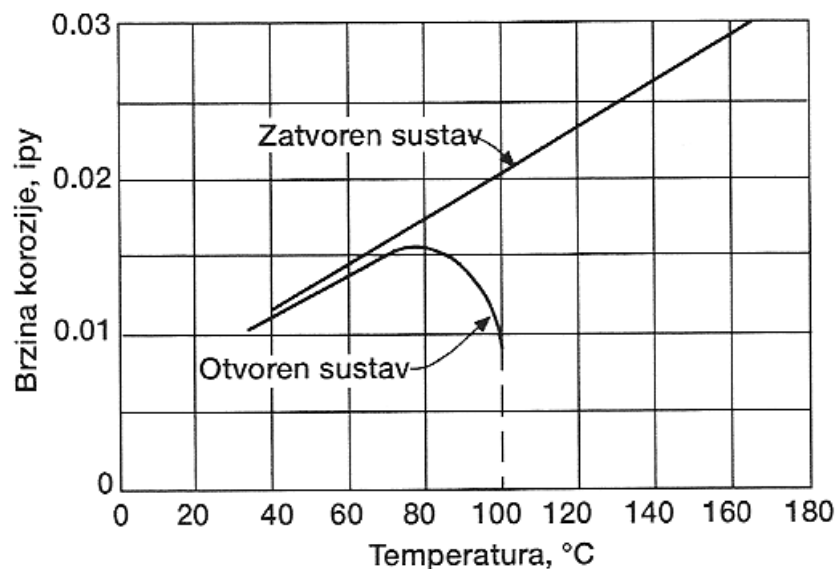
Sljedeća pojava vezana uz salinitet koja djeluje na korozijske procese je svojstvo kloridnih iona da djeluju na razaranje pasivnog filma (Al, nehrđajući čelici). Što je veća koncentracija kloridnih iona (veća koncentracija kloridnih iona odgovara višoj vrijednosti saliniteta), to će oni lakše probiti pasivni film i inicirati stvaranje lokalnih tipova korozije. Najopasniji oblik korozije metala morskoj vodi je korozija u zazorima. Metali, kao nehrđajući čelik i aluminij, koji su radi stvaranja zaštitnog pasivnog sloja korozijski stabilni u morskoj vodi, podložni su intenzivnoj koroziji u uskim zazorima. Za održavanje stabilnog pasivnog sloja potreban je stalan i obilan dotok kisika [5].



**Slika 8.** Utjecaj koncentracije NaCl-a na koroziju željeza u aeriranoj otopini pri sobnoj temperaturi [6]

### 2.1.2.2. Utjecaj temperature

Brzine korozije su obično više u toplim površinskim vodama u odnosu na dublje i hladnije vode [5]. Utjecaj temperature na korozijske procese usko je vezan uz granicu zasićenja otopljenog kisika u vodi i utjecaja na biljni i životinjski svijet. Granica zasićenja kisika inverzno je ovisna o povišenju temperature. S povećanjem temperature povećava se brzina korozijske reakcije.

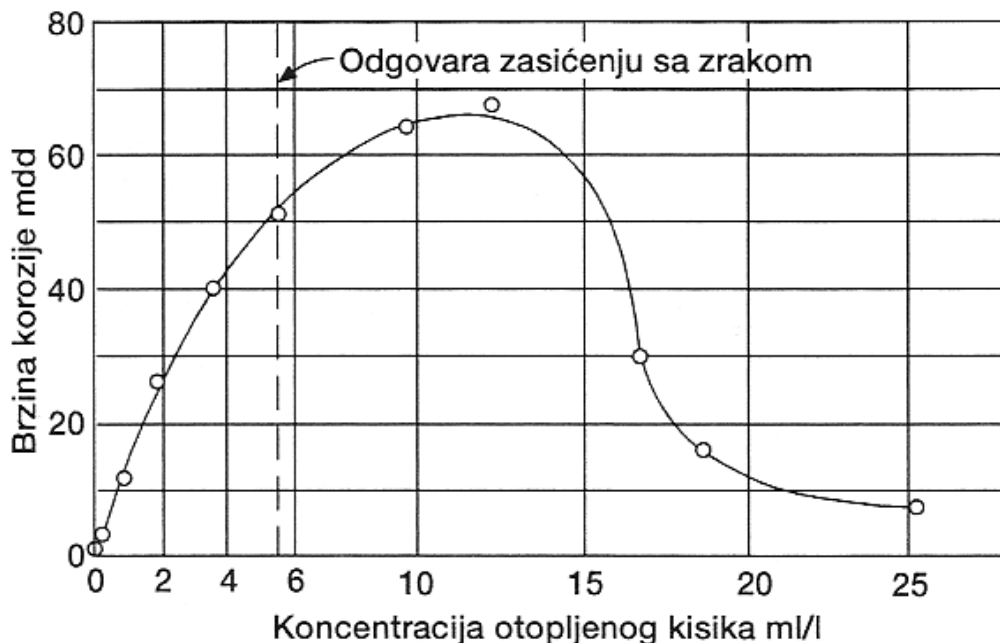


**Slika 9.** Utjecaj temperature na koroziju željeza u vodi koja sadrži otopljeni kisik [6]

### 2.1.2.3. Koncentracija kisika

Topivost kisika u morskoj vodi inverzno je ovisna o povišenju temperature i saliniteta. Površinski slojevi obično imaju koncentraciju kisika približnu onoj u atmosferi.

Uslijed procesa fotosinteze u periodu rasta određenih morskih biljaka ili djelovanja valova (efekt mjehurića) može doći do prezasićenosti kisikom. Na većim dubinama često je koncentracija kisika snižena uslijed biokemijskih procesa. Za razliku od utjecaja na koroziju kod (aktivnih) nelegiranih čelika kod kojih se brzina korozije linearno povećava u ovisnosti o koncentraciji kisika, djelovanje kisika na metale koji tvore pasivni film (Al, nehrđajući čelici, Ti) je promjenjivo. Kod takvih materijala više koncentracije kisika povoljno djeluju na obnavljanje pasivnog filma, čime pridonose višoj korozijskoj postojanosti. Ukoliko je u materijalu došlo do pojave korozijskih procesa, prisustvo kisika povećat će brzinu korozije [5].



**Slika 10.** Utjecaj koncentracije  $O_2$  na koroziju nelegiranog čelika u destiliranoj vodi koja se polagano kreće [6].

Za nastanak lokalnih korozivskih procesa kod metala koji tvore pasivni film opasna je pojava koja se javlja na uronjenom materijalu uslijed razlika potencijala (0.5 V), odnosno galvanski članak. Dio materijala koji ima nižu koncentraciju kisika ponaša se kao anoda i na tom dijelu se razvijaju korozivski procesi. Razlike u koncentraciji kisika u morskoj vodi nisu dovoljne za početak takvog procesa. On može započeti ukoliko se dijelovima materijala spriječi pristup kisika na primjer pri mjestimičnom obraštanju morskim organizmima.

#### **2.1.2.4. Utjecaj pH vrijednosti**

Vrijednosti pH morske vode kreću se od 7.5 do 8.3 [5]. Kod većine konstrukcijskih materijala ta razlika nema značajan utjecaj na koroziju. Izuzetak su aluminijske legure. Kod tih legura razlike u pH vrijednosti od 8.2 na površini do 7.5 na dubini izazivaju izrazito ubrzanje nastajanja točkaste korozije i korozije u procjepu.

#### **2.1.2.5. Onečišćenje**

Efekti onečišćenja mogu imati značajan utjecaj na brzinu korozije u lokalnim uvjetima. Onečišćenje organskim materijalom utječe na smanjenje kisika otopljenog u vodi. Kisik se troši u procesima raspadanja organskog materijala, pri čemu se stvara ugljični dioksid, a voda time postaje kiseliya. Onečišćenje teškim metalima također može značajno utjecati na brzinu korozije. Primjer takvog djelovanja je onečišćenje morske vode bakrom koji se otapa iz boja na bazi bakra koje se koriste radi sprečavanja obraštanja. Takvo onečišćenje na aluminijskim legurama izaziva ubrzano stvaranje točkaste korozije.

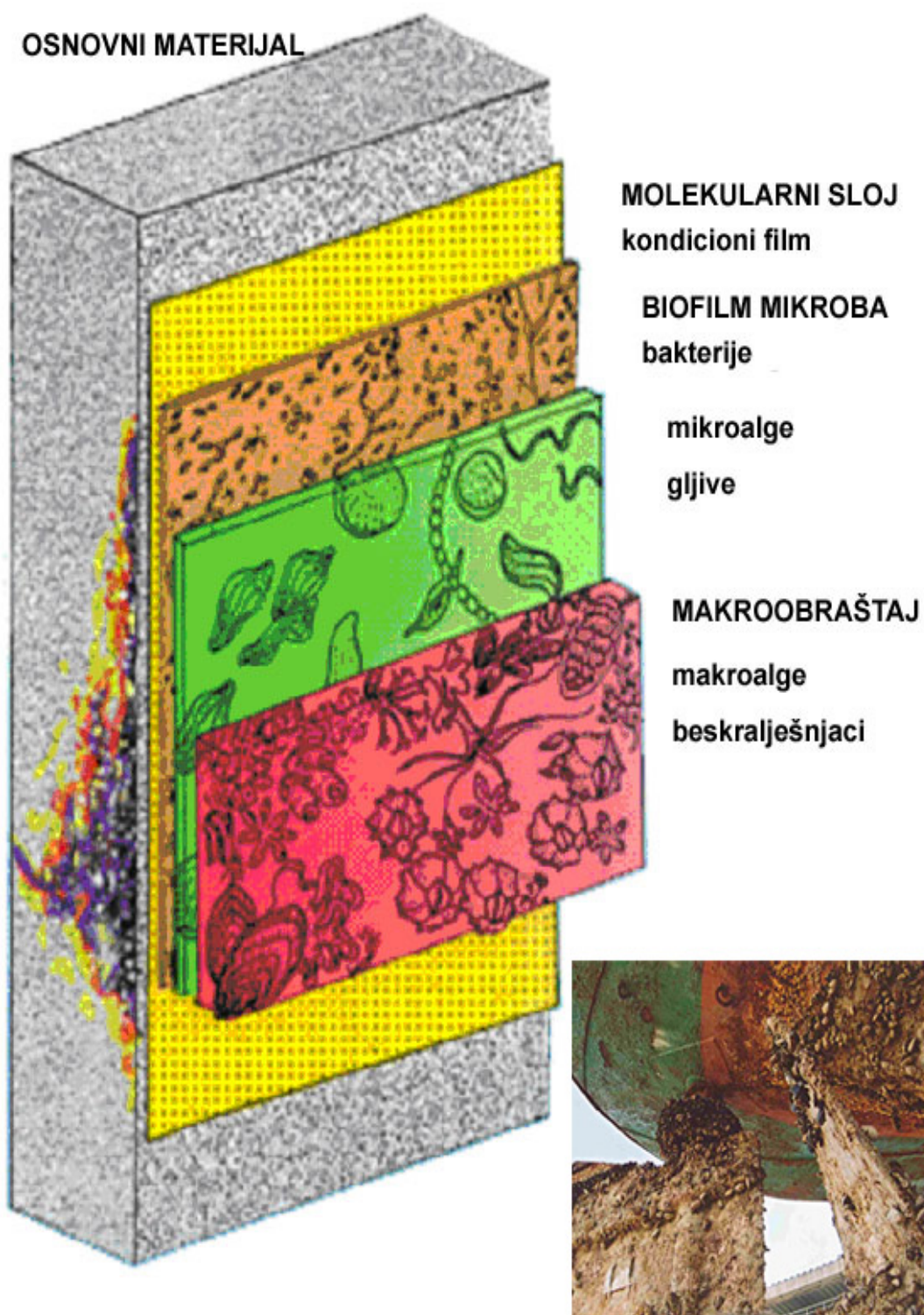
#### **2.1.2.6. Obraštanje biljnim i životinjskim kolonijama**

Morska voda je biološki aktivan medij koji sadrži veliki broj mikro i makro organizama. Mnogi od tih organizama na uronjenim konstrukcijama počinju stvarati svoje kolonije. Proces počinje odmah nakon uronjavanja apsorpcijom neživih tvari. Nakon toga stvara se sloj bakterija i algi. U daljnjem procesu dolazi do kolonizacije makroskopskih biljaka i životinja. Ovisno o vrsti i veličini tih kolonija različiti su utjecaji na koroziju. Sloj mikroorganizama je bakterijski film koji utječe na korozivske procese

tako što utječe na kemijski sastav elektrolita na granici metala i vode. Bakterije tijekom biokemijskih reakcija stvaraju nusprodukte, organske kiseline, sluz (polimer), te mogu biti izvor ili ponor kisika ili vodika. Makroorganizmi sa stajališta korozijskih procesa djeluju slično kao i mikroorganizmi. Pored toga, svojim rastom mogu značajno otežati konstrukciju, utjecati na hidrodinamička svojstva, na dijelove koji se pokreću, i slično. Obraštanje je posebno nepovoljno ukoliko je mjestimično. Na tim dijelovima ispod obraštanja može doći do smanjenja koncentracije kisika. Razlika u koncentraciji kisika ispod obraštaja i na slobodnom metalu može dovesti do stvaranja galvanskog članka. Mjesta ispod obraštaja ponašaju se, zbog manje koncentracije kisika, kao anode, te na tim mjestima može nastati točkasta korozija i korozija u procjepu.



**Slika 11.** Primjeri obraslih brodova [7]



Slika 12. Faze razvoja obraštaja [8]

## 2.2. Ekonomsko značenje korozije

Korozija smanjuje masu i upotrebnu vrijednost materijala u obliku sirovine, poluproizvoda i proizvoda. Ona skraćuje vijek trajanja industrijske i druge opreme te različitih proizvoda, poskupljuje održavanje, uzrokuje zastoje u radu, havarije i nesreće, smanjuje proizvodne kapacitete korodirane i s njom povezane opreme, pogoršava kvalitetu proizvoda itd. Budući da su svi materijali u određenim okolnostima podložni koroziji, uslijed korozije nastaju znatni gubici. Zbog korozije postaju neupotrebljive mnogo veće količine metala od onih koje su korodirale, i to u obliku gotovih konstrukcija, a te su zbog uložene energije i radnog vremena često mnogo skuplje od materijala [9].

Studija "Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States" koja je provedena između 1999. i 2001. u SAD-u, a bavi se analizom troškova od korozije, dovela je do zapanjujućih podataka. Prema toj studiji u SAD –u se godišnje potroši 276 milijardi \$ ( što iznosi otprilike 3.1% godišnjeg BDP-a) na prevenciju od korozije, direktne štete od korozije i popravke, te indirektno štete od korozije.

Što se brodogradnje tiče, npr. u SAD-u troškovi brodograđevne industrije iznose preko 2.7 milijardi USD. 1.1 milijardi se odnosi na novogradnju (prevencija korozije), 0.8 milijardi na održavanje i popravke (direktno štete uslijed korozije) te dodatnih 0.8 milijardi na izgubljene vozarine uslijed šteta od korozije (indirektno štete od korozije). Ove podatke valja uzeti s rezervom jer većina brodova ne plovi pod američkom zastavom [2].

Iz navedenih procjena očito proizlazi da je korozija jedan od važnih faktora svjetske krize materijala i energije.



### 3. METODE ZAŠTITE OD KOROZIJE U BRODOGRADNJI

Konstruktivni materijali u obliku bilo kakvih tvorevina podložni su nenamjernim štetnim promjenama, tj. pojavama i procesima koji smanjuju njegovu uporabnu vrijednost. Mnoge od tih pojava i procesa zbivaju se pri dodiru konstrukcijskog materijala s nekim fluidnim medijem (sredinom, okolinom), tj. s plinom ili kapljevinom. Najrašireniji je štetni proces ove vrste korozija koja kemijskim međudjelovanjem materijala i medija razara materijal pretvarajući ga u drugu tvar, pri čemu se najčešće nepoželjno mijenja i sastav medija [1]. Takvo oštećivanje konstrukcijskih materijala nastoji se usporiti ili spriječiti postupcima zaštite materijala. Korozija se sprečava na pet principijelno različita načina, a svih pet se koristi i u brodogradnji. To su:

1. zaštita prevlačenjem,
2. katodna zaštita,
3. zaštita inhibitorima korozije,
4. primjena korozijski postojanih materijala,
5. konstrukcijsko - tehnološke mjere.

#### 3.1. Zaštita prevlačenjem

Primjena zaštitnih premaza je vjerojatno jedna od najstarijih i najuniverzalnijih metoda zaštite od korozije. Karakteristike ove metode su jednostavnost primjene, brzina primjene i relativno niska cijena. Nedostatna zaštita se lako uočava i zaštita se može lako obnoviti. U brodogradnji se najčešće koriste zaštitni premazi iz grupe organskih prevlaka, dok je udio svih ostalih tipova prevlaka bitno manji. Ovisno o dijelu konstrukcije koji se štiti premazi imaju i druge namjene osim zaštitne [1].

##### 3.1.1. Priprema podloge za prevlačenje

Korektno izvođenje tehnoloških operacija od iznimne je važnosti u tehnologiji nanošenja premaza. Priprema podloge provodi se u cilju čišćenja i kondicioniranja površine konstrukcijskog materijala, kako bi se postiglo što čvršće prianjanje prevlake. Za kvalitetnu predobradu podloge redovito je potrebno nekoliko operacija.

Njihov izbor i redosljed ovise o vrsti osnovnog materijala, o prethodnom stanju njegove površine i stanju koje treba postići. U brodogradnji se koristi isključivo mehanička priprema.

Primarna priprema površine se izvodi odmah nakon izlaska iz skladišta, kako bi se omogućilo kvalitetno nanošenje temeljnog radioničkog premaza tj. *shopprimer*. Lim na skladištu je nezaštićen pa korodira pod utjecajem okoline, a na njemu se nakuplja i prašina. Prašina je nepovoljna jer može prouzrokovati odvajanje boje od podloge. Ako je skladište u blizini mora, lim dolazi u doticaj sa slanom atmosferom gdje sol uzrokuje nastajanje mjehurića i smanjenu adheziju. Adekvatna priprema podrazumijeva otklanjanje okujine (produkt valjanja čelika), svih nečistoća i postizanje ravnomjerne hrapavosti. Postupak čišćenja se redovito vrši mlazom abrazivnog sredstva. Cijela operacija predobrade odvija se automatizirano, a zbog sprečavanja korozije, odmah nakon sačmarenja nanosi se *shopprimer*.



**Slika 13.** Mehanička priprema površine [7]

Sekundarna priprema površine je priprema oštećenih ili propalih dijelova površine, koji su ranije bili zaštićeni *shopprimerom*. Sekundarna priprema površine ima za cilj i uklanjanje različitih onečišćenja s površine, nehomogenosti nastale zavarivanjem, postizanje određenog stupnja i oblika hrapavosti te otprašivanje. Redosljed operacija sekundarne pripreme površine je: uklanjanje soli, odmaščivanje, mehanička priprema površine, otprašivanje, odmaščivanje [1].

### 3.1.2. Komponente premaza

Iako danas postoje stotine različitih tipova premaza, svi imaju zajedničko svojstvo da se redovito nanose u tekućem stanju, te da tvore neprekinute filmove na površini. Nekoliko je komponenti koje svaka boja mora posjedovati. Sva premazna sredstva sadrže vezivo, koje čini opnu prevlake, i razrjeđivač, koji obično otapa vezivo, a regulira viskoznost. Osim tog premazna sredstva mogu sadržavati netopljive praškove (pigmente i punila) koji daju nijansu i čine premaze neprozirnim, kao i različite dodatke (aditive) [1].

Vezivno sredstvo stvara neprekinuti film na premaznoj površini. Kao veziva za boje i lakove služe mnoge neisparljive organske tvari u obliku viskoznih kapljevina ili smola. U određenom premaznom sredstvu često se kombiniraju različita veziva, kako bi se postigla željena svojstva premaza. Važna su veziva na osnovi sušivih masnih ulja, poliplasta, derivata celuloze, prirodnih smola, prirodnog ili sintetičkog kaučuka i bituminoznih tvari [1].

Kao razrjeđivači i otapala za boje i lakove najčešće služe smjese organskih kapljevina, prilagođene vezivu premaza. Redovito se radi o niskoviskoznim i lako hlapivim smjesama. Iako je u osnovi riječ o istim smjesama, uloga razrjeđivača je prvenstveno smanjivanje viskoznosti, a istovremeno služe i kao otapalo za veziva. Dio razrjeđivača odnosno otapala dodaje se u boje i lakove pri proizvodnji, a ostatak neposredno prije nanošenja, što može biti i nepotrebno, ako je već proizvođač prilagodio viskoznost tehnologiji ličenja (najčešće premazivanju četkama). Zbog izražene eksplozivnosti i toksičnosti nastoji se danas sve više hlapive organske tvari zamijeniti vodom kao otapalom i disperznim sredstvom [1].

Kao pigmenti i punila za boje i lakove služe anorganski oksidi, hidroksidi i soli, metalni elementi, ugljik i neki organski spojevi u obliku netopljivih čestica koje su obično već u proizvodnji raspršene u premaznom sredstvu, čime se postiže neprozirnost i obojenje naličja, a redovito se poboljšava i njihovo zaštitno djelovanje, otpornost na svjetlo i grijanje te mehanička svojstva.

Pigmenti mogu biti dekorativni, antikorozijski i dekorativno-antikorozijski. S obzirom na antikorozivnu ulogu postoje aktivni (temeljni premaz) i inertni (u svim premazima) zaštitni premazi. Aktivnost se temelji na inhibiciji korozije, na katodnoj zaštiti metalne podloge, te neutralizaciji kiselih tvari iz okoline. Inhibitorski pigmenti koče ionizaciju metala. Najznačajniji su pigmenti s Pb-spojevima i kromatni pigmenti,

ali im je veliki nedostatak da su štetni za zdravlje. Od inertnih pigmenata glavni su listićavi (povećava put napredovanja korozijskog razaranja) pigmenti Al, Fe-tinjac i grafit.

Punila su jeftini bijeli ili svjetlosivi pigmenti sa slabom moći pokrivanja, što znači da tek uz velike udjele daju neprozirnost premaza. Redovito pojeftinjuju premazna sredstva, a često i poboljšavaju neka svojstva. Kao punila koriste se prirodne ili umjetne anorganske tvari.

Valja istaknuti da pigmenti i punila moraju biti kompatibilni međusobno, a isto tako i s vezivima premaznih sredstava i s podlogama na koje se nanose, što znači da se moraju lako miješati s vezivima i da ne smiju izazvati štete kemijske reakcije ni prije ni poslije prevlačenja [1].

Aditivi se dodaju premazima u malim udjelima (maseni udio do 5 %), a najvažniji među njima su katalizatori oksidativne polimerizacije, omekšivači, organski inhibitori korozije (soli organskih baza ili kiselina), u vezivu topiva organska bojila, fungicidi, stabilizatori [1].

### 3.1.3. Tehnike nanošenja zaštitnih premaza

Dobar rezultat procesa bojenja ovisi o pomnom planiranju svih aktivnosti, odgovarajućim radnim uvjetima, povoljnim mikroklimatskim uvjetima, ispravnom odabiru metode te vještini radnika.

Pravilan izbor metode bojenja itekako utječe na cjelokupnu zaštitu površina, kako s obzirom na brzinu zaštićivanja, tako i s obzirom na kvalitetu izvedene operacije. U brodogradnji se najčešće koriste slijedeće metode [1]:

- bojenje četkom (kistom)

Pri aplikaciji kistom s površine se odstranjuje prašina i do neke mjere čak i vlaga, što čini ovu metodu vrlo pogodnu za nanašanje prvog sloja *primera*. Ova metoda je dobra za grube i rupičaste površine kad je izvršena pravilno. Nedostaci ove metode su sporst, veliki broj potrebnih radnih sati i sporo sušenje, ukoliko želimo održavati željenu tečnost premaza. Pojava tragova od kista, što lokalno daje neravnomjerne debljine boje i neestetski vizualni dojam smatra se još jednim nedostatkom ove metode. Bojenje kistom koristi se prvenstveno za *stripe coating*, a

često i za zaštitu manjih površina na mjestima gdje je otežana ventilacija, odnosno prskanje neizvedivo (interijer), na mjestima kao što su spojevi, prijelazi i zavari [10].

- ličenje valjcima

Postiže se glađi i ravnomjerniji sloj, ali je pokrivenost premaza dosta slaba (pojava rupica). Gubici su relativno mali, a obično se ne koristi razrjeđivač. U brodogradnji se rijetko koristi.



**Slika 14.** Nanošenje premaza valjkom [7]

- zračno prskanje

Prskanje se obavlja stlačenim (komprimiranim zrakom) na sobnoj ili povišenoj temperaturi s pomoću pištolja u koji se uvodi zrak pod tlakom 0.12 do 0.5 MPa i premazno sredstvo koje se zrakom raspršuje. Premazno sredstvo se zrakom raspršuje u vidu sitnih kapljica, a usis se iz spremnika vrši tlačno ili gravitacijski. Viskoznost se smanjuje dodatkom razrjeđivača, što donosi i niz nedostataka (dulje sušenje, tanji i porozniji sloj, zagađenje, eksplozivnost). Glavna prednost zračnog prskanja je je visoka produktivnost te ravnomjerna debljina i estetski dojam prevlake. Nedostaci su značajni gubici boje koji se pojavljuju zbog *overspraya*.

- bezračno prskanje

Kod tzv. *airless* postupka mlaz premaznog sredstva nastaje u pištolju bez miješanja sa zrakom. To je metoda koja je u brodogradnji najzastupljenija jer omogućuje brzu primjenu boje na širokim površinama (vrlo visok učinak i mogućnost nanošenja debljih slojeva, dobra penetracija – što je posebno važno pri nanošenju temeljnog premaza).



**Slika 15.** Nanošenje premaza bezračnim prskanjem [7]

- elektrostatičko prskanje

Kod elektrostatičkog prskanja boja se visokonaponskim generatorom prije aplikacije električno nabije (pozitivno), a objekt na koji će boja biti aplicirana uzemljeni. Time se generira sila privlačenja između boje i objekta, što rezultira optimalnom aplikacijom boje s minimalnim gubicima. Postupak se izvodi u zatvorenim prostorima, moguće ga je automatizirati, a najveće prednosti pokazuje pri bojanju duguljastih predmeta poput cijevi i profila.

### **3.2. Katodna zaštita**

Katodna zaštita, uz zaštitu premazima je najčešća metoda zaštite od korozije u brodogradnji. Najbolje rezultate daje u kombinaciji sa sustavima premaza, gdje zaštitni sloj prevlake odvaja materijal od okoline, a katodna zaštita mijenja vanjske

činitelje oštećivanja smanjenjem pokretne sile oštećivanja. Katodna zaštita se definira kao smanjenje ili uklanjanje korozije metalnih konstrukcija, a postiže se tako, da se konstrukcija učini električki negativnom u odnosu na korozivni medij, tj. da ona postane katoda. Druga elektroda u strujnom krugu postaje električki pozitivna i predstavlja protuelektrodu, tj. anodu. Postoje dvije tehnike katodne zaštite [6]:

- katodna zaštita s galvanskom (žrtvovanom) anodom
- katodna zaštita s vanjskim izvorom struje

Dva su koncepta u primjeni katodne zaštite brodova. Jedan pristup je nivo katodne zaštite koji sprečava koroziju tako da se ne stanjuje stjenka broda i da se sprečava rupičasta korozija. Drugi, mnogo važniji pristup je nivo katodne zaštite koji održava glatkoću oplata broda. Stjenka svježeg obojenog broda je glatka i pruža mali otpor kretanju broda [11].

### **Katodna zaštita s galvanskom (žrtvovanom) anodom**

Konstrukcija se spaja u galvanski članak sa elektrodom od materijala elektronegativnijeg nego što je materijal konstrukcije. Anoda se počinje otapati, a na konstrukciji se uspostavlja elektrodni potencijal pri kojem se odvija katodna reakcija. Važno je da metal bude manje plemenit, te da nije nosivi dio konstrukcije. Anode moraju imati dug radni vijek i visoki kapacitet (u amper satima po jedinici težine). Struja koja nastaje žrtvovanim anodama mora biti kontaktna i ne smije se smanjivati taloženjem proizvoda korozije na površini anode. Trošenje anoda mora biti jednoliko. U brodogradnji su to tri metala: cink, magnezij i aluminij [12].

Brod može biti katodno zaštićen djelomično ili potpuno. Djelomično se zaštićuje samo krma jer je najugroženija radi jakog strujanja i radi tvorbe korozijskih kontaktnih članaka sa sidrom, propelerom i kormilom. Djelomična zaštita se katkada postavlja na prednji dio broda jer je izložen jakom strujanju. Potpuna zaštita broda primjenjuje se za zaštitu svih mjesta oštećenja premaza na brodu.

Anode su obično dimenzioniran tako da pružaju zaštitu za vrijeme između dva suha dokovanja. To je obično period od dvije godine i u tom ciklusu se vrši zamjena anoda, bez obzira jesu li potrošene ili ne.

Za pogodnu raspodjelu zaštitne struje potrebno je anode jednoliko rasporediti po zaštićenoj površini. Anode se postavljaju na bočnom upuštenom dijelu da se izbjegne oštećenje pri pristajanju broda uz obalu, na pramcu se postavljaju koso da

slijede tok strujanja, ali treba paziti da ih ne ošteti lanac sidra. Pri rasporedu anoda treba paziti da propeler ne bude u području vrtloga koji uzrokuju anode. Na brodsko kormilo anode se postavljaju s obje strane [6].



**Slika 16.** Katodna zaštita broda žrtvovanim anodama [3,7]

### Katodna zaštita s vanjskim izvorom struje

Kod sustava katodne zaštite narinutom strujom koji se koristi kod brodova većih od 40 metara, brzih patrolnih brodova, posebno aluminijških brodova, iz vanjskog izvora stvara se tok zaštitne struje koja štiti mjesta na brodskom trupu koja su u kontaktu s morskom vodom, gdje se u tom slučaju odvija katodna reakcija koja štiti čelik od korozije. Brodski trup najčešće je spojen preko pojačala na minus pol izvora struje, dok su na plus pol spojene anode koje se zbog mogućih oštećenja ugrađuju u oplatu broda. Anode se uglavnom izrađuju od plemenitih - postojanih materijala

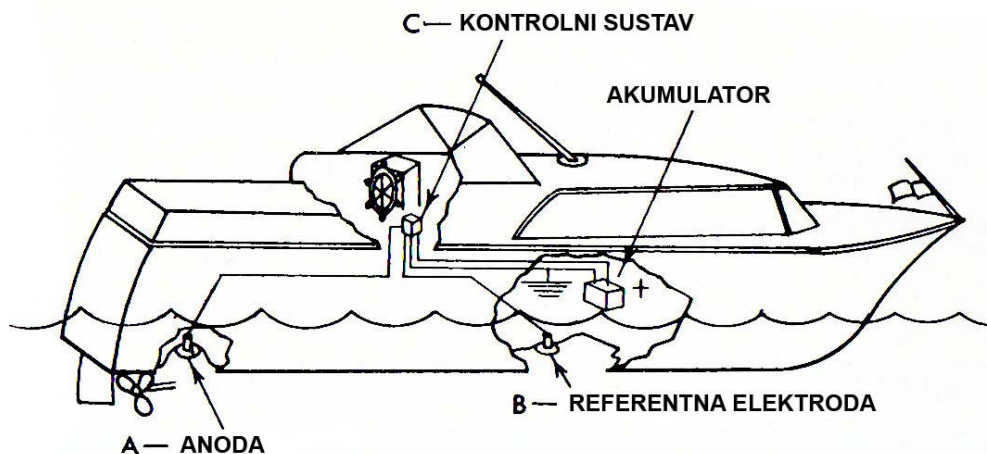


(platina, vodljivi poliplasti, smjesa metalnih oksida i dr.). Područje broskog trupa oko postavljenih anoda treba biti zaštićeno posebnim premazima. Struja i napon katodne zaštite mijenjaju se u ovisnosti o veličini broda, udjelu oštećene površine dijela broda, brzini broda, salinitetu morske vode, broju i položaju anoda [13].

Prednosti ovog sustava zaštite su: minimalni zahtjevi za održavanjem, visoka pouzdanost i mogućnost kontinuirane regulacije parametara zaštite. Početni visoki troškovi ove zaštite u odnosu na zaštitu žrtvovanim anodama vraćaju se za oko šest godina.

Nedostaci su: početni visoki troškovi, mogućnost pogrešnog spajanja sustava što uzrokuje brzo i intenzivno korozijsko oštećivanje broskog trupa, a prejak struja zaštite može oštetiti zaštitne premaze.

U brodogradnji se katodno zaštićuju svi dijelovi broda koji su u dodiru s morem (trup, balastni spremnici). Za zaštitu golog čelika u moru treba oko  $140 \text{ mA/m}^2$ , a za obojeni čelik  $10 - 15 \text{ mA/m}^2$ . Zbog toga se katodna zaštita redovito koristi u kombinaciji sa zaštitnim premazima [1].



**Slika 17.** Katodna zaštita s vanjskim izvorom struje [3]

### 3.3. Zaštita inhibitorima korozije

Inhibitori korozije se definiraju kao tvari anorganskog ili organskog podrijetla koje u vrlo malim koncentracijama smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti. Prema načinu djelovanja inhibitore dijelimo na anodne, katodne i miješane, prema tome koče li ionizaciju metala (anodnu reakciju), depolarizaciju

(katodnu reakciju) ili oba ta procesa. Posebnu skupinu tvore hlapljivi inhibitori korozije (VCI) koji štite metale od atmosferske korozije.

**Anodni inhibitori** sprječavaju ionizaciju metala. Najvažniji su anodni inhibitori pasivatori, tj. topljive soli oksidativnih aniona, kakvi su kromati,  $\text{CrO}_4^{2-}$ , nitriti,  $\text{NO}_2^-$ , molibdati,  $\text{MoO}_4^{2-}$ , volframati,  $\text{WO}_4^{2-}$  i vanadati,  $\text{VO}_3^-$  koji u otopinama s pH 5-9 prevode Fe, Ni, Co i njihove legure u pasivno stanje (snažno kočenje procesa korozije = spora korozija). Takvi se inhibitori često nazivaju «opasnima» jer uz nedovoljnu koncentraciju ne pasiviraju čitavu metalnu površinu, osjetno smanjujući anodnu i povećavajući katodnu ploštinu, što izaziva jamičastu koroziju. Osim pasivatora, među anodne inhibitore ubrajaju se i tzv. taložni inhibitori koji s ionima konstrukcijskog metala, nastalima na lokalnim anodama, daju slojeve netopljivih korozijskih produkata. Među tim se inhibitorima ističe vodeno staklo (Na-silikat) koje na anodama tvori sloj silikagela i metalnog silikata.

**Katodni inhibitori** izravno koče katodnu reakciju (redukciju vodika ili kisika) ili djeluju kao taložni inhibitori, tvoreći na lokalnim katodama netopljive produkte. Pri dekapiranju i kiselinskom čišćenju postrojenja i uređaja često se rabe inhibitori koji povećavaju prenapon redukcije  $\text{H}^+$  i izlučivanja vodika (npr., spojevi As, Sb, Sn, Bi, itd.). U slabo kiselim, neutralnim i lužnatim otopinama u kojima je katodna reakcija korozijskog procesa redukcija kisika apsorbiranog iz zraka (redukcija kisika), koriste se katodni taložni inhibitori. Takvo djelovanje imaju cinkove i kalcijeve soli. Za razliku od anodnih, katodni inhibitori dodani u bilo kojoj količini smanjuju brzinu korozije i nisu opasni.

**Mješoviti inhibitori** imaju dvostruko djelovanje, i anodno i katodno (usporavaju anodnu i katodnu reakciju). To su najčešće organski spojevi koji se adsorbiraju na metalnu površinu, tvoreći spojeve u obliku zaštitnih monomolekulskih filmova, pa se često nazivaju i adsorpcijski inhibitori. Najpoznatiji su želatina, agar-agar, škrob, tanin, K-glukonat. U ovu skupinu inhibitora spadaju i derivati acetilena, soli organskih kiselina, spojevi s dušikom (amini) i njihove soli (nitrati), spojevi sa sumporom, tioalkoholi (merkaptani), sulfidi.

**Hlapivi inhibitori korozije** (VCI, *engl. volatile corrosion inhibitor*) ili inhibitori u parnoj fazi (VPI, *engl. vapor phase inhibitor*) se najčešće koriste za sprječavanje atmosferske korozije metala u zatvorenim prostorima. Mogu se definirati kao kemijska tvar ili kemijske tvari uglavnom organskog podrijetla koje imaju visoki tlak

para i tako mogu spriječiti atmosfersku koroziju metala. Zaštitno djelovanje ovih inhibitora je u usporavanju anodnog ili katodnog procesa adsorpcijom na površini metala.

### **3.4. Primjena korozijski postojanih materijala**

Primjenom korozijski postojanih metala nastoji se smanjiti afinitet za nastajanje korozije. Izbor odgovarajućeg materijala ovisi o nizu faktora, kao što su: mehanička svojstva, očekivani vijek trajanja, estetski izgled, korozijska postojanost i cijena.

U brodogradnji se uz klasične konstrukcijske brodograđevne čelike sve se više koriste i korozijski postojani konstrukcijski materijali. Tu spadaju najrazličitiji nehrđajući čelici, legure aluminija, bakra, nikla i dr. To su konstrukcijski materijali visoke korozijske postojanosti, ali koji u određenim eksploatacijskim uvjetima nerijetko postaju skloni pojavi vrlo opasnih ubrzanih lokalnih korozijskih oštećenja [13].

Kod izrade brodova zavarivanje je neizbježna i nužna tehnologija spajanja. Osnovni problem kod zavarivanja korozijski postojanih materijala je visok unos toplinske energije u osnovni materijal što najčešće nepovoljno utječe na tražena svojstva spoja. Iz navedenih razloga u brodogradnji se ovi materijali koriste uglavnom u izradi brodske opreme [15].

Za podvodni dio broda (brodski vijci, kingstone ventili, ispusti) koriste se bakar, bronca, CuNi legure i korozijski postojani čelici. Brodski vijci se najčešće izrađuju od bakrenih legura, a naročito kvalitetni materijali za brodske vijke su aluminijske bronce legirane s manganom ili niklom. Kod odabira materijala za podvodni dio broda treba voditi računa o elektrokemijskoj koroziji. Ako je razlika potencijala manja od 0.2V, elektrokemijska korozija će se vrlo sporo razvijati, a materijal neće zahtijevati dodatnu zaštitu. Iznad vodne linije uglavnom se koriste nehrđajući čelici i aluminij. Korištenje aluminija u brodogradnji i u ostalim pomorskim primjenama je omogućeno kada su proizvođači aluminija usavršili Al-Mg i Al-Mg-Mn leguru otpornu na koroziju u morskoj sredini dobre zavarljivosti. Aluminijske slitine se koriste u konstrukciji broda za izgradnju nadgrađa i kućica, a kod manjih brodova i za izgradnju trupa. Često se kod pomorskih konstrukcija aluminijske legure u kontaktu s drugim metalima (nehrđajući čelik, bronca i sl.) javlja bimetalna korozija. A najveći problem u primjeni nehrđajućih čelika predstavlja pojava piting-a (lokalna korozija). U brodogradnji se

najčešće koriste za tankove tereta, cjevovode, teretne pumpe, vodene topove za čišćenje tankova i izmjenjivače topline [15,16].



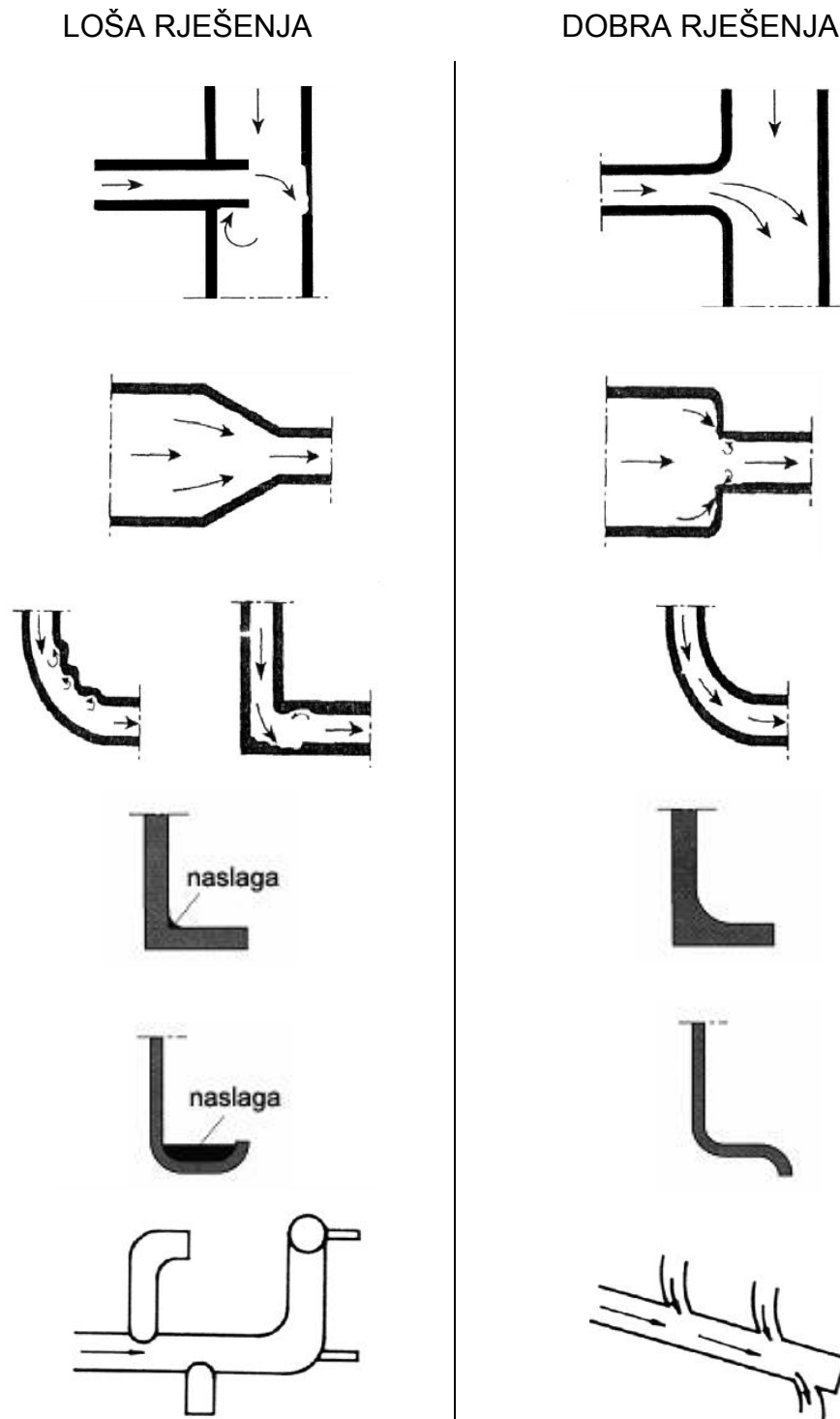
**Slika 18.** Primjena aluminija i Al - slitina u brodogradnji [7]

### 3.5. Konstrukcijsko – tehnološke mjere

Mnoge konstrukcijske i tehnološke mjere mogu znatno usporiti korozijski proces i produžiti vijek trajanja opreme. Te mjere e ne mogu sustavno prikazati jer se ne radi o šablonskom poslu nego o kreativnoj primjeni teorijskih temelja zaštite od korozije. Radi što djelotvornije zaštite proizvoda treba se pridržavati sljedećih smjernica [9]:

- pri izboru konstrukcijskog materijala, odnosno kombinacije takvih materijala, obratiti pozornost na korozijsko ponašanje u predvidivim okolnostima
- pri dimenzioniranju elemenata uzeti u obzir opće i lokalno smanjenje dimenzija zbog korozije u tijeku željenog vijeka trajanja
- pri određivanju oblika i položaja pojedinog elementa, odnosno međusobnog položaja i načina spajanja dvaju ili više elemenata, birati rješenja koja bilo lokalno, bilo posvuda smanjuju afinitet za koroziju, povećavaju otpore njegovu djelovanju ili pak olakšavaju provedbu zaštitnih postupaka

- pri utvrđivanju kvalitete površine predvidjeti što je moguće glađe plohe koje će biti u dodiru s vrlo korozivnim sredinama



Slika 19. Dobra i loša konstrukcijska rješenja [17]

Primjena ovih smjernica mora se uskladiti s funkcionalnim, estetskim i ekonomskim zahtjevima, a isto tako i s mjerama zaštite od drugih vrsta oštećenja.

Osim prethodno iznesenih konstrukcijsko – tehnoloških smjernica potrebno je izbjegavati spajanje metala različitih stupnjeva "plemenitosti" s ciljem izbjegavanja nastanka bimetalne korozije. Isto tako potrebno je voditi računa prilikom zavarivanja ili temeljenja da ne dođe do nastanka pukotina u kojima bi se mogla nakupljati vlaga uzrokujući pojavu korozije u procijepu [10].

Pri određivanju oblika dijelova i njihova položaja, pojedinačno ili međusobno (tj. u sklopovima), treba voditi računa o vrsti medija i o ostalim faktorima korozije te o njihovim promjenama u toku eksploatacije i izvan nje.

Galvanska korozija u elektrolitima koči se i izolacijskim umecima između metalnih dijelova različite plemenitosti, a na sličan se način prekidom strujnog kruga sprečava štetno djelovanje lutajućih struja na podzemne cjevovode i kabele. Galvanska se korozija koči i premazima, pri čemu treba obojiti i plemenitiji metal kako ne i došlo do pitinga neplemenitijeg metala u porama premaza.

## 4. ZAŠTITA INHIBITORIMA KOROZIJE

Često se u izvedbama konstrukcija, nalaze dijelovi konstrukcije koji su teško pristupačni ili čak potpuno nepristupačni za kvalitetnu i dugotrajnu zaštitu od korozije. Tada, jedno od mogućih tehničkih rješenja predstavlja primjena inhibitora korozije. Inhibitori se koriste za kočenje korozije metala u elektrolitima i vlažnim plinovima, a katkad i u ugljikovodičnim kapljevina (npr. u mazivima). Pravilan izbor inhibitora je značajan zadatak. Pri tom odabiru treba voditi računa o metalu koji se štiti kao i sredini i uvjetima u kojima se on nalazi. U znanstvenoj i tehničkoj literaturi o koroziji metala nalaze se opisi brojnih kemijskih spojeva koji imaju inhibitorska svojstva od kojih je vrlo mali broj stvarno upotrijebljen u praktičnim sustavima. To proizlazi iz činjenice da se u praksi u poželjna svojstva nekog inhibitora ubrajaju i ona izvan jednostavne zaštite metala pa su za njihovu primjenu od velike značajnosti cijena, raspoloživost, toksičnost i drugi čimbenici.

### 4.1. Klasifikacija inhibitora

Postoje razne metode klasifikacije inhibitora, ali niti jedna od njih nije cjelovita jer se uzajamno ne isključuju i jer uvijek nema generalne suglasnosti u svezi svrstavanja inhibitora u pojedine grupe. Neke od glavnih klasifikacija su [18]:

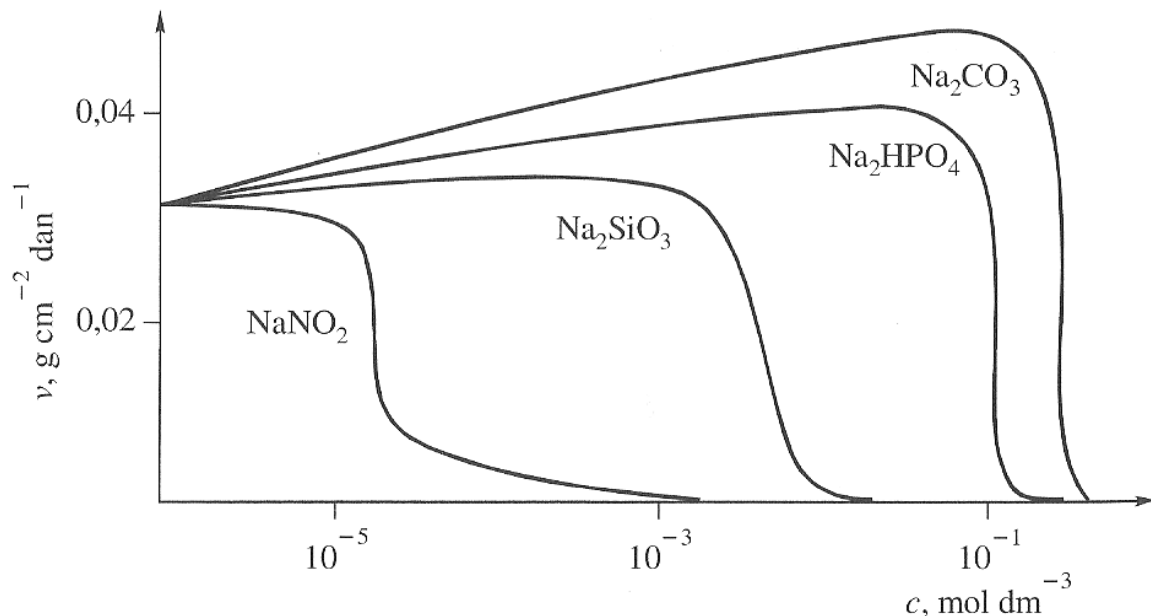
- Podjela inhibitora prema sastavu i svojstvima – mogu se svrstati u više kategorija i to: organske i anorganske, alkalne i neutralne, hlapljive i nehlapljive, oksidirajuće i neoksidirajuće i dr.
- Podjela inhibitora prema sigurnosti – mogu biti sigurni i opasni. Ova klasifikacija se odnosi na vrstu korozije koja će nastupiti kada koncentracija inhibitora padne ispod minimalne vrijednosti. Sigurni inhibitor omogućiti će nastavak jednolikog tipa korozije s brzinom ne većom od one u neinhibiranom sustavu, dok će opasni inhibitor omogućiti pojačanu koroziju, lokaliziranu i u mnogim slučajevima gorom nego u odsutnosti inhibitora

- Podjela inhibitora prema mehanizmu djelovanja – mogu biti anodni (koče anodnu reakciju), katodni (koče katodnu reakciju), mješoviti (koče i anodni i katodni proces). S tehničkog pogleda ovo je najzanimljivija podjela.

#### 4.1.1. Anodni inhibitori

Anodni inhibitori stvaraju na anodnim mjestima filmove oksida ili slabo topljivih soli i tako čine barijeru koja izolira temeljni metal. Stvoreni filmovi su toliko tanki da se ne vide okom. Funkcija anodnih inhibitora je i održavanje, obnavljanje ili pojačanje prirodnog oksidnog filma koji se već nalazi na metalima i legurama.

Kod anodnih inhibitora treba naročito voditi računa o njihovoj koncentraciji, jer pri određenoj nižoj koncentraciji stimuliraju neke oblike korozije pa su stoga klasificirani kao "opasni" inhibitori. Na sl. 20. je prikazana ovisnost djelovanja različitih anodnih inhibitora na koroziju željeza o koncentraciji prisutnog inhibitora. Dodatak karbonata, fosfata i silikata povećava brzinu korozije pri koncentracijama nižim od one koja je potrebna za kompletnu inhibiciju.



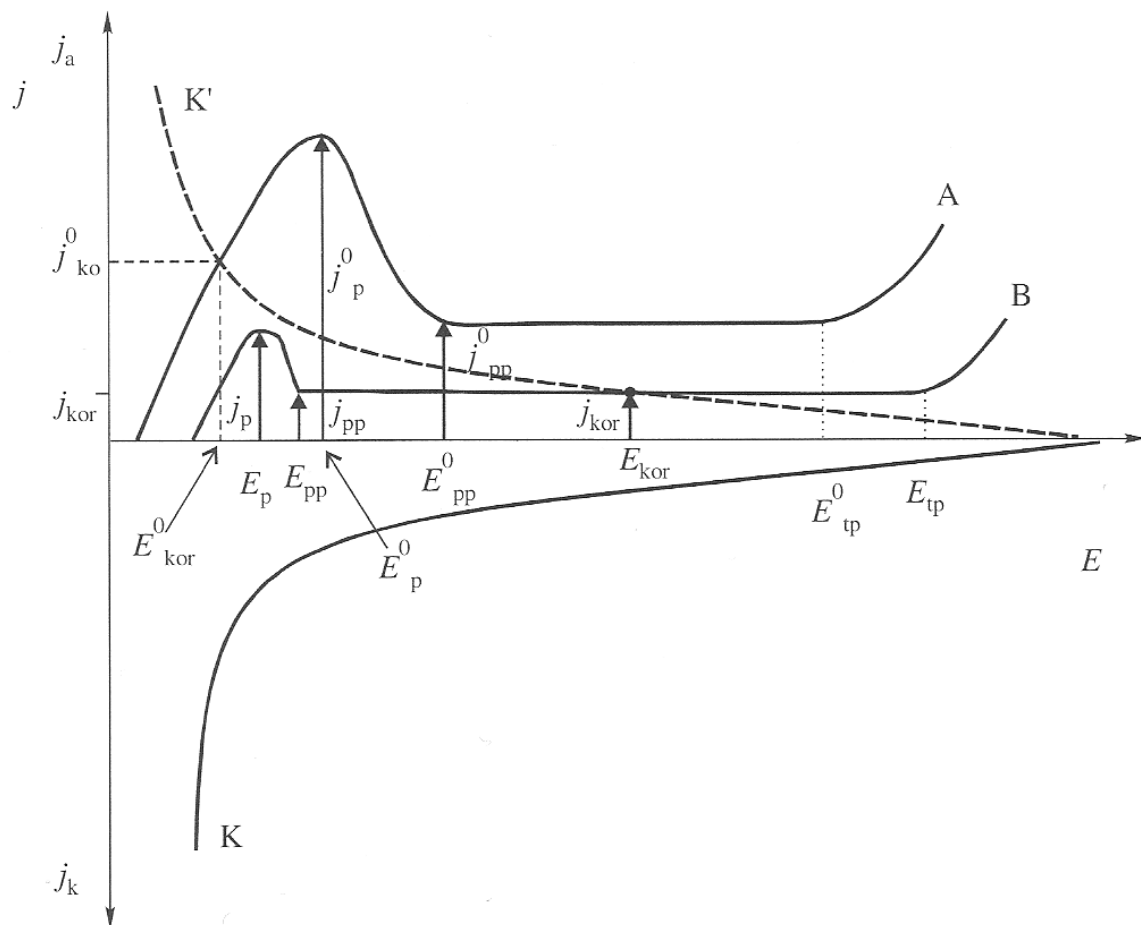
**Slika 20.** Ovisnost djelovanja raznih anodnih inhibitora korozije željeza o koncentraciji [18]



Osim intenziteta korozije u sustavu u koji je dodan anodni inhibitor u nedovoljnoj koncentraciji mijenja se i raspodjela korozije. Opća korozija prelazi u lokalnu koroziju (*pitting*). Međutim, to nije svojstvo svih anodnih inhibitora. Na primjer natrijev benzoat je anodni inhibitor sposoban da djelomično inhibira koroziju, a da pri tome raspodjela korozije ostane efektivno nepromijenjena, dakle, ne postaje "opasan" ukoliko je prisutan u premaloj koncentraciji.

Anodni inhibitori smanjuju brzinu korozije zbog smanjenja brzine prijelaza metalnih iona u otopinu ili zbog smanjenja anodne površine stvaranjem netopljivih zaštitnih filmova.

Na sl. 21. prikazana je anodna krivulja (A) sustava koji se teško pasivira. Dodatkom anodnog inhibitora (krivulja B) smanjuju se anodne struje i pomiču se potencijali. Budući da je dodan anodni inhibitor katodna krivulja (K) ostaje nepromijenjena, a preslikana je crtkanom linijom u prvom kvadrantu ( $K'$ ).



**Slika 21.** Utjecaj anodnog inhibitora na anodnu polarizaciju metala [18]

Anodni inhibitori povećavaju sklonost metala pasiviranju. U njihovoj se prisutnosti smanjuju kritična gustoća struje pasiviranja ( $j_p$ ) i gustoća struje otapanja metala u pasivnom stanju ( $j_{pp}$ ). Potencijali početka pasiviranja ( $E_p$ ) i kraja pasiviranja ( $E_{pp}$ ) pomiču se prema negativnijim vrijednostima dok potencijal transpasivnog stanja ( $E_{tp}$ ) postaje pozitivniji. Bez obzira na to što ne utječu na katodni proces, ovi inhibitori prevode metal iz aktivnog stanja otapanja (gustoća struje korozije  $j_{kor}^o$ ) u pasivno područje ( $j_{kor}$ ). Prvi neophodan uvjet za smanjenje brzine korozije metala uvođenjem anodnog inhibitora u otopinu je pozitivniji korozijski potencijal ( $E_{kor}$ ) od potencijala potpunog pasiviranja ( $E_{pp}$ ), a negativniji od potencijala transpasivnog stanja ( $E_{tp}$ ).

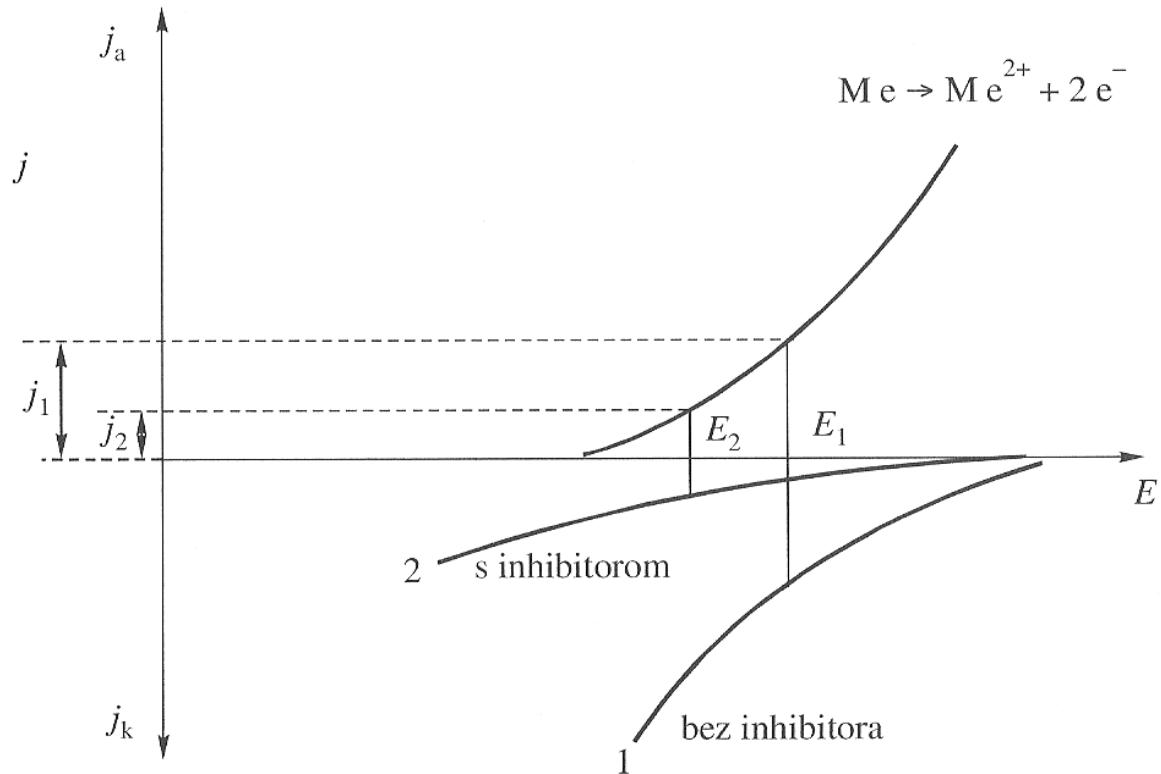
Ovisnost brzine korozije o koncentraciji inhibitora u otopini ukazuje da se zaštita metala od korozije pri uporabi inhibitora može ostvariti samo pri onim koncentracijama inhibitora pri kojima je korozijski potencijal u području pasivnog stanja.

Sama činjenica da mnogi anorganski spojevi s kisikom pomažu nastajanje oksidnog filma, a neki su od njih djelotvorni samo u prisutnosti kisika u otopini, sugerira povezanost djelotvornosti anodnih inhibitora s oksidirajućim svojstvima spoja. Međutim, to nije uvijek slučaj. Dok su kromati i nitriti vrlo dobri inhibitori korozije željeza, nitrati su manje djelotvorni, a sulfati, klorati i permanganati, na primjer, imaju zanemarivo malu inhibitorsku aktivnost. Uz to, kromati i nitriti djeluju inhibirajuće i u odsutnosti kisika, dok su spojevi kao bezoati, borati, karbonati i silikati (koji sadrže kisik) djelotvorni samo u prisutnosti otopljenog kisika.

Sastav korozivne sredine također utječe na djelotvornost anodnog inhibitora. Prisutnost halogenih iona (klorida) i vodikovih iona otežava prijelaz metala u pasivno stanje. Povećanjem agresivnosti sredine povećava se gustoća struje pasiviranja, pa je potrebna veća koncentracija anodnog inhibitora, a u nekim slučajevima nije moguće prevesti metal u pasivno stanje.

#### 4.1.2. Katodni inhibitori

Smanjenje brzine korozije metala primjenom katodnih inhibitora zasniva se na jednom od dvaju načina; usporenju katodne reakcije korozijskog procesa ili smanjenju površine katodnih dijelova metala. Katodni inhibitori koče katodni proces na način da djeluju ili na reakciju izdvajanja vodika ili na reakciju redukcije kisika.



**Slika 22.** Djelovanje katodnih inhibitora na korozijski sustav [18]

U prisustvu katodnog inhibitora metal korodira uz razvijanje vodika s gustoćom struje  $j_2$  koja je manja od  $j_1$ . Međutim, postoji opasnost u primjeni ove metode zaštite od korozije jer adsorbirani vodikov atom koji je spriječen da se oslobodi kao plin, može difundirati u metalnu rešetku što povećava osjetljivost na pucanje (po granicama kristalita) tzv. vodikovu bolest ili vodikovu krhkost.



**Slika 23.** Vodikova bolest [19]

Katodni inhibitori uglavnom stvaraju vidljive filmove slične gelu koji su deblji od filmova anodnih inhibitora. U usporedbi s anodnim inhibitorima, katodni inhibitori su znatno manje djelotvorni u ekvivalentnim koncentracijama. Na primjer, katodni inhibitor 0,1 M  $ZnSO_4$  smanjuje koroziju željeza približno 80%, a anodni inhibitor  $Na_2CrO_4$  (nažalost toksičan) potpuno inhibira već u koncentraciji od 0,001 M. Katodni inhibitori se općenito smatraju "sigurnim" jer ne uzrokuju mjestimičnu koroziju.

Budući da je djelovanje katodnih inhibitora vezano za područje izvora elektrona, oni su uglavnom pozitivno nabijeni ioni koji se transportiraju do katodnih mjesta. U neutralnim i lužnatim sredinama djelotvorni su anorganski katodni inhibitori (soli cinka i nikla s odgovarajućim topljivim hidroksidima). U kiselim otopinama prednost imaju organski katodni inhibitori agar-agar, dekstrin i adelhidi koji se adsorbiraju na katodnim dijelovima metala i povećavaju prenapon izlučivanja vodika.

#### 4.1.3. Mješoviti inhibitori

Mješoviti inhibitori imaju dvostruko djelovanje, anodno i katodno. To su najčešće organski spojevi koji se adsorbiraju na metalnu površinu, pa se često nazivaju i adsorpcijski inhibitori. Glavne vrste međudjelovanja između organskih inhibitora i metalne površine predstavljaju fizikalna adsorpcija i kemisorpcija. Temeljna razlika između fizikalne adsorpcije i kemisorpcije leži u prirodi veze koju čini adsorbirana molekula s površinom metala. Fizikalna adsorpcija je uzrokovana intermolekulskim silama privlačenja koje su različite i po vrsti i po jakosti, ona je rezultat elektrostatskih Van der Waalsovih privlačnih sila između organskih iona i električki nabijene površine metala. Fizikalna adsorpcija ovisi o svojstvima organskih inhibitora, vrijednosti korozijskog potencijala, te o vrsti aniona prisutnih u agresivnom mediju, nije ograničena na stvaranje monomolekulskog sloja na površini što znači da se molekule mogu adsorbirati na sloj već stvoren na površini. Kemisorpcija je proces vezivanja molekula na čvrstu površinu jačim vezama od fizikalnih, a koje uključuju prijenos elektrona između adsorbata i adsorbiranih molekula. Molekule su na površini vezane valentnim vezama istog tipa kao i u pravoj kemijskoj vezi. Za razliku od fizikalne adsorpcije, kemisorpcija je sporiji proces i ima veću energiju aktivacije. Ovisi o temperaturi, kod viših temperatura očekuje se veći stupanj inhibicije. Kemisorpcija je specifična za određene metale, nije potpuno reverzibilna i ovisi o prirodi metala i o sastavu i strukturi organskih inhibitora.

Adsorpcijski inhibitori su pretežno heterociklički organski spojevi koji u svojoj strukturi sadrže atom dušika, sumpora ili kisika, tj. atom sa slobodnim elektronskim parom koji sudjeluje u procesu adsorpcije na metalnu površinu. Mogu djelovati i kao nabijene čestice, naročito u kiselim otopinama gdje se protoniraju.

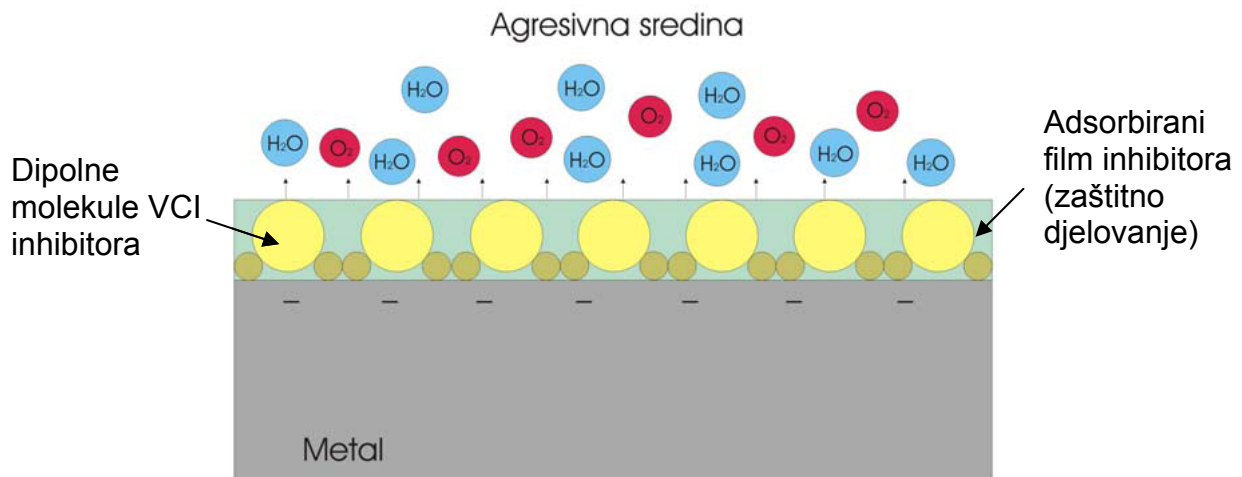
Djelotvornost mješovitih inhibitora ovisi o vrsti i veličini metalne površine na kojoj su adsorbirani, sastavu i strukturi organskog spoja, gustoći elektronskog naboja molekule, prirodi funkcionalnih grupa kao i o veličini adsorbirane molekule. Organski inhibitori mijenjaju strukturu elektrokemijskog dvosloja i kinetiku elektrokemijskih reakcija, utječu na smanjenje anodnog otapanja metala, kao i na kinetiku katodne reakcije.

## 4.2. Hlapivi inhibitori korozije

Hlapivi inhibitori korozije (VCI, engl. *volatile corrosion inhibitor*) čine posebnu skupinu inhibitora koji štite metale od atmosferske korozije. To su organske tvari u čvrstom stanju koje imaju dovoljno visok tlak para da bi sublimacijom (izravno isparavanje čvrste faze) učinile nekorozivnim okolni zrak ili neki drugi plin. Rabe se u obliku praha ili se njihovom alkoholnom otopinom natapaju papiri, odnosno spužvaste tvari (najčešće spužvasti poliplasti).

### 4.2.1. Mehanizam djelovanja VCI-ja

Isparavanjem, VCI-i putuju prema svim dijelovima metalne površine te je pokrivaju. Pri dodiru s metalnom površinom, para VCI-ja se kondenzira u tanki monomolekularni film koji putem ionskog djelovanja štiti metal. Te molekule organskih inhibitora korozije su dipolne, tako da se pozitivni dio molekule veže za površinu (-), a negativni dio je okrenut prema mediju i on je hidrofoban, odnosno odbija vodu i kisik te izolira predmet od njegove okoline. Nastali film se dalje održava i nadomješta daljnjom kondenzacijom pare. VCI-i se, npr. stavljaju u zaštitne omote za skladišno ili transportno konzerviranje metalnih predmeta. Para inhibitora se unutar takva omota otapa u filmu vlage, odnosno kondenzatu koji nastaje na površini konzerviranog predmeta i štiti predmet od korozije [14].



**Slika 24.** Mehanizam djelovanja hlapivog inhibitora korozije [14]

#### 4.2.2. Svojstva VCI – ja

Hlapivi inhibitori korozije imaju sljedeća svojstva:

- visoka otpornost adsorbiranoga zaštitnog sloja na koroziju
- dobra otpornost na temperaturu

**Visoka otpornost adsorbiranoga zaštitnog sloja.** Organski spojevi velike molekularne težine, koji snažno prijanjaju uz metalne površine, stvarju zaštitni sloj koji štiti metal od uzročnika korozije (atmosfera, H<sub>2</sub>S, kiseline, lužine, soli, itd.). Upijajući zaštitni sloj fizički štiti metalnu površinu i sprječava dodir fluida i metala. Usto zaštitni sloj inhibitora priječi ione da migriraju s površine metala u otopinu. Zaštitni sloj se zadržava i štiti kod niskih pH vrijednosti.

**Dobra otpornost na temperaturu.** Svi inhibitori korozije pokazuju dobru toplinsku stabilnost pri temperaturama do 300°C. Neki organski spojevi pri tim temperaturama neće imati dobra svojstva inhibicije, ali ih je potrebno staviti u područje visokih temperatura da bi inhibitor dospio do mjesta hlađenja i kondenziranja tijekom tehnološkog procesa i tada djelovao zaštitno.

### 4.3. Optimalna koncentracija inhibitora

Točno određivanje optimalne koncentracije inhibitora je vrlo značajno jer, kao što je već navedeno, svaka koncentracija inhibitora nije djelotvorna. Često može prevelika ili premala koncentracija inhibitora djelovati aktivirajuće na koroziju metala i postići suprotan učinak od željenog. Da bi bio djelotvoran, inhibitor mora biti ne samo sposoban inhibirati koroziju nego i biti prisutan u odgovarajućoj količini na površini metala. Neki inhibitori, prisutni u nedovoljnoj koncentraciji, samo mijenjaju raspodjelu korozije ali ne i intenzitet. To može biti opasno jer na taj način opća korozija može postati lokalna. Stoga je značajno za svaki pojedinačni sustav odrediti koncentraciju inhibitora koja sigurno štiti od korozije. S druge strane, zbog ekonomskih i ekoloških razloga treba izbjegavati suvišnu potrošnju inhibitora.

Langmuirove, Frumkinove, Freundlichove i Temkinove izoterme primjenjuju se za prikazivanje eksperimentalne ovisnosti adsorpcije o koncentraciji organskih spojeva na metalnoj površini.

Prekrivenost metalne površine  $\Theta$  adsorbiranim inhibitorom izražava se odnosom brzine korozije metala u otopini s inhibitorom i bez njega [18]:

$$\Theta = \frac{k_o - k_i}{k_o}$$

$\Theta$  – prekrivenost površine metala inhibitorom,

$k_o$  – brzina korozije u sustavu bez inhibitora,

$k_i$  – brzina korozije u sustavu s inhibitorom.

Ovisnost prekrivenosti metalne površine  $\Theta$  o koncentraciji prisutnog inhibitora najčešće se prikazuje prema Frumkinovoj izotermi:

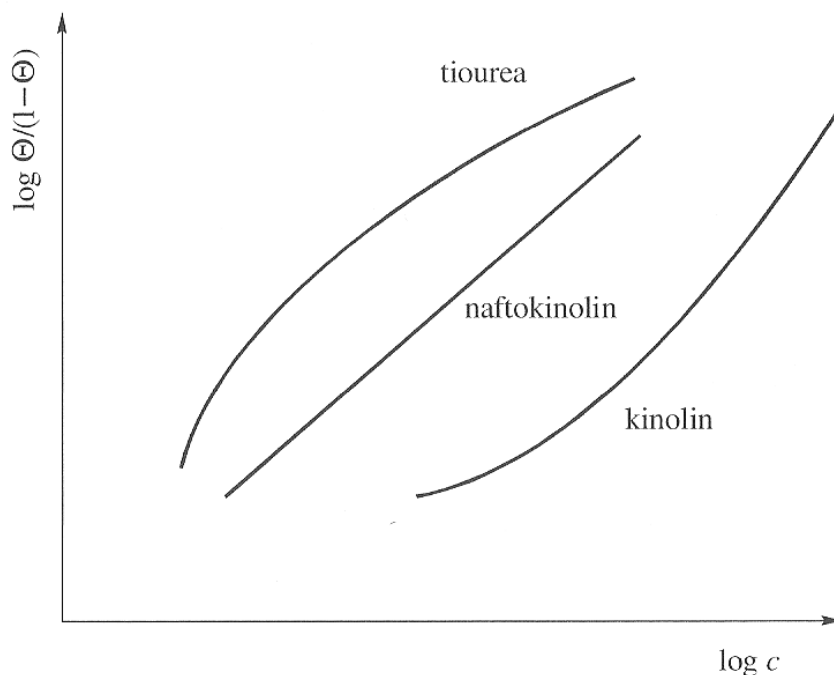
$$\frac{\Theta}{1 - \Theta} \exp[f(\Theta)] = K \cdot c$$

$c$  – koncentracija inhibitora

$K$  – ravnotežna konstanta reakcije adsorpcije

$f$  – parametar koji se odnosi na promjenu adsorpcijske izoterme s prekrivenosti metalne površine ( $\Theta$ ).

Izraz  $\Theta/(1 - \Theta)$  je stupanj prekrivenosti površine. Sl. 25. prikazuje ovisnost logaritma stupnja prekrivenosti površine mekog željeza o logaritmu koncentracija raznih inhibitora gdje se vidi da je ta ovisnost linearna jedino u slučaju naftokinolina, što znači da proces inhibicije naftokinolina slijedi Frumkinovu izotermu. Procesi inhibiranja tiourea i kinolinom slijede neku drugu izotermu (Langmuirovu, Freundlichovu ili Temikovu).



**Slika 25.** Ovisnost prekrivenosti površine o logaritmu koncentracije inhibitora [18]

#### 4.4. Djelotvornost inhibitora

Uspješnost inhibicije izražava se faktorom usporenja (retardacije)  $f_u$  definiranim kao

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

odnosno stupnjem inhibicije  $\eta_i$  jednakim

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



gdje je  $(v_{kor})_{ni}$  brzina korozije u neinhibiranom mediju, a  $(v_{kor})_i$  brzina korozije u inhibiranom mediju [1]. Iz ekonomskih razloga je vrlo važno da inhibitori djeluju već u niskim koncentracijama. Obično se traži da  $\eta_i$  bude 80 – 98%, što odgovara  $f_u$  između 5 i 59, tj. inhibitor toliko puta usporava proces korozije. Optimalno područje koncentracije inhibitora ovisi o mnogim čimbenicima, među kojima treba spomenuti vrstu metala, sastav i koncentraciju elektrolita, njegovu pH vrijednost i temperaturu kao i vrstu inhibitora [20].

#### 4.5. Sinergistički učinak

Vrlo je raširena primjena inhibitorских smjesa jer dva, pa i više inhibitora u smjesi često djeluju sinergetski. Sinergistički efekt je pojava povećanja stupnja inhibicije miješanjem inhibitora, najčešće se radi o kombinaciji katodnih i anodnih inhibitora [1,18].

U suvremenoj primjeni inhibitori se rijetko upotrebljavaju kao pojedinačni spojevi. Najčešće se kombiniraju dva, tri ili više inhibitora i to zbog više razloga. Jedan od njih je da su pojedinačni inhibitori djelotvorni samo za ograničen broj metala, pa zaštita višemetalnih sustava zahtijeva prisutnost više inhibitora. Uporaba kromata kao "univerzalnih" inhibitora je zbog njihove toksičnosti zabranjena. Drugi razlog su pojedinačne prednosti anodnih i katodnih inhibitora, pa primjena njihove smjese rezultira boljom inhibicijom uz manju koncentraciju inhibitora.

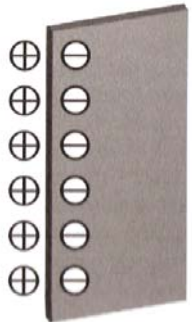
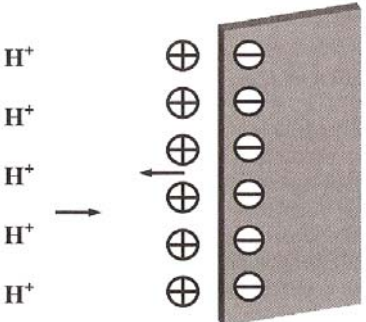
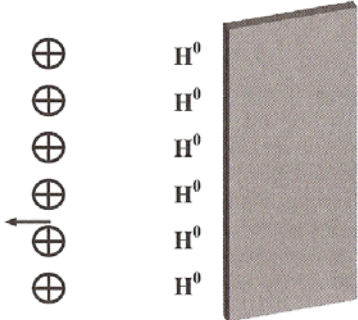
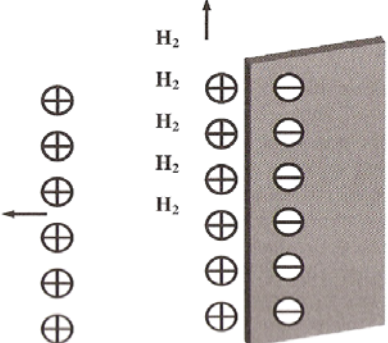
#### 4.6. Mehanizam inhibiranja korozije

Inhibiranje korozije ne može se objasniti jedinstvenim mehanizmom zbog mnoštva varijabli koje utječu na inhibiranje različitih metala u različitim okolinama i s različitim spojevima. Inhibirajuće djelovanje nastoji se racionalizirati odvojenim promatranjem pojedinih situacija u kojima je [18]:

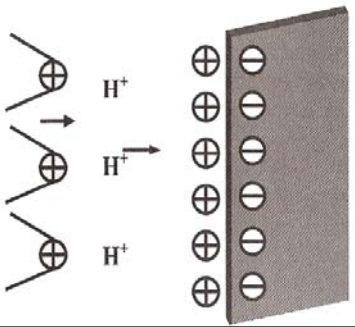
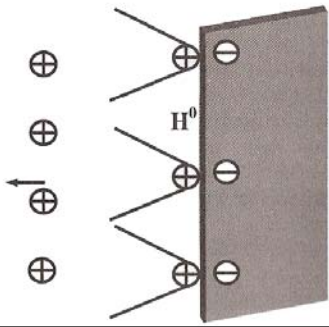
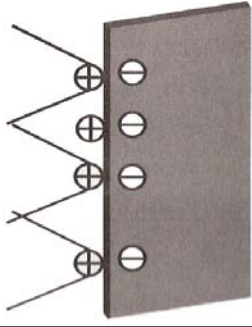
- **metalna površina bez oksida**, obično povezana s kiselim medijem i
- **metalna površina prekrivena oksidima**, hidroksidima ili solima, obično u neutralnim sredinama.

#### 4.6.1. Metalna površina bez oksida

Kada se metal uroni u kiseli medij stvara se potencijalna razlika između metala i kiseline. Taj skok potencijala koji je trenutačan, ima kod neplemenitih metala za posljedicu prijelaz metalnih iona u otopinu. Tu prevladava tendencija izlaženja metalnih iona iz metalne rešetke i kao posljedica toga je nabijanje metala negativnim nabojem. Pozitivni ioni koji su pritom prešli u otopinu tvore prema elektrostatičkim zakonima dvosloj metal - kiselina.

	
<p>Metalni ioni zbog visoke tenzije otapanja izlaze iz rešetke, metal se negativno nabije i stvara se dvosloj</p>	<p><math>H^+</math> ioni difundiraju iz područja visoke koncentracije (otopina) u područje niže koncentracije (metalna površina) što ima za posljedicu pomicanje dvosloja iz područja visoke koncentracije metalnih iona (metalna površina) prema području niže koncentracije (otopina kiseline).</p>
	
<p>Neutralizacijom negativnog naboja na površini metala uz nastajanje atomarnog vodika slijedi daljnje pomicanje dvosloja prema otopini.</p>	<p>Nastaje molekularni vodik koji napušta sustav u oblik plina i uzrokuje daljnje pomicanje dvosloja prema otopini kao i na nastajanje novog dvosloja uz površinu metala</p>

**Slika 26.** Reakcije na granici faza metal – kiselina [18]

		
<p>Organski inhibitor dodan u kiselinu se protonira i organska molekula se nabija pozitivnim nabojem. Pozitivno nabijena molekula inhibitora difundira iz područja više koncentracije (otopina) u područje niže koncentracije (površina metala).</p>	<p>Slijedi neutralizacija negativnih naboja na površini metala tj. lokaliziranje pozitivnim molekulama inhibitora koje se adsorbiraju na površini metala u monomolekularnom sloju.</p>	<p>Na mjestima lokaliziranog negativnog naboja (zbog adsorpcije inhibitora) proces inhibicije je završen, a metalnim ionima, koji su izašli iz rešetke, onemogućeno je difuzijsko pomicanje jer molekule inhibitora pokrivaju površinu metala.</p>

**Slika 27.** Reakcije na granici faza metal – inhibirana kiselina [18]

U odsutnosti bilo kakvog prethodnog filma na površini metala, inhibitor može djelovati samo ako se najprije adsorbira na metalnoj površini i zatim djeluje na anodnu ili katodnu reakciju ili na obadvije reakcije istodobno. Na adsorpciju inhibitora utječu: naboj površine, funkcionalna grupa i struktura inhibitora, međusobno djelovanje adsorbiranih čestica inhibitora i veličina adsorbirane molekule.

Jedanput adsorbirani inhibitor može utjecati na brzinu korozije putem jednog ili više mehanizama uključujući adsorbirane čestice. Može imati aktivnu ulogu tj. djelovati na elektrodnu reakciju ili pasivnu ulogu ako predstavlja fizičku barijeru odvajajući metal od reaktanta koji uzrokuje koroziju.

#### 4.6.2. Metalna površina prekrivena oksidima

Na površini metala se na zraku obično stvara oksidni film i prije izlaganja nekoj vodenoj sredini koja će djelovati agresivno ili inhibirajuće, ovisno o sastavu otopine kao i o stupnju oštećenja početnog filma u reakciji sa sastojcima otopine. Inhibitori koji djeluju u otopinama kiselina često puta ne djeluju u neutralnim otopinama zbog razlike u mehanizmima korozijskih procesa. Korozijski procesi metala u neutralnim

otopinama rezultiraju nastajanjem teško topivih korozijskih produkata kao što su oksidi i hidroksidi.

Mehanizam inhibirajućeg djelovanja uključuje :

- stabiliziranje pasivnog oksidnog filma smanjenjem njegove brzine otapanja,
- obnavljanje oksidnog filma stvaranjem netopljivih površinskih spojeva koji uzrokuju začepljenje pora.

Bez obzira na detalje u mehanizmu djelovanja, zajednička karakteristika anodne inhibicije je potencijal koji mora biti pozitivniji od potencijala stvaranja i stabiliziranja netopljivog filma, najčešće metalnog oksida [18].

#### **4.7. Primjena inhibitora korozije u brodogradnji**

Primjena inhibitora se afirmirala na mnogim tehničkim područjima, gdje se druge metode zaštite od korozije nisu pokazale uspješnim. Zbog svojega specifičnog djelovanja, jednolikog ispunjavanja prostora i stvaranja zaštitnog filma na površini metala, čime se sprječava dodir s okolinom i medijem, inhibitori nalaze svoju primjenu za zaštitu nepristupačnih mjesta brodskih konstrukcija kao što su, npr. kobilica, list kormila iznutra, rog kormila, bokoštitnik, a isto tako mogu se primijeniti za zaštitu cjevovoda, brodske opreme, električnih kontakata itd. Inhibitori hlape i adsorbiraju se na svim površinama metala, pri čemu se inhibirani sloj kontinuirano obnavlja, tako da nije potrebna regeneracija zaštitnog sustava u vrijeme njegove trajnosti.

U brodogradnji se u upotrebi najčešće nalaze hlapivi inhibitori korozije. Prednost primjene hlapivih (VCI) inhibitora su [14]:

- stvaranje monomolekularnog inhibirajućeg sloja koji štiti i nedostupne površine;
- VCI – sloj se kontinuirano obnavlja hlapljenjem bez obzira da li je sloj poremećen mehanički ili otvaranjem otvorenog prostora;
- potrebna je mala ili nikakva priprema površine;
- sprječavaju daljnju koroziju obojenih površina;
- jednostavni 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 sadrže silikone, fosfate, nitrite ni teške metale.

#### **4.7.1. Zaštita nepristupačnih prostora brodskih konstrukcija**

Prostori brodskih konstrukcija izloženi su morskoj atmosferi koja predstavlja vrlo agresivnu korozivnu sredinu zbog visokog udjela klorida, visoke relativne vlažnosti i učestale promjene temperature. U takvim uvjetima zaštita premazima ne ispunjava zahtjeve potrebne trajnosti zbog nepristupačnosti prostora stoga je primjena inhibitora korozije odgovarajuće rješenje za zaštitu od korozije. Tu se koriste hlapivi inhibitori korozije u obliku praha, koji se stave u zatvoreni prostor, oni hlape i šire se molekulama ulazeći u sve otvore, pore i šupljine tih prostora. Sam proces inhibicije počinje kada pare dođu do površine i adsorbiraju se, stvarajući tanki zaštitni film. Molekule inhibitora se otapaju i odmah počinje jaka ionska aktivnost već i u prisutnosti minimalnih količina vlage. Rezultat ove disocijacije je stvaranje monomolekularnog sloja koji onemogućuje izravni kontakt uročnika korozije s metalom. Praškasti inhibitori korozije koji se koriste za zaštitu nepristupačnih prostora nanose se zaprašivanjem, zamagljivanjem ili posipanjem. Nakon što se inhibitoru nanesu prostori koji se štite, na prikladan način se zatvore, kako prah ne bi hlapio u okoliš. Nanošenje zamagljivanjem se postiže upotrebom niskotlačnog zračnog crijeva, a isto tako se mogu koristiti konvencionalni sustavi za pjeskarenje. Količina inhibitora regulira se ovisno o veličini prostora koji se štiti, uvjetima koji vladaju u prostoru i projektiranoj trajnosti zaštite.

Jedan od takvih nepristupačnih prostora brodske konstrukcije je list kormila. Njegovu strukturu je komplicirano zaštititi premazima, naročito zavare i rubove koji su potencijalno mjesto nastajanja korozivskih procesa. Isto tako nakon što se zatvori oplata lista kormila, zaostaju oštećena mjesta od zavarivanja koja se ne mogu popraviti i zaštititi. Hlapivi inhibitori se upušu u list kormila kroz provrte, upuhivanje inhibitora traje do trenutka kada na drugoj strani lista kormila VCI prah kroz otvore ne počne izlaziti van. Provrte se nakon toga zatvaraju vijcima, kako bi se nakon prestanka inhibitorskog djelovanja mogli lako nadomjestiti novim.

U hrvatskim brodogradilištima inhibitori korozije se primjenjuju za zaštitu unutrašnjosti lista i roga kormila, u koje se na 1 m<sup>3</sup> upuhuje 500 g Cortec-ovog VCI -309 inhibitora i postiže se zaštita od korozije u trajanju od tri godine.



**Slika 28.** Zaštita lista kormila hlapljivim inhibitorima korozije [3]

Konstrukcije koje se također štite inhibitorima korozije jer ih je teško zaštititi od korozije premazima zbog njihove teže dostupnosti, su i bokoštitnik, kobilica i pramac broda.



**Slika 29.** Zaštita kobilice, bokoštitnika i pramca broda praškastim hlapivim inhibitorima korozije [3]

Na brodu postoji još niz prostora koji bi se mogli štititi inhibitorima korozije. Kao što su razni suhi prostori, postolja uređaja i strojeva, postolja i kranovi palubnih dizalica, stupovi rampe za ukrcaj automobila i razni drugi uski prostori koji predstavljaju probleme kod zaštite premazima. Osnovno svojstvo zaštite inhibitorima je jednostavnost primjene, a isto tako nije potrebna ni priprema površine radi kondicioniranja površine i nije nužno posebno paziti na atmosferske uvjete kod primjene inhibitora.

#### **4.7.2. Zaštita brodske opreme**

Brodsku opremu moguće je zaštititi inhibitorima korozije u fazi gradnje broda, odnosno opremanja i montaže. Pošto je gradnja broda dugotrajan posao, a brodogradilišta imaju stalan problem nedostatka prostora, zbog čega oprema koja se

ugrađuje na brod često stoji na otvorenom gdje je izložena morskoj atmosferi. Inhibitori se za tu potrebu mogu primjenjivati u sredstvima u koje se omotava oprema i na taj način izolira od utjecaja morskog okoliša. Danas se u brodogradilištima znatan dio opreme omotava u najlonske folije i na taj način sprječava ulazak vode u vitalne dijelove opreme. To je dobar način sprječavanja korodiranja opreme, ali u omotima se kondenzira i nakuplja vlaga koja također može prouzročiti koroziju. Postavljanjem inhibitora korozije u omot, ta vlaga koja nastaje bila bi ispunjena parama inhibitora i nekorozivna za opremu. Ovaj način zaštite od korozije se primjenjuje za privremenu zaštitu opreme u vrijeme prijevoza ili skladištenja do ugradnje u neki sustav ili predaje krajnjem korisniku.



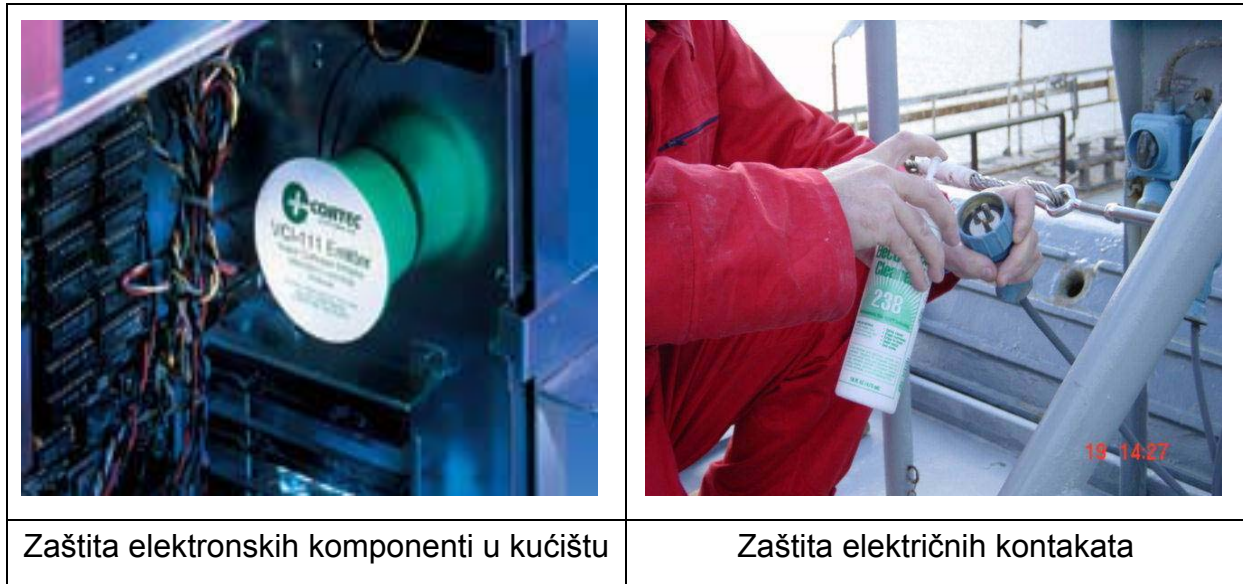
**Slika 30.** Zaštita brodske opreme [3]

#### 4.7.3. Zaštita brodske električne i elektroničke opreme

Hlapivi inhibitori korozije uspješno štite električne i elektronske komponente tijekom proizvodnje, montaže, skladištenja, transporta i primjene. Štite važne komponente u rasklopnim i osiguračkim kutijama, komunikacijskim i pomorskim uređajima, radio i računalnim uređajima, električnim upravljačkim sklopovima,



kontaktima, motorima i generatorima. Osnovna prednost primjene inhibitora pred drugim metodama zaštite je vrlo jednostavna montaža, konstantnost električnih i mehaničkih svojstava, te samoobnavljanje zaštitnog djelovanja tijekom eksploatacije ili mirovanja navedenih elemenata.



**Slika 31.** Primjena inhibitora za zaštitu brodske električne opreme [22]

#### 4.7.4. Zaštita cjevovodnih sustava na brodu

Inhibicija je prikladna za zaštitu protočnih sustava kao što su sustavi grijanja tereta, rashladni sustavi glavnog i pomoćnih motora, sustavi grijanja za posadu i putnike. Ekonomičnost zaštite inhibitorima prvenstveno dolazi do izražaja u sustavima s recirkulacijom, gdje se oni polako troše. Za razliku od tih sustava kod sustava s jednokratnim protokom tekućine treba periodički ili kontinuirano dozirati inhibitore, ali je često i za njih takav način zaštite optimalan. Naročito je važna primjena inhibitora u hidrostatskoj probi kada se za ispitivanje primjenjuje voda koja može biti agresivna za materijal cjevovoda, čime bi se uklonila mogućnost korodiranja i prije same uporabe određenog sustava.

#### 4.7.5. Primjena inhibitora korozije kod pripreme površine metala

Priprema površine metala izvodi se abrazivnim čišćenjem (sačmarenje, pjeskarenje) i vodenim mlazom. Metoda pripreme površine abrazivnim čišćenjem je skupa i nije prihvatljiva zahtjevima zaštite okoliša. Stoga se danas njezina primjena uglavnom napušta, ali i dalje ostaje isplativa samo u proizvodnji gdje se radi o velikim količinama metalnih proizvoda, ali se mora provoditi u zatvorenim prostorima s posebnim sustavom prozračivanja. Primjena tehnike pripreme površine vodenim mlazom je ekološki prihvatljivija, ali njezin nedostatak je korodiranje obrađene površine brodograđevnog čelika koji je neotporan na vodu. Zbog toga se u vodu za dozira inhibitor koji sprječava korodiranje površine kod čišćenja. Inhibitor čini vodu neagresivnim za čeličnu površinu.

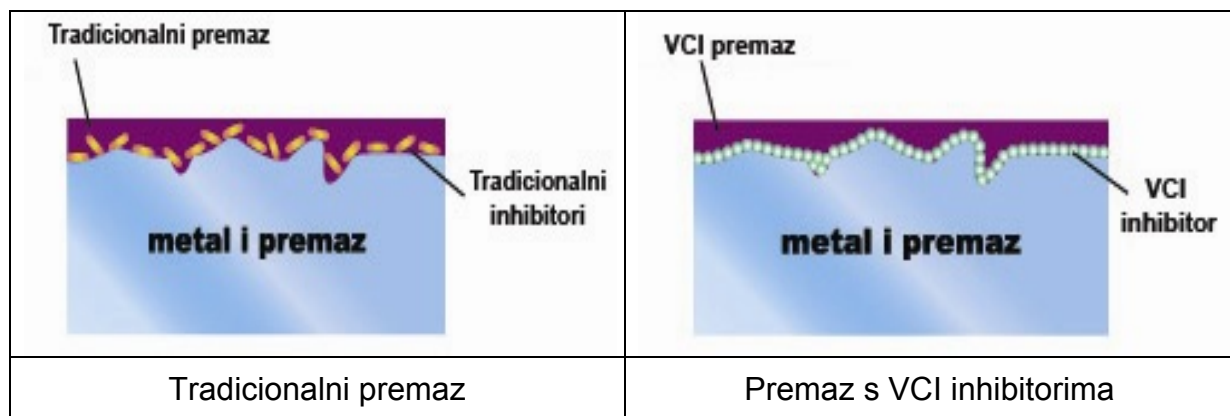


**Slika 32.** Priprema površine vodenim mlazom [14]

#### 4.7.6. Primjena inhibitora u zaštitnim premazima

Nakon pripreme površine, ona se zatim zaštićuje specificiranim sustavom premaza. Pored zaštite od korozije, premazi imaju i funkciju otpornosti na trošenje, otpornost na vatru, estetskog izgleda i dr., a premazi koji se primjenjuju za zaštitu

podvodnog dijela brodskog trupa imaju i funkciju zaštite od obraštanja. Tradicionalni premazi primjenjuju pigmente "žrtvovanih" metala (cink, aluminij) ili od inhibitora (kromata, fosfata). S obzirom na veličinu čestica tih pigmenata, postoje praznine koje omogućuju iniciranje korozivnih procesa i njihovo eventualno širenje, što vodi do oštećivanja premaza. Hlapivi inhibitori su jedinstveni. Površine zaštićene premazima s VCI inhibitorima vrlo malo korodiraju na mjestima oštećenja jer su filmovi ovakvih premaza "samoobnovljivi" tj. VCI inhibitori hlape i ponovno se rasprostiru na oštećena područja. Primjenom hlapivih inhibitora korozije u premazu uklanjaju se praznine koje se pojavljuju kod tradicionalnih premaza i postiže cjeloviti inhibirajući film koji štiti metale od korozije. Primjena hlapivih inhibitora u premazu osigurava dugoročno djelovanje premaza. Posebno je važna primjena takvih premaza kod površina koje je teško odgovarajuće pripremiti jer monomolekularni film jednoliko prekriva sve površinske hrapavosti. Na temelju novih zahtjeva za smanjenje koncentracije otapala u premazima važno je napomenuti da su VCI inhibitori topivi u vodi te se mogu ukomponirati u vodorazrjeđive premaze čime bi se poboljšala njihova zaštitna svojstva te proširilo područje primjene.



**Slika 33.** Inhibirajući učinak tradicionalnih premaza i premaza s hlapivim inhibitorom korozije [14]

Primjena VCI inhibitora u zaštitnim premazima ima i svoje nedostatke:

- Neki VCI premazi su mekani ili čak uljasti
- Mnogi VCI premazi koriste se samo kao privremeni zbog loše prionjivosti
- VCI inhibitori do sada su korišteni u malim koncentracijama, a da bi

svojstvo "samoobnovljivosti" bilo vidljivo potrebne su više koncentracije

- Korozijska zaštita nije jedini zahtjev u premazima, a za sad VCI premazi su ograničeni tvrdoćom filma, sjajem i određenim nijansama boje filma

#### **4.7.7. Konzervacija sustava u mirovanju**

Inhibitori su idealni za sustave koji moraju biti konzervirani određeno vrijeme, kada postrojenje nije privremeno u funkciji, a posebno ako se radi o sustavima koji su instalirani u neko postrojenje te ih je samim time vrlo teško zaštititi. Isto tako inhibitori korozije se mogu primijeniti za zaštitu različitih proizvoda koji se prevoze brodom i za privremenu zaštitu sustava i prostora koji nisu trenutačno u funkciji.

## 5. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu trebalo je napraviti ispitivanje kojim će se pokazati mogućnosti uporabe hlapivih inhibitora korozije u maloj brodogradnji za zaštitu električnih dijelova brodskih instalacija i opreme. Trebalo je izraditi uzorke koji su zaštićeni različitim hlapivim inhibitorima, i tako pripremljene uzorke ispitati na otpornost prema koroziji u agresivnom mediju. U svrhu dobivanja rezultata provedena su sljedeća ispitivanja:

- Ispitivanja otpornosti čeličnih uzoraka prema koroziji u vlažnoj komori;
- Ispitivanja otpornosti čeličnih uzoraka prema koroziji u slanoj komori;
- Terenska ispitivanja otpornosti čeličnih uzoraka prema koroziji u morskoj atmosferi.

	priprema površine	vrsta zaštite	smještaj	ispitivanje
<b>uzorak 1</b>	odmašćivanje s acetonom	emiter inhibitora (VpCI – 111)	u kućištu	vlažna komora
<b>uzorak 2</b>	odmašćivanje s acetonom	emiter inhibitora (VpCI – 111)	u kućištu	slana komora
<b>uzorak 3</b>	odmašćivanje s acetonom	bez zaštite	u kućištu	vlažna komora
<b>uzorak 4</b>	odmašćivanje s acetonom	bez zaštite	u kućištu	slana komora
<b>uzorak 5</b>	odmašćivanje s acetonom	sprej za zaštitu električnih kontakata (VpCI – 238)	u kućištu	vlažna komora
<b>uzorak 6</b>	odmašćivanje s acetonom	sprej za zaštitu električnih kontakata (VpCI – 238)	u kućištu	slana komora
<b>uzorak 7</b>	odmašćivanje s acetonom	sprej za podmazivanje s inhibitorim	-	vlažna komora
<b>uzorak 8</b>	odmašćivanje s acetonom	sprej za podmazivanje s inhibitorim	-	slana komora
<b>uzorak 9</b>	odmašćivanje s acetonom	inhibitor atmosferske korozije u spreju (VpCI - 369)	-	vlažna komora
<b>uzorak 10</b>	odmašćivanje s acetonom	inhibitor atmosferske korozije u spreju (VpCI - 369)	-	slana komora
<b>uzorak 11</b>	odmašćivanje s acetonom	bez zaštite	-	vlažna komora
<b>uzorak 12</b>	odmašćivanje s acetonom	bez zaštite	-	slana komora

**Tablica 3.** Plan ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori

## 5.1. Priprema uzoraka za ispitivanje

Priprema uzoraka počela je odmašćivanjem s acetonom i ručnog četkanja već izrezanih uzoraka od ugljičnog čelika.



**Slika 34.** Detalj odmašćivanja uzoraka u posudi s acetonom u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB [3]

Nakon pripreme površine uzoraka slijedilo je nanošenje inhibitora na uzorke. Nanošenje se vršilo prskanjem (VpCI - 238, VpCI – 369 i All Purpose Lubricant) ili lijepljenjem "emitera" (VpCI -111) na stjenku kućišta gdje smo stavili uzorak za ispitivanje.

Sredstva za zaštitu od atmosferske korozije s inhibitorima, koja su korištena u eksperimentalnom radu su:

**VpCI – 111** emiter je proizvod za zaštitu od korozije metalnih komponenata i dijelova, koji se nalaze u zatvorenim neventiliranim kućištima, upravljačkim ormarima po pogonima i kutijama sa raznim alatom. Jedan emiter štiti prostor od 312 litara. Aktivna tvar emitira hlapi i zasićuje unutrašnjost prostora stvarajući zaštitni monomolekulski film na svim površinama i udubinama i na ovaj jednostavan način štiti od korozije kompleksnu i skupu elektroničku opremu tijekom rada, transporta ili skladištenja. VpCI-111 je mali patentirani plastični emiter sa propusnom Tyvek membranom kroz koju pare inhibitora hlape u prostor, dok se istovremeno vlaga i zagađivači u zraku adsorbiraju na njemu.

**VpCI – 238** koristi se za zaštitu od utjecaja okoliša. VpCI-238 stvara vrlo tanki film koji štiti od agresivnog djelovanja okoliša, uključujući industrijske, pomorske i tropske klimatske uvjete. Ovaj film ne utječe na električne ili magnetske osobine metala. VpCI-238 može se sigurno koristiti za zaštitu nisko-naponskih krugova ili releja bez bojazni za promjene u kondukciji. Može biti sigurno korišten sa plastikom, gumom i drugim ne-metalima. VpCI-238 se koristi kao zaštita od galvanske korozije za većinu metala kao što su aluminij, bakar, obojeni i neobojeni metali, te zbog toga svoju primjenu nalazi u elektronici.

**VpCI – 369** se upotrebljava kao aditiv za ulja ili kao premaz. Koristi se za zaštitu nepokrivenih vanjskih i unutarnjih metalnih površina koje mogu doći u dodir sa vanjskim utjecajima vrlo agresivne atmosfere tijekom skladištenja, obrade ili korištenja, te konzerviranje opreme i pogona, opreme na terenu ili pri transportima.

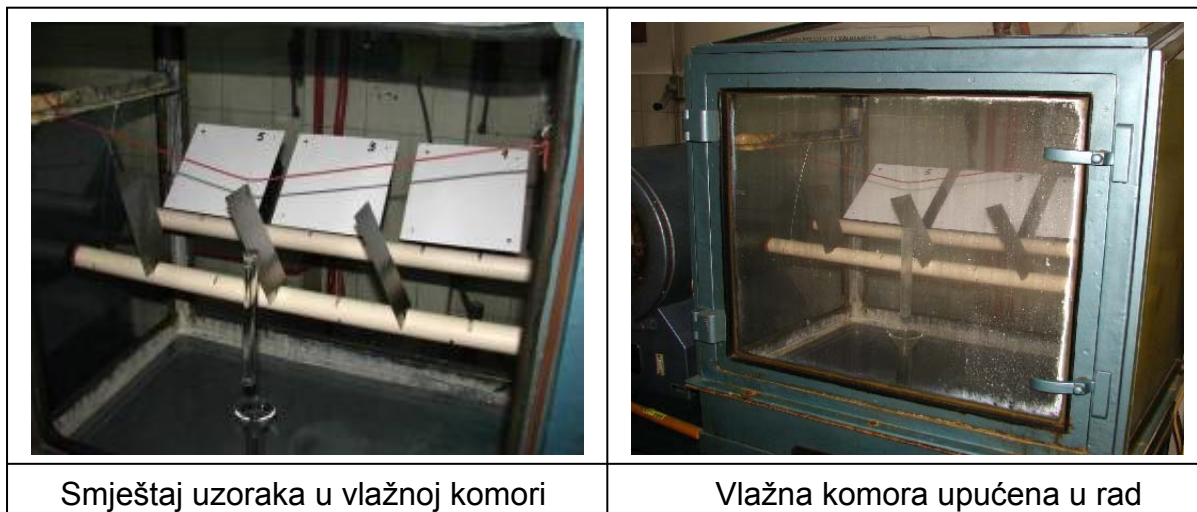
**EcoLine™ All Purpose Lubricant** je "podmazivač" široke primjene. Sadrži aditive za ekstremna opterećenja i trenja. Siguran za korištenje kod svih vrsta metala i većine plastike. EcoLine™ All Purpose Lubricant proizveden je na bio bazi, ulje soje i metil estera soje. Metil esteri soje koriste se kao tehnologija niskog utjecaja otapala. Proizvodi na bazi soje omogućuju izvrsno podmazivanje i biorazgradivost. EcoLine™ All Purpose Lubricant stvara na površini metala zaštitni sloj inhibitora korozije (VpCI).



**Slika 35.** Nanošenje hlapivih inhibitora u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB [3]

## 5.2. Ispitivanje uzoraka u vlažnoj komori

Za ispitivanje u vlažnoj komori izabrano je šest uzorka (1, 3, 5, 9, 11 i 13) tj. od svakog sustava po jedan uzorak. Ispitivanje je započelo u 10:20 h, 05.06.2008.



Smještaj uzoraka u vlažnoj komori

Vlažna komora upućena u rad

**Slika 36.** Vlažna komora u Laboratoriju za zaštitu materijala Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu [3]

Ispitivanje u atmosferi vodene pare služi za određivanje ponašanja materijala uz djelovanje toplog zraka zasićenog vlagom uz prisutnost kondenzirane vode i sobne atmosfere. Ispitivanje se odvija prema normi DIN EN ISO 6270 - 2.

Za ispitivanje u vlažno – toploj atmosferi potrebna je za pare nepropusna klimatska komora. Materijal unutarnjih stjenki mora biti otporan prema koroziji i ne smije utjecati na ispitivane uzorke. Prostor za ispitivanje se temperira zagrijavanjem vode u podnoj tavi. Uzorci koji se ispituju moraju biti takvi da međusobno ne djeluju jedan na drugoga. Trebaju biti postavljeni tako da se ne dodiruju i da kondenzirana voda sa stjenki komore ne kaplje po uzorcima. Za vrijeme čitavog trajanja ispitivanja, održava se temperatura od 40 °C, a time i postupak kondeziranja.







Klima ispitivanja	Temperatura zraka	Relativna vlažnost zraka
Konstantna klima s kondeziranom vodom	40 ± 2 °C	100

**Tablica 4.** Uvjeti ispitivanja u vlažnoj komori [3]



### 5.2.1. Stanje uzoraka nakon 24 sata ispitivanja u vlažnoj komori

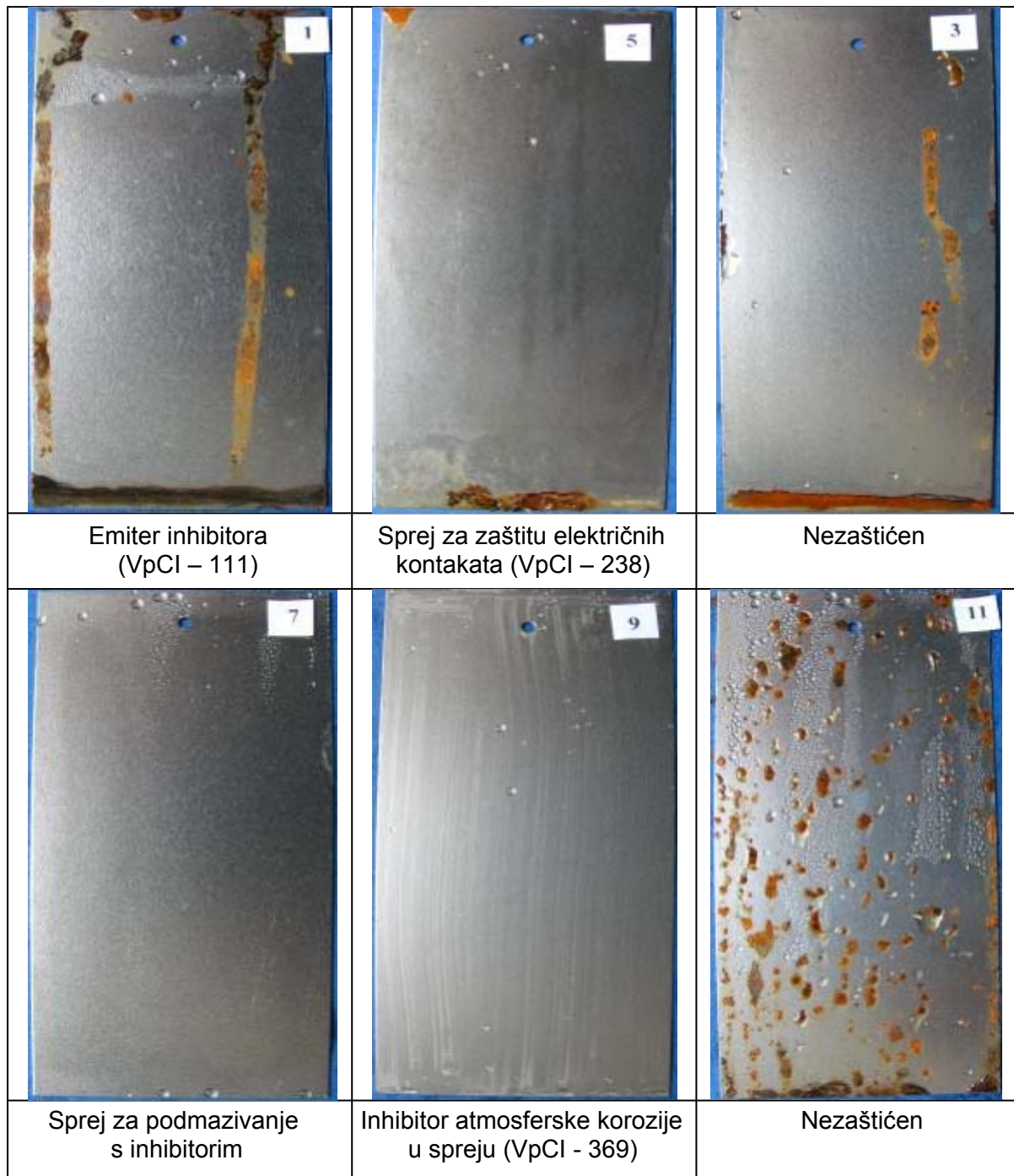
Nakon provedenog ispitivanja uzoraka u vlažnoj komori u trajanju od 24 sata (slika 37.) može se uočiti pojava korozijskih produkata na uzorku bez zaštite, a na sva tri uzorka u kućištu samo neznatna pojava korozijskih produkata dok na uzorcima zaštićenim inhibitorima VpCI – 369 i All Purpose Lubricant nema vidljive korozije.

		
Emiter inhibitora (VpCI – 111)	Sprej za zaštitu električnih kontakata (VpCI – 238)	Nezaštićen
		
Sprej za podmazivanje s inhibitorim	Inhibitor atmosferske korozije u spreju (VpCI - 369)	Nezaštićen

**Slika 37.** Stanje uzoraka nakon 24 sata ispitivanja u vlažnoj komori [3]

### 5.2.2. Stanje uzoraka nakon 96 sati ispitivanja u vlažnoj komori

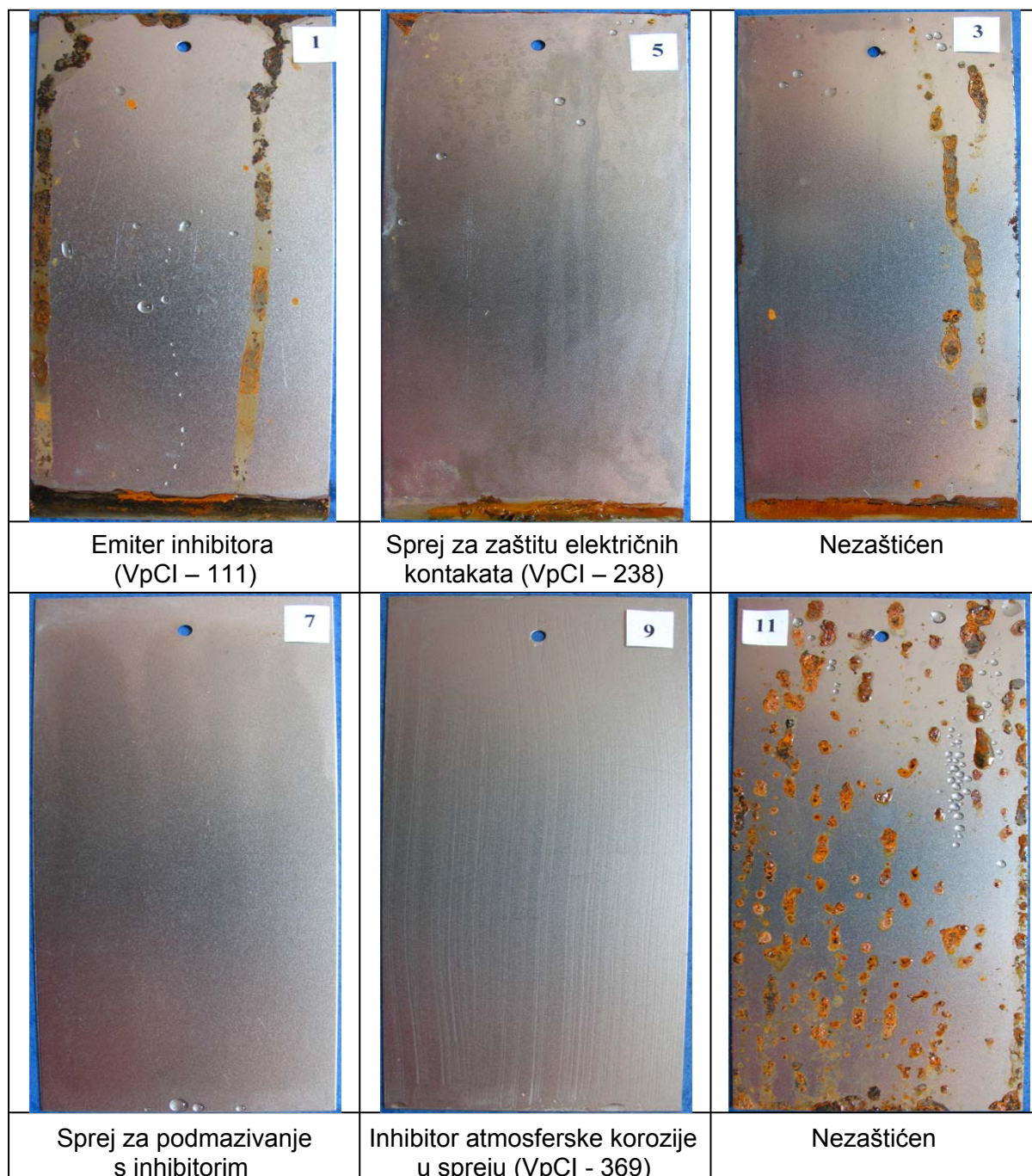
Nakon provedenog ispitivanja uzoraka u vlažnoj komori u trajanju od 96 sati (slika 38.) može se uočiti lagano pojačanje inteziteta korozije uzoraka na kojima su i prilikom prethodne provjere bila uočljiva pojava korozijskih produkata. Na uzorcima zaštićenim VpCI – 369 i All Purpose Lubricant i dalje nema vidljive korozije.



**Slika 38.** Stanje uzoraka nakon 96 sati ispitivanja u vlažnoj komori [3]

### 5.2.3. Stanje uzoraka nakon 144 sata ispitivanja u vlažnoj komori

Nakon provedenog ispitivanja uzoraka u vlažnoj komori u trajanju od 144 sata (slika 39.) uočljivo je daljnje pojačavanje inteziteta korozije uzoraka koji su i prilikom prethodne provjere bili zahvaćeni, dok na uzorcima zaštićenim VpCI – 369 i All Purpose Lubricant i nakon 144 sata ispitivanja djeluje zaštita inhibitora te nema uočljive pojave korozije.



**Slika 39.** Stanje uzoraka nakon 144 sata ispitivanja u vlažnoj komori [3]

### 5.3. Ispitivanje uzoraka u slanoj komori

Za ispitivanje u slanoj komori izabrano je šest uzorka (2, 4, 6, 8, 10 i 12) tj. od svakog sustava po jedan uzorak, odvija se prema normi HR ISO 9227:1999. Ispitivanje je započelo u 10:50 h, 05.06.2008.



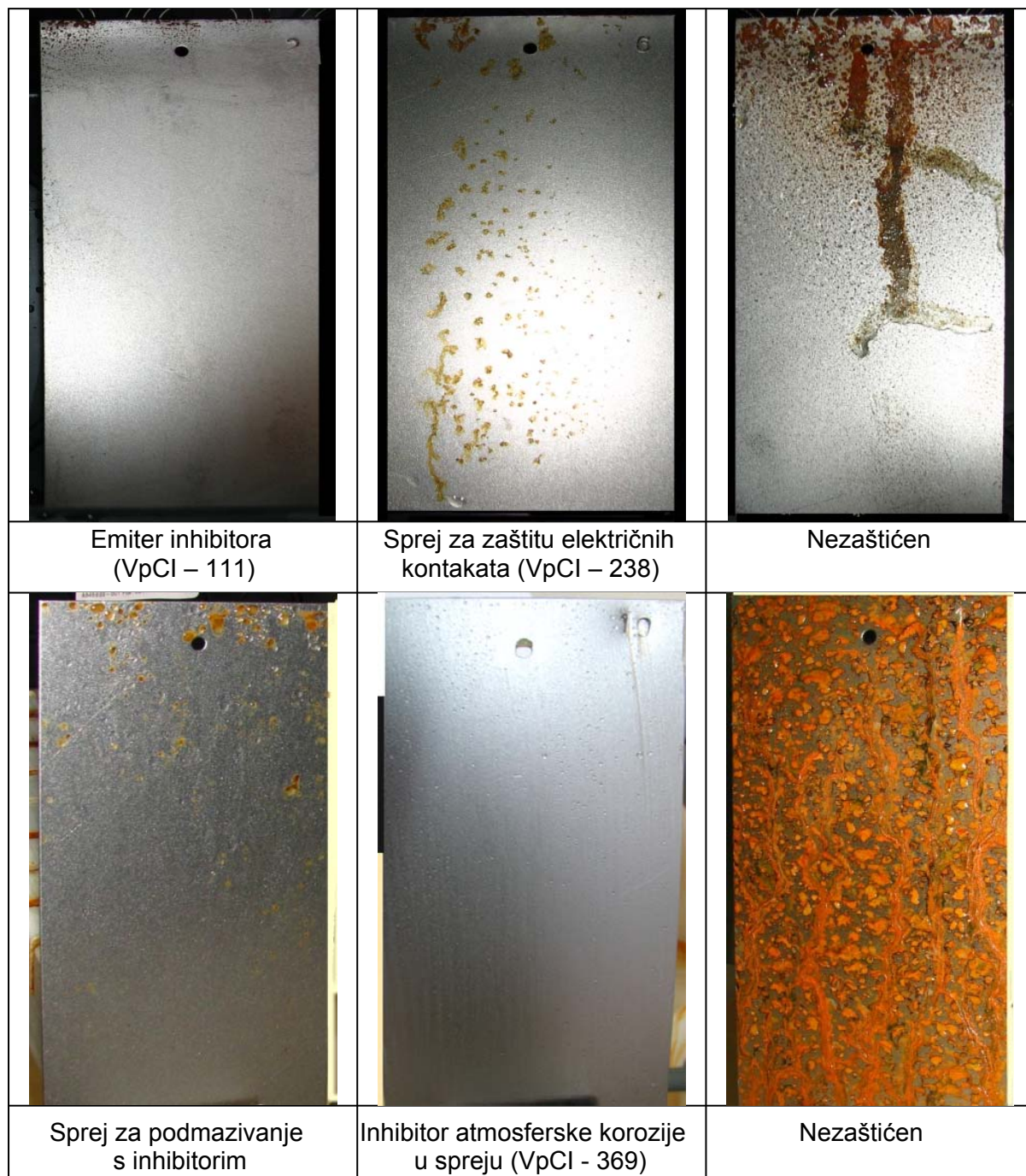
**Slika 40.** Slana komora u Laboratoriju za zaštitu materijala Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu [3]

Parametri ispitivanja	Uvjeti ispitivanja
Trajanje ispitivanja, <i>h</i>	24
Temperatura ispitnog prostora, °C	35 ± 0,1
Volumen ispitnog prostora, <i>l</i>	450
Temperatura ovlaživača komprimiranog zraka, °C	47
Tlak komprimiranog zraka, <i>bar</i>	0,98
Korištena otopina	NaCl
Koncentracija korištene otopine, %	5
Količina sakupljenog kondezata, <i>ml / 80cm / h</i>	2
pH vrijednost kondezata pri 25 ± 2 °C	7,14
Provodljivost destilirane vode, μ S / cm pri 25 ± 2 °C	≤ 10

**Tablica 5.** Uvjeti ispitivanja [3]

### 5.3.1. Stanje uzoraka nakon 2 sata ispitivanja u slanoj komori

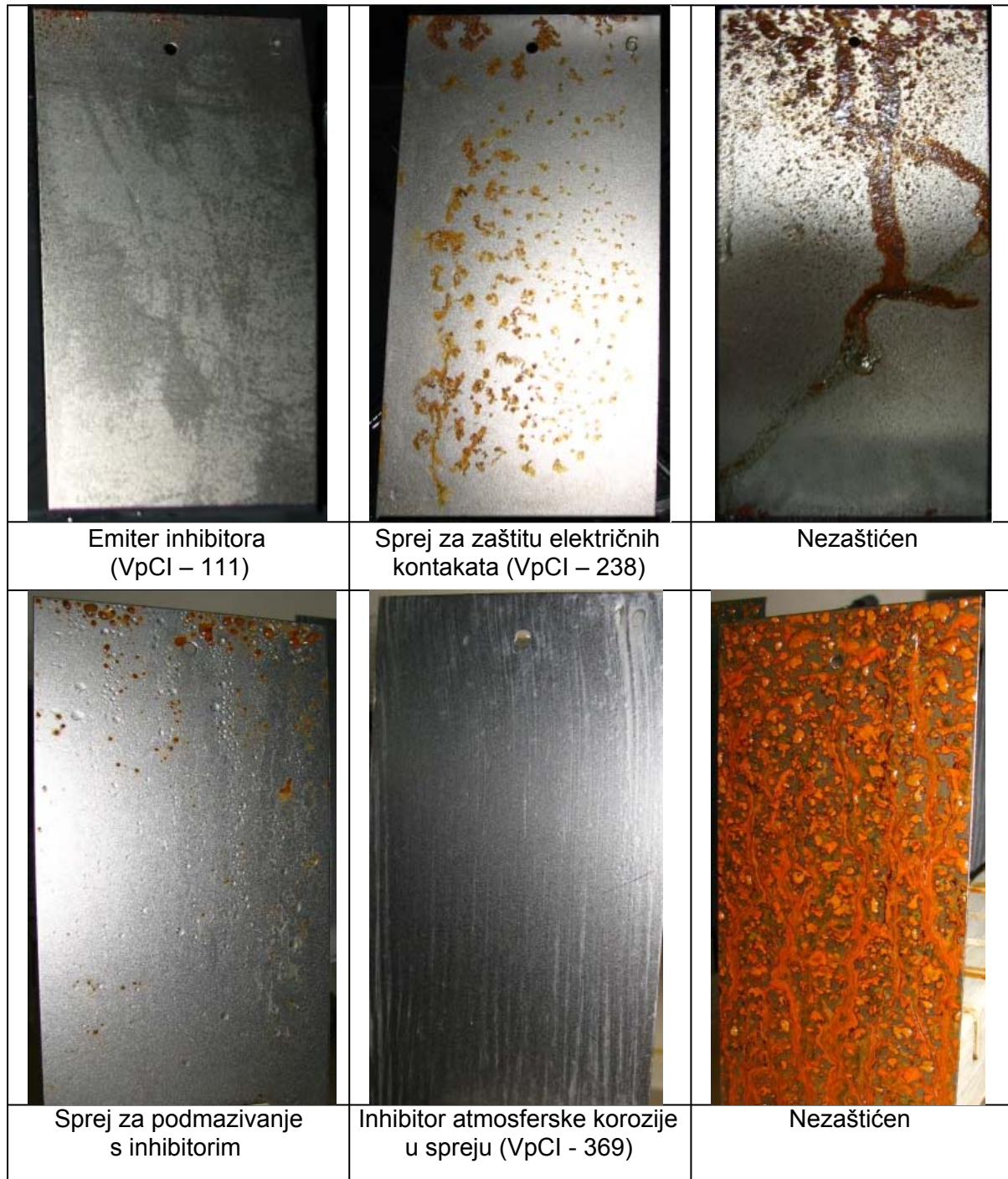
Nakon provedenog ispitivanja uzoraka u slanoj komori u trajanju od 2 sata (slika 41.) može se uočiti da je intenzitet korozije na uzorcima bez zaštite znatno veći nego na uzorcima koji su zaštićeni inhibitorima korozije VpCI – 238 i All Purpose Lubricant, dok su na uzorcima zaštićenim inhibitorima korozije VpCI – 111 i VpCI – 369 još uvijek djeluje zaštita.



**Slika 41.** Stanje uzoraka nakon 2 sata ispitivanja u slanoj komori [3]

### 5.3.2. Stanje uzoraka nakon 4 sata ispitivanja u slanoj komori

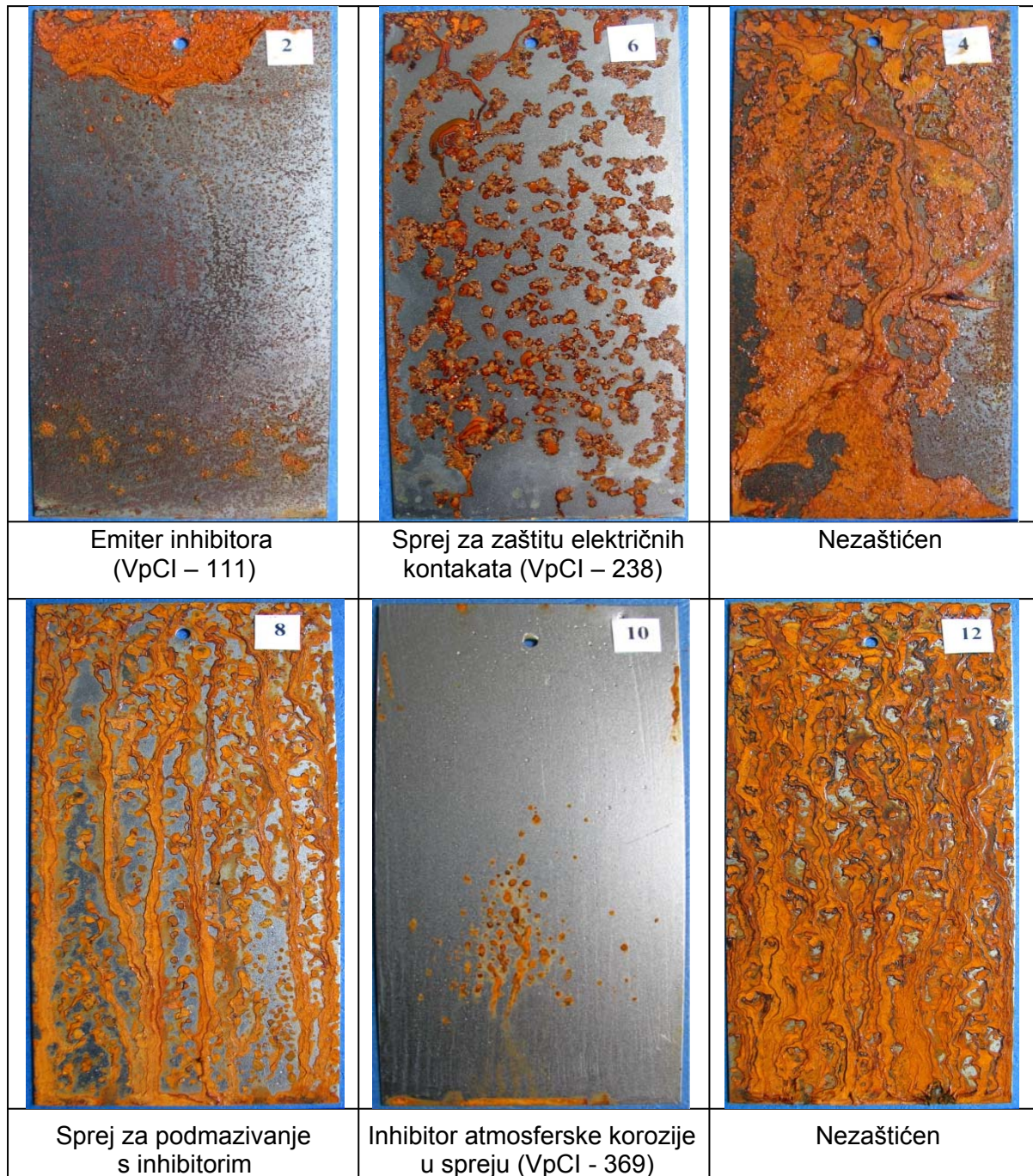
Nakon provedenog ispitivanja uzoraka u slanoj komori u trajanju od 4 sata (slika 42.) nema uočljivih većih promjena na površinama uzoraka za razliku od prethodne provjere ( prije 2 sata).



**Slika 42.** Stanje uzoraka nakon 4 sata ispitivanja u slanoj komori [3]

### 5.3.3. Stanje uzoraka nakon 24 sata ispitivanja u slanoj komori

Nakon provedenog ispitivanja uzoraka u slanoj komori u trajanju od 24 sata (slika 43.) vidljivo je da su svi uzorci zahvaćeni korozivnim produktima. Intenzitet korozije je ipak znatno veći na uzorcima bez zaštite, kojima je površina gotovo u potpunosti zahvaćena korozijom, nego na zaštićenim uzorcima prvenstveno na uzorku zaštićenim hlapivim inhibitorom korozije VpCI – 369.



**Slika 43.** Stanje uzoraka nakon 24 sata ispitivanja u slanoj komori [3]

#### 5.4. Ispitivanje uzoraka u morskoj atmosferi

Za ispitivanje u morskoj atmosferi pripravljeno je šest uzoraka. Uzorci su odmaščeni, a zatim zaštićeni hlapivim inhibitorima korozije prema tablici 4. Ispitivanje je započeto 24.05.2008 i trajalo je petnaest dana.

	priprema površine	vrsta zaštite	ispitivanje
<b>uzorak 1</b>	odmaščivanje s acetonom	omotan u VCI vrećicu	morska atmosfera
<b>uzorak 2</b>	odmaščivanje s acetonom	omotan u običnu vrećicu	morska atmosfera
<b>uzorak 3</b>	odmaščivanje s acetonom	inhibitor atmosferske korozije u spreju(VpCI – 369)	morska atmosfera
<b>uzorak 4</b>	odmaščivanje s acetonom	bez zaštite	morska atmosfera
<b>uzorak 5</b>	odmaščivanje s acetonom	Sprej za zaštitu električnih kontakata (VpCI – 238)	morska atmosfera
<b>uzorak 6</b>	odmaščivanje s acetonom	Sprej za podmazivanje s inhibitorom	morska atmosfera

**Tablica 6.** Plan ispitivanja u morskoj atmosferi

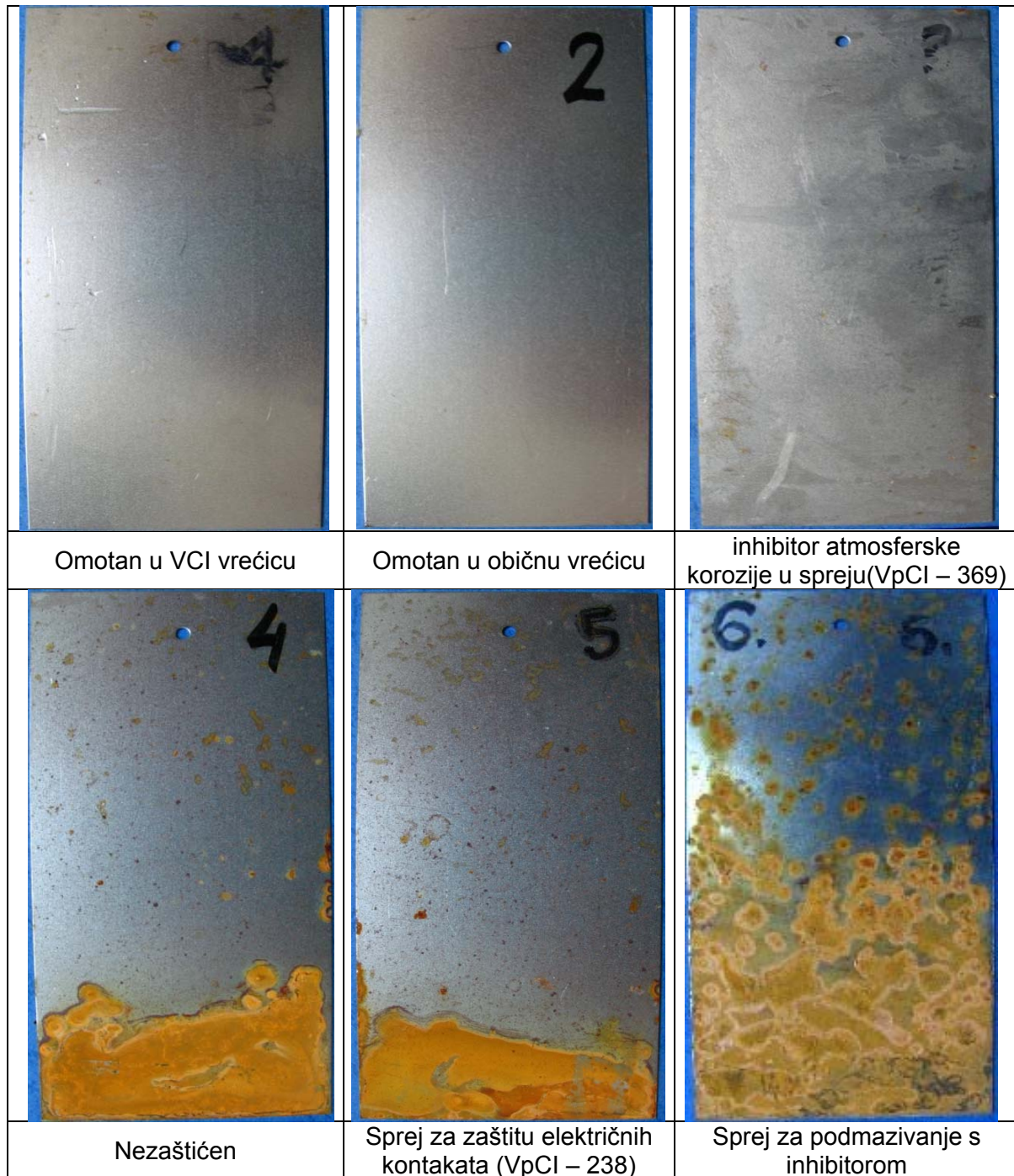


**Slika 44.** Priprema uzoraka prije ispitivanja u morskoj atmosferi [3]



#### 5.4.1. Stanje uzoraka nakon 15 dana ispitivanja u morskoj atmosferi

Nakon ispitivanja uzoraka u morskoj atmosferi u trajanju od 15 dana (slika 45.) može se uočiti pojava korozijskih produkata na površini uzorka koji nije zaštićen i na uzorcima koji su zaštićeni VpCI – 289 i All Purpose Lubricant, dok na uzorcima omotanim u VCI i običnu vrećicu, te zaštićenom VpCI – 369 nema vidljive korozije.



**Slika 45.** Stanje uzoraka nakon 15 dana ispitivanja na terenu u morskoj atmosferi, Šibenik [3]

## 5.5. Zaključak eksperimentalnog dijela rada

U eksperimentalnom dijelu rada provedena su korozijska ispitivanja uzoraka od ugljičnog čelika, zaštićenih različitim inhibitorima korozije u vlažnoj i slanoj komori te terenska ispitivanja u morskoj atmosferi.

Kod ispitivanja u vlažnoj komori, u trajanju od 144 sata, hlapivi inhibitori korozije pokazali su zadovoljavajuća zaštitna svojstva. Jedino je kod uzorka u kućištu zaštićenog s emiterom inhibitora vidljiva pojava korozijskih produkata nakon što se kućište otvaralo kod provjere stanja nakon 24 i 96 sati. To ukazuje da prostore koji su zaštićeni tim inhibitorom, a nisu potpuno hermetički zatvoreni ili se često otvaraju, treba dodatno zaštititi (s još jednim emiterom) ili osigurati manju propusnost samog kućišta. Najbolja svojstva kod ispitivanja u vlažnoj komori pokazali su inhibitor atmosferske korozije u spreju (VpCI – 369) i sprej za podmazivanje s inhibitorom (All Purpose Lubricant).

Kod ispitivanja u slanoj komori, koja je znatno agresivnija okolina od vlažne komore, uzorci zaštićeni inhibitorom su nakon dva sata ispitivanja pokazivali dobre rezultate u zaštiti od korozije, dok je nezaštićeni uzorak potpuno zahvaćen korozijskim produktima, isto tako i nakon četiri sata ispitivanja. Tek nakon 24 sata ispitivanja uzorci su zahvaćeni korozijskim produktima. Intenzitet korozije je ipak znatno veći na uzorcima bez zaštite, kojima je površina gotovo u cijelosti zahvaćena korozijom, za razliku od uzoraka koji su bili zaštićeni hlapivim inhibitorima prvenstveno inhibitorom atmosferske korozije u spreju.

Na terenskom ispitivanju u morskoj atmosferi koje se provodilo u Šibeniku u trajanju od petnaest dana, dobra zaštitna svojstva pokazali su inhibitor atmosferske korozije u spreju i vrećica s VCI inhibitorom koja može biti pogodna za zaštitu na području konzerviranja dijelova u maloj brodogradnji.

Eksperimentalni rad je pokazao mogućnost uporabe hlapivih inhibitora korozije u maloj brodogradnji na području konzerviranja dijelova te za zaštitu električnih dijelova brodskih instalacija i opreme. U svim provedenim ispitivanjima najbolja svojstva i najdugoročniju zaštitu od korozije pokazao je inhibitor atmosferske korozije u spreju (VpCI – 369), dok drugi hlapivi inhibitori koji su korišteni u ovim ispitivanjima pokazuju također prihvatljiva zaštitna svojstva, ali zaštita traje kraće pa je potrebna češća zamjena ili dodatna zaštita još nekim hlapivim inhibitorom korozije.

## 6. ZAKLJUČAK

U diplomskom radu sažeto su prikazane suvremene tehnologije zaštite od korozije koje se danas koriste u maloj brodogradnji s posebnim osvrtom na primjenu hlapivih inhibitora korozije.

U radu je prikazan mehanizam djelovanja inhibitora korozije, opisane su pojedine vrste inhibitora i navedena područja upotrebe. Posebno je obrađeno područje uporabe hlapivih inhibitora korozije za zaštitu brodskih konstrukcija, te zaštitu električnih dijelova brodskih instalacija i opreme.

Korektno projektirana i izvedena zaštita od korozije pri gradnji broda je od egzistencijalne, a ne samo estetske važnosti za brod. Pravilnom uporabom suvremenih tehnologija zaštite od korozije postiže se planirana trajnost i funkcionalnost broda, a isto tako zaštita od korozije značajno utječe na cijenu broda, stoga i najmanje unapređenje u primjeni tehnologije zaštite od korozije može značiti i velike uštede. Usprkos velikim štetama koje se javljaju kao posljedice djelovanja korozije još uvijek se korozijskoj zaštiti ne pridaje dovoljna pozornost čemu svjedoče brojne havarije uzrokovane korozijskim razaranjem.

Na temelju eksperimentalnog rada može se zaključiti da se primjena inhibitora korozije može proširiti, čime se problemi zaštite od korozije mogu smanjiti. Iako se još uvijek ne koriste u dovoljnoj mjeri inhibitori korozije imaju veliku mogućnost primjene, no to treba prepoznati i tehnologiju primijeniti na odgovarajući način. Njihova primjena, bez sumnje, znači tehnološki kao i ekonomski napredak, kad se radi o zaštiti od korozije u brodogradnji.

## 7. LITERATURA

- [1] I. Esih : "Osnove površinske zaštite", FSB, Zagreb, 2003
- [2] MATERIALS PERFORMANCE : Corrosion prevention worldwide
- [3] Arhiva katedre za zaštitu materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
- [4] pierre.fkit.hr/files/poslijediplomski/KIZ/KIZ\_letak.pdf
- [5] J.R. Davis : ASM HANDBOOK, Volume 13 Corrosion
- [6] B. Janić , A. Rašetić : "Korozija – elektrokemijske osnove i katodna zaštita ", Korexpert, Zagreb, 2003
- [7] Arhiva NCP – Remontnog Brodogradilišta Šibenik
- [8] Davis, A., Williamson, P.: "Marine Biofouling: a sticky problem", *NERC News*, 1996
- [9] I. Esih, Z. Dugi : "Tehnologija zaštite od korozije", Školska knjiga, Zagreb, 1990
- [10] I. Juraga, V. Šimunović : "Teorijske osnove korozijskih procesa", Zagreb, 2005
- [11] J. Morgan : "Cathodic Protection", Houston, 1987
- [12] "Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, dio 24. Nemetalni materijali", Hrvatski registar brodova, 2000

- [13] I. Juraga, L. Linardon, V. Šimunović, I. Stojanović: "Zaštita od korozije u brodogradnji", Zbornik radova, 3. Međunarodno savjetovanje, Zavarivanje u pomorstvu, Hvar, 2004
- [14] I. Juraga, V. Šimunović, I. Stojanović: "Primjena inhibitora u zaštiti od korozije u brodogradnji", Zbornik radova, 17. simpozij Teorija i praksa brodogradnja, Sorta 2006, Opatija, 2006
- [15] T. Filetin, F. Kovačićek, J. Indof : "Svojstva i primjena materijala", FSB, Zagreb, 2006
- [16] [www.fsb.hr/NewsUpload/30\\_09\\_2006\\_4638\\_materijali\\_u\\_brodogradnji\\_skripta.doc](http://www.fsb.hr/NewsUpload/30_09_2006_4638_materijali_u_brodogradnji_skripta.doc)
- [17] I. Juraga, V. Šimunović, I. Stojanović, Vjenceslav Parat : "Konstrukcijsko – tehnološke mjere i smanjenje korozijskih oštećenja ", 3. Međunarodno znanstveno – stručno savjetovanje, Slavonski Brod, 2005
- [18] E. Stupnišek – Lisac : "Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala", Zagreb, 2007
- [19] [www.pfst.hr/data/materijali/skriptaFSB.pdf](http://www.pfst.hr/data/materijali/skriptaFSB.pdf)
- [20] I. Esih: "Teorija zaštite od korozije i njena primjena s posebnim osvrtom na inhibitore", Seminar: Primjena inhibitora korozije u zaštiti inženjerskih konstrukcija, HDZaMa, Zagreb, 2001
- [21] N. Warren : "Metal corrosion in boats"
- [22] <http://www.cortecvci.com/Products/products.php>

## 8. PRILOG

## VpCI™ EMITTING SYSTEMS & ELECTRONIC PRODUCTS



### OPIS PROIZVODA

VpCI-111 emiter je proizvod za zaštitu od korozije metalnih komponenta i dijelova, koji se nalaze u zatvorenim neventiliranim kućima, upravljačkim ormarima po pogonima i kutijama sa raznim alatima. Jedan emiter štiti prostor od 312 litara. Aktivna tvar emitira hlapi i zasićuje unutrašnjost prostora stvarajući zaštitni monomolekulski film na svim površinama i udubinama i na ovaj jednostavan način štiti od korozije kompleksnu i skupu elektroničku opremu tijekom rada, transporta ili skladištenja. VpCI-111 je mali patentirani plastični emiter sa propusnom Tyvek membranom kroz koju pare inhibitora hlape u prostor, dok se istovremeno vlaga i zagađivači u zraku adsorbiraju na njemu. VpCI-111 daje dugoročnu zaštitu od korozije, čak ako je prisutna sol, vlaga, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> i drugi..

### GLAVNE PREDNOSTI

- Ekonomičan za upotrebu.
- Vrlo jednostavan za instaliranje.
- Pruža kontinuiranu zaštitu do 24 mjeseca tijekom rada ili stajanja.
- Efikasan u zagađenoj i vlažnoj okolini.
- Na djeluje na električna, optička i mehanička svojstva metala
- Omogućuje zaštitu za crne i obojene metale.
- Nije otrovan i siguran je za upotrebu.
- Kompaktan, štedi prostor i ne smeta ostalim komponentama.
- Bez nitrita, silikona, fosfata.
- 

### PRIMJENA

- Električna i elektronska oprema tijekom rada transporta i skladištenja
- Brodska navigacijska i komunikacijska oprema
- Elektronska oprema za kontrolu zračnog prostora
- Električni motori
- Sklopke
- Kutije za osigurače i kutije za razvođenje električne energije
- Medicinska oprema
- Mjerni instrumenti

Telekomunikacijska oprema i elektronička oprema za daljinsko upravljanje

## NAČIN PRIMJENE

Instaliranje VpCI-111 emitira je vrlo jednostavno i pogodno. Primjenu treba učiniti što je ranije moguće, prvenstveno tijekom proizvodnje ili sastavljanja opreme. Jednostavan odabir prostora unutar uređaja kojeg treba zaštititi od korozije.

Površina na koju se lijepi VpCI-111 mora biti čista i bez krhotina. Skini zaštitu s ljepljive trake na spužvi i zalijepi na čistu površinu. VpCI-111 može biti instaliran u bilo kojoj poziciji. Za obujme veće od 312 l instaliraj još jedan VpCI-111. Ako zatvoreni prostor nije potpuno hermetičan ili se često otvara, zamjenu VpCI-111 treba napraviti prije isteka vremena od 24 mjeseca. Nakon montaže ili zamjene emitira spredem VpCI-238 nanijeti vrlo tanak film po unutrašnjosti uređaja.

## SPECIFIKACIJA

Pojava: zelena posuda s membranom

Standardna dimenzija sa samoljepljivom trakom na poleđini: 58 mm x 32 mm.

Pakiranje: 10 komada u kartonskoj kutiji.

Zaštita: 312 litara

*Samo za industrijsku uporabu*

*Čuvati dalje od dohvata djece*

*Držati bačve dobro zatvorene*

*Pregledati sigurnosnu listu o proizvodu prije uporabe*

---

Za sve informacije nazovite generalno zastupstvo Cortec Corporation USA u Hrvatskoj

**CorteCros d.o.o. Nova Ves 57, 10000 Zagreb**

Telefon: 385 /1/ 466 92 80, Fax: 385 /1/ 466 73 82, E-mail: info@cortecros.hr, Internet <http://www.cortecros.hr>



## VpCI™ EMITTING SYSTEMS & ELECTRONIC PRODUCTS

# VpCI-238 Sprej/Tekućina



### OPIS PROIZVODA

VpCI-238 koristi se za zaštitu od utjecaja okoliša, gdje kontinuiranim isparavanjem inhibitora štedi novac, te zaustavlja koroziju. VpCI-238 stvara vrlo tanki film koji štiti od agresivnog djelovanja okoliša, uključujući industrijske, pomorske i tropske klimatske uvjete. Ovaj film ne utječe na električne ili magnetske osobine metala. VpCI-238 može se sigurno koristiti za zaštitu niskonaponskih krugova ili releja bez bojazni za promjene u kondukciji. Može biti sigurno korišten sa plastikom, gumom i drugim ne-metalima. U uvjetima zaštite od korozije, VpCI-238 je izvrstan čistač kontakta od ulja i drugih nečistoća.

VpCI-238 je efektivna zaštita od galvanske korozije za većinu metala kao što su aluminij, bakar, obojeni i neobojeni metali, te zbog toga svoju primjenu nalazi u elektronici. VpCI-238 je izolator i bez CFC i 1,1,1 trikloretana. Primjena osigurava trenutnu zaštitu od korozije. U slučajevima gdje se mogu pojaviti različite vrste korozija, VpCI-238 može se koristiti sa serijom VpCI 100 (emiteri, spužve) za ekstra dugotrajnu zaštitu.

### OSNOVNE OSOBINE

- Trenutna zaštita od korozije.
- Ne sadrži CFC i 1,1,1 trikloretan.
- Stvara isparavajući film u ventiliranim i neventiliranim okolinama.
- Može se koristiti i kao sredstvo za čišćenje električnih uređaja.
- Odstranjuje vlagu i stvara karakterističan penetrirajući film.
- NSN 6850 01-413-9361

### OSNOVNA PRIMJENA

- Štampane ploče.
- Električni kontakti i komponente.
- Električni motori.
- Dugotrajna zaštita električnih uređaja.
- Zaštita bakra, obojenih i neobojenih metala, aluminija, itd.
- Povećana zaštita od korozije, manja cijena koštanja od konvencionalnih metoda zaštite od korozije.
- Može biti primjenjiv u kontaktu s plastikom, gumom i drugim ne-metalima.
- Generatori, električni ormari.
- Upotreba spreja nakon završne montaže ili u pogonima kod preventivnog održavanja električnih uređaja.

## **PRIMJENA**

**Kod upotrebe spreja:** nanesti tanki film na površinu koja se želi zaštititi.

**VAŽNO:** Nanošenje debljeg filma rezultirati će i debljim slojem pa će time i sloj biti duže vlažan.

**Veće količine nanošenja nisu potrebne jer mogu uzrokovati komplikacije kod električnih spojeva.**

**Kod težih čišćenja:** Jače uprljani dijelovi mogu se čistiti ili zaštititi kupkom sa VpCI-238. Višak VpCI-238 nakon kupke otkloni cijeđenjem, obriši sa krpom, spužvom. Upotreba zraka pod tlakom ili kompresora nije preporučljiva.

Potrebna količina VpCI-238 za dovoljnu količinu isparavanja ovisi o faktorima kao što su zatvorenost hermetičnih kutija (cirkulacija zraka), volumen posude, atmosferski uvjeti, gustoća/poroznost stijenki kutije.

Primjena je djelotvorna do 6 mjeseci uz odgovarajuću kontrolu.

## **PAKIRANJE I SKLADIŠTENJE**

VpCI-238 dostupan je u originalnom pakiranju od 480, 360 ml sprej i karnister 19 l. VpCI-238 ne izlagati visokim temperaturama i skladištiti u normalnim skladišnim uvjetima. Rok trajanja tri godine u originalnom pakovanju.

## **TESTIRANJE**

VpCI-238 testiran je kod svjetski poznatih laboratorija pod uvjetima ubrzanog gibanja prema Batelle Flowing Mixed Gas Test u uvjetima okoliša klase III. Rezultati su pokazali odličnu multimetalnu zaštitu.

Promjena otpora filma VpCI-238	
Vrijeme (min)	Otpor (om)
Početno	Preko 20 MΩ
Trenutno	7,83 MΩ
1 minuta	8,71 MΩ
2 minute	10,96 MΩ
3 minute	12,36 MΩ
4 minute	14,40 MΩ
120 minuta	Preko 20 MΩ

*Samo za industrijsku uporabu*

*Čuvati dalje od dohvata djece*

*Držati bačve dobro zatvorene*

*Pregledati sigurnosnu listu o proizvodu prije uporabe*

---

Za sve informacije nazovite generalno zastupstvo Cortec Corporation USA u Hrvatskoj

**CorteCros d.o.o. Nova Ves 57, 10000 Zagreb**

Telefon: 385 /1/ 466 92 80, Fax: 385 /1/ 466 73 82, E-mail: info@cortecros.hr, Internet <http://www.cortecros.hr>

# VpCI-369

4119 WhiteBear Parkway, St. Paul, MN 551100 USA  
Phone (612)429-1100, Fax (612)429-1122  
Toll Free (800) 4-CORTEC, E-mail [info@cortecvci.com](mailto:info@cortecvci.com)  
Internet <http://www.cortecvci.com>

### OPIS PROIZVODA

**VpCI-369** je jedan od najboljih Cortec-ovih inhibitora koji se upotrebljava kao aditiv za ulja ili kao premaz. **VpCI-369** koristi se za zaštitu nepokrivenih vanjskih i unutarnjih metalnih površina koje mogu doći u dodir sa vanjskim utjecajima vrlo agresivne atmosfere tijekom skladištenja, obrade ili korištenja, te konzerviranje opreme i pogona, opreme na terenu ili pri transportima.

### KARAKTERISTIKE

- Stvara podmazivi prozirni smeđkasti sloj.
- Termički stabilan premaz u širokom rasponu temperatura.
- Odličan industrijski podmazivač
- Produžuje vijek alat za obradu metala
- Odlična zaštita na otvorenom
- Odličan aditiv za ulja
- Razrediv s uljima
- Tiksotropan i otporan na ulegnuća i ispiranja.
- Istiskuje vlagu i stvara penetrirajući film.
- Odlična otpornost na UV-zračenje.
- U skladu s MIL-C-16173D (Grade2)
- NSN 8030-00-244-1297

### OSNOVNE KARAKTERISTIKE

VpCI-369 je uklonjivi premaz koji omogućuje optimalnu zaštitu od korozije za metale i opremu izloženu vanjskim djelovanjima okoline.

### DODATNE PREDNOSTI

- 60 mjesečna zaštita u zatvorenom skladištu, te zaštita do 24 mjeseca skladištenje na otvorenom.
- Premaz se uklanja sa običnim razrjeđivačem, alifatskim otapalima ili alkalnim čistačima .
- Zaštitni premaz je samoobnovljiv.
- Dobra podmazivost pri pomicanju ili klizanju metalnih elemenata
- Efikasan u širokom području primjena i pod različitim uvjetima vanjske okoline.
- Premaz termički stabilan od - 40 ° C do 93 ° C.
- Kao nevodljivi premaz onemogućuje stvaranje galvanskih struja između različitih metala.
- Odlična zaštita od korozije u slanim sredinama
- Nikakva posebna priprema površine metala nije potreba prije nanošenja premaza. Može se primijeniti na vlažne, uljne i hrđave površine.

---

Za sve informacije nazovite generalno zastupstvo Cortec Corporation USA u Hrvatskoj

**CorteCros d.o.o. Nova Ves 57, 10000 Zagreb**

Telefon: 385 /1/ 466 92 80, Fax: 385 /1/ 466 73 82, E-mail:[info@cortecros.hr](mailto:info@cortecros.hr), Internet <http://www.cortecros.hr>

## OSNOVNA PRIMJENA

VpCI-369 koriste se za zaštitu nepokrivenih vanjskih površina i unutarnjih površina koje mogu doći u dodir sa vanjskim utjecajima vremena tijekom skladištenja, obrade ili korištenja, naročito u slučajevima gdje se traži podmazivi film.

- Zaštita vanjskih i unutarnjih površina velikih strojeva, cijevi i opreme. Zatim zaštita cijevi za bušenje, pumpi, izmjenjivača topline, kotlova, turbina i transformatora.
- Konzerviranje opreme i pogona, opreme na terenu ili pri transportima.
- Zaštita metalnih dijelova, komponenata i strojeva.
- Primjena pri procesima valjanja i dubokog izvlačenja aluminija i čelika.
- Zaštita vanjskih i unutarnjih površina opreme za bušenje i platformi
- Čelična užad, kablovi, žice i lanci.
- Mjenjači, hidraulični klipovi i cilindri.
- Zaštita strukturnih komponenata u građevinarstvu.
- Balastni spremnici, posude za skladištenje i razna druga oprema.

## METODA PRIMJENE

VpCI-369 može se nanositi na površinu metala prskanjem, uranjanjem ili premazivanjem. Debljina premaza od 12.5 do 50 µm preporuča se za zaštitu u natkrivenim i zatvorenim skladištima, a debljina premaza od 50 do 75 µm za zaštitu na otvorenom prostoru. VpCI-369 može se razrjeđivati sa običnim razrjeđivačem ili drugim derivatima nafte da se olakša primjena. Može se dodati u ulja da se pojača sposobnost zaštite od korozije.

## METODA UKLANJAJA

VpCI-369 može se odstraniti sa površine metala običnim razrjeđivačem, alifatskim otapalima, alkalnim skidačima ili otapalima za parna čišćenja.

## OSNOVNA SVOJSTA

Izgled	Tamnosmeđa tiksotropna tekućina
Viskozitet	4.000 do 22.000 cps
Plamište	112 °C
Gustoća	0.936-0.960 kg/l (20 ° C)
Tip filma	podmazivi
Preporučljiva debljina suhog filma	50 - 100 µm
Vrijeme sušenja	ostaje podmazivi
Otapalo za uklanjanje	Alkalna sredstva
Teoretsko pokrivanje	12-13 m <sup>2</sup> /l kod 75 mikrona

## SVOJSTVA ZAŠTITE

	ASTM	DFT	Uglični čelik(1010)	Aluminij
Otpornost u vlažnoj komori	D-1748	25 mik.	7000 + sati	3000 + sati
Otpornost u slanoj komori	B-117	25 mik.	500 + sati	1000 + sati

Za sve informacije nazovite generalno zastupstvo Cortec Corporation USA u Hrvatskoj

**CorteCros d.o.o. Nova Ves 57, 10000 Zagreb**

Telefon: 385 /1/ 466 92 80, Fax: 385 /1/ 466 73 82, E-mail:info@cortecros.hr, Internet <http://www.cortecros.hr>

## **ŠTITI METALE**

- ◆ Srebro
- ◆ Nehrđajući čelik
- ◆ Ugljični čelik
- ◆ Lijevano željezo
- ◆ Bakar
- ◆ Magnezij
- ◆ Aluminiij

## **OGRANIČENJA**

Kod mogućnost ispiranja VpCI-369 sa površine zaštićenog metala u zonama ispiranja, jakih kiša ili sličnih uvjeta.

Zaštita s VpCI-369 postiže najbolje rezultate u poluotvorenim odnosno natkritim skladištima.

## **PAKIRANJE I SKLADIŠTENJE**

VpCI-369 pakira se u 0,360 l aerosol sprejeve, 19 L plastične posude (5 gal.) i 208 L bačve. (55 gal.) Proizvod mora biti zatvoren u originalnom pakovanju prije odlaganja u skladište.

Prije upotrebe dobro promiješati.

Trajnost proizvoda je 24 mjeseci.

---

Za sve informacije nazovite generalno zastupstvo Cortec Corporation USA u Hrvatskoj

**CorteCros d.o.o. Nova Ves 57, 10000 Zagreb**

Telefon: 385 /1/ 466 92 80, Fax: 385 /1/ 466 73 82, E-mail: info@cortecros.hr, Internet <http://www.cortecros.hr>

## VpCI™ METALWORKING PRODUCTS

# EcoLine™ All Purpose Lubricant (Univerzalni podmazivač)

### OPIS PROIZVODA



*EcoLine™ All Purpose Lubricant je podmazivač široke primjene namijenjen za korištenje u industriji i kućnoj uporabi. Sadrži aditive za ekstremna opterećenja i trenja. Siguran za korištenje kod svih vrsta metala i većine plastike. EcoLine™ All Purpose Lubricant odlično se ponaša kod primjene na otvorenom i zatvorenom prostoru. EcoLine™ All Purpose Lubricant proizveden je na bio bazi, ulje soje i metil estera soje. Metil esteri soje koriste se kao tehnologija niskog utjecaja otapala. Proizvodi na bazi soje omogućuju izvrsno podmazivanje i biorazgradivost. EcoLine™ All Purpose Lubricant stvara na površini metala zaštitni sloj inhibitora korozije (VpCI). Proizvod posjeduje vodopravnu dozvolu: UPI/II-034-03/06-02/000893. Izvješće o biološkoj razgradljivosti Zavoda za javno zdravstvo grada Zagreba: 05502 58/2006.*

### OSOBINE

- Prihvatljiv za okoliš, biorazgradiv
- Zamjenjuje štetna mineralna ulja
- Produžuje vijek i trajnost strojnim dijelovima smanjenjem trenja i podmazivanjem
- Sadrži (VpCI-vapor corrosion inhibitor) inhibitore korozije koji zaštićuju od korozivnog djelovanja nedostupna mjesta kod odljevaka i prešanih metalnih dijelova
- Omogućuje multimetalnu zaštitu
- Čisti i podmazuje
- Otpušta korodirane i zamrznute dijelove
- Nezapaljiv i neotrovan
- Može se koristiti kao odličan premaz za kalupe kod prešanja, proizvodnje cijevi i metalne opreme
- Sadrži aditive za ekstremna opterećenja i trenja.

### PRIMJENA

- Podmazivanje lanaca i zasuna
- Podmazivanja pokretnih dijelova strojeva
- Podmazivač prirubnica
- Biorazgradivo i zaštitno ulje za strojeve
- Podmazivanje brava i šarki
- Uredski strojevi
- Podmazivač i odvijač

## **ZAŠTITA METALA**

- Ugljični čelik
- Galvanizirani čelik
- Nehrđajući čelik
- Aluminij i legure

## **SVOJSTVA**

- Pojava Bistra do svjetlo smeđa tekućina
- Zaštita od korozije do 24 mjeseca
- Sadržaj nehalapljivih tvari 95-100 %
- Gustoća 0,89-0,91 kg/l

## **REZULTATI TESTIRANJA**

ASTM D 4172    prosječno 0,25 mm

ASTM D 26670

Uvjeti:

Okretanje / 5 min.

Dodano /15 min.

159 kg

408 kg

Rezultati:

Potpuno zahvaćeno prekrivanje 2

gubitak materijala

Nema

## **PAKIRANJE I SKLADIŠTENJE**

EcoLine™ All Purpose Lubricant dostupan je u sprej bocama od 200 ml, 480 ml, 19-litarskim plastičnim bačvama, 208-litarskim metalnim bačvama, kontejnerima za tekućine 1040 litara. Proizvod mora biti dobro zatvoren tijekom skladištenja. Rok uporabe EcoLine™ All Purpose Lubricant je 24 mjeseca.

Napomena: Za pravilno korištenje proizvoda vidi Sigurnosno tehnički list.

*Samo za industrijsku uporabu*

*Čuvati dalje od dohvata djece*

*Držati bačve dobro zatvorene*

*Pregledati sigurnosnu listu o proizvodu prije uporabe*

---

Za sve informacije nazovite generalno zastupstvo Cortec Corporation USA u Hrvatskoj

**CorteCros d.o.o. Nova Ves 57, 10000 Zagreb**

Telefon: 385 /1/ 466 92 80, Fax: 385 /1/ 466 73 82, E-mail: info@cortecros.hr, Internet <http://www.cortecros.hr>