

# PRIMJENA INHIBITORA U VOJNOJ INDUSTRIJI

---

**Liović, Domagoj**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Slavonski Brod / Sveučilište u Slavenskom Brodu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:262:072511>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-24**



*Repository / Repozitorij:*

[repository.unisb.hr](https://repository.unisb.hr) - The digital repository is a digital collection of works by the University of Slavonski Brod.



SVEUČILIŠTE U SLAVONSKOM BRODU  
STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU

# ZAVRŠNI RAD

sveučilišnog prijediplomskog studija

Domagoj Liović  
0367000446

Slavonski Brod, 2024.

SVEUČILIŠTE U SLAVONSKOM BRODU  
STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU

# ZAVRŠNI RAD

sveučilišnog prijediplomskog studija

Domagoj Liović

0367000446

Mentor završnog rada  
prof. dr. sc. Stjepan Aračić

Slavonski Brod, 2024.

## I. AUTOR

Ime i prezime: Domagoj Liović

Mjesto i datum rođenja: Đakovo, 19.10.2002.

Adresa: Lapovci 113, 31411 Trnava

**STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU**

## II. ZAVRŠNI RAD

Naslov: PRIMJENA INHIBITORA U VOJNOJ INDUSTRIJI

Naslov na engleskom jeziku: APPLICATION OF INHIBITORS IN THE MILITARY INDUSTRY

Ključne riječi: inhibitori, korozijska zaštita, konzerviranje

Ključne riječi na engleskom jeziku: inhibitors, corrosion protection, conservation

Broj stranica: 29 slika: 8 tablica: 2 bibliografskih izvora: 15

Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen: STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU

Stečen akademski naziv: Sveučilišni prvostupnik inženjer strojarstva

Mentor rada: prof. dr. sc. Stjepan Aračić

Komentor rada: dr. sc. Tomislav Šolić

Obranjeno na: **Strojarskom fakultetu** u Slavonskom Brodu

Dana: 4.9.2024.

Oznaka i redni broj rada: SFSB-PSS-26/2024

Slavonski Brod, 9. siječnja 2024.

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 2023-2024

Pristupnik: **Domagoj Liović (0367000446)**  
Studij: **Strojarstvo**

Zadatak: **PRIMJENA INHIBITORA U VOJNOJ INDUSTRIJI**

Opis zadatka:

1. OPISATI ELEKTROKEMIJSKU KOROZIJU METALA
2. OPISATI VRSTE AGRESIVNOG MEDIJA, KONTROLIRANA ATMOSFERA
3. PRIVREMENA ZAŠTITA VOJNE OPREME
4. TEHNOLOŠKI POSTUPCI ZAŠTITE VOJNE OPREME
5. KONTROLA I PRAĆENJE EFIKASNOSTI DJELOVANJA INHIBITORA
6. STANDARDI I PROPISI PRIVREMENE ZAŠTITE U VOJNOJ INDUSTRIJI
7. EKOLOŠKO ZBRINJAVANJE OTPADA

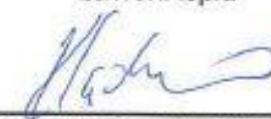
Zadatak uručen pristupniku: 10. siječnja 2024.  
Rok za predaju rada: 10. srpnja 2024.

Mentor:

  
\_\_\_\_\_  
prof. dr. sc. Stjepan Aračić



Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
\_\_\_\_\_  
prof. dr. sc. Ivica Kladarić

Komentor:

  
\_\_\_\_\_  
dr. sc. Tomislav Šolić

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno, koristeći se vlastitim znanjem i literaturom. Izjavljujem da rad nije napisan protiv pravila i da ne krši bilo čija autorska prava. Također izjavljujem da u radu nije korišten dio bilo kojih drugih radova.

U pisanju završnog rada savjetima i uputama pomogao mi je mentor prof.dr.sc. Stjepan Aračić i komentor dr.sc. Tomislav Šolić, te im se iskreno zahvaljujem.

Domagoj Liović

*Domagoj Liović*

## SAŽETAK

Ovaj završni rad istražuje primjenu inhibitora korozije u vojnoj industriji, s posebnim naglaskom na zaštitu vojnih sredstava i oružja. U uvodnom dijelu rada opisani su osnovni mehanizmi nastajanja korozije, uključujući detaljan prikaz elektrokemijske korozije i različitih vrsta agresivnih medija koji doprinose ovom procesu.

Središnji dio rada posvećen je metodama zaštite od korozije primjenom inhibitora. Posebna pažnja posvećena je VpCI (eng. *Vapor phase Corrosion Inhibitor*) folijama i papirima, koji su učinkoviti u stvaranju zaštitne barijere protiv korozivnih elemenata. Također, opisani su postupci konzerviranja oružja koji uključuju upotrebu različitih inhibitora korozije kako bi se produžila operativna sposobnost i vijek trajanja vojnih sredstava. Rad naglašava ključnu ulogu inhibitora korozije u vojnoj industriji, te doprinosi razumijevanju važnosti primjene naprednih zaštitnih mjera u očuvanju operativne sposobnosti i sigurnosti vojnih sredstava.

## **ABSTRACT**

This final thesis explores the application of corrosion inhibitors in the military industry, with a particular emphasis on the protection of military equipment and weapons. The introductory part of the thesis describes the basic mechanisms of corrosion formation, including a detailed presentation of electrochemical corrosion and various types of aggressive media that contribute to this process.

The central part of the thesis is dedicated to methods of corrosion protection through the application of inhibitors. Special attention is given to VpCI (Vapor phase Corrosion Inhibitor) films and papers, which are effective in creating a protective barrier against corrosive elements. Additionally, procedures for the conservation of weapons involving the use of various corrosion inhibitors are described to extend the operational capability and lifespan of military equipment. The thesis highlights the crucial role of corrosion inhibitors in the military industry, contributing to the understanding of the importance of applying advanced protective measures in preserving the operational capability and safety of military assets.



## SADRŽAJ

<b>1 UVOD</b> .....	1
<b>2 ELEKTROKEMIJSKA KOROZIJA METALA</b> .....	2
2.1 VRSTE KOROZIJE .....	2
2.2 OPĆENITO O ELEKTROKEMIJSKOJ KOROZIJI .....	3
2.3 ELEKTROKEMIJSKI POTENCIJAL .....	4
2.4 BRZINA KOROZIJE .....	5
<b>3 VRSTE AGRESIVNOG MEDIJA</b> .....	8
3.1 ATMOSFERSKA KOROZIJA .....	8
3.2 KOROZIJA U TLU .....	10
3.3 KOROZIJA U ELEKTROLITU .....	10
3.4 KOROZIJA U SUHIM PLINOVIMA.....	11
3.5 KOROZIJA U MORSKOJ VODI .....	11
3.6 KONTROLIRANA ATMOSFERA .....	13
<b>4 PRIVREMENA ZAŠTITA VOJNE OPREME</b> .....	14
4.1 KLASIFIKACIJA INHIBITORA.....	14
4.1.1 Anodni inhibitori .....	15
4.1.2 Katodni inhibitori .....	15
<b>5 TEHNOLOŠKI POSTUPCI ZAŠTITE VOJNE OPREME</b> .....	16
5.1 KONZERVIRANJE.....	16
5.2 HLAPIVI INHIBITORI KOROZIJE .....	17
5.2.1 VpCI folije.....	18
5.2.2 VpCI-146 papir.....	18
5.2.3 VpCI-369 Tekući koncentrat za zaštitu na otvorenom .....	19
<b>6 KONTROLA I PRAĆENJE EFIKASNOSTI DJELOVANJA INHIBITORA</b> .....	21
6.1 RAZOR BLADE TEST .....	21
6.2 VIA TEST .....	22

<b>7 STANDARDI I PROPISI PRIVREMENE ZAŠTITE U VOJNOJ INDUSTRIJI .....</b>	<b>23</b>
<b>8 EKOLOŠKO ZBRINJAVANJE OTPADA .....</b>	<b>25</b>
<b>9 ZAKLJUČAK.....</b>	<b>27</b>
<b>10 LITERATURA.....</b>	<b>28</b>

## **PREGLED VELIČINA OZNAKA I JEDINICA**

$E$  - elektrodni potencijal / V

$v$  - brzina korozije / mm/god.

$\Delta m$  - razlika mase / kg

$A$  - površina uzorka / mm<sup>2</sup>

$\Delta t$  - vrijeme trajanja pokusa / h

## 1 UVOD

Korozija je proces koji neumoljivo nagriza materijale, izazivajući njihovu degradaciju i često ozbiljne posljedice po funkcionalnost i sigurnost sustava. Bez obzira na napredak tehnologije, korozija ostaje stalna prijetnja mnogim industrijama, infrastrukturi i svakodnevnom životu. Razumijevanje ovog procesa i razvoj učinkovitih strategija prevencije i remedijacije ključni su za očuvanje integriteta materijala i osiguranje njihove dugotrajne upotrebljivosti.

Očuvanje materijala od korozije ključno je za osiguranje dugoročne održivosti infrastrukture i industrije te zaštite okoliša. Stoga, razumijevanje mehanizama korozije i primjena efikasnih preventivnih mjera poput inhibitora korozije od vitalne su važnosti za suzbijanje ovog globalnog izazova.

Globalni trošak korozije bio je procijenjen na 2,5 bilijuna američkih dolara (USD) u 2016., prema studiji koju je objavio NACE (eng. *National Association Of Corrosion Engineers*) International. Uzimajući u obzir inflaciju, taj bi broj danas lako mogao premašiti 3 bilijuna američkih dolara (USD). Na ovaj veliki iznos utječu posredni troškovi korozije (havarije, gubitak proizvoda, predimenzioniranje konstrukcija, onečišćenje okoliša,...) i neposredni troškovi (zamjena korodirane opreme, održavanje, provođenje zaštite). Stoga je od velikog ekonomskog značaja što je više moguće smanjiti procese nastanka korozije i dovesti ih do tehnološki prihvatljivih iznosa [1].

Inhibitori korozije, premazi, legure, anodna zaštita, katodna zaštita, kao i uporaba pasivnih materijala samo su neki od načina kako se može zaštititi materijal od korozije. Svi ovi pristupi imaju za cilj smanjiti ili spriječiti kontakt materijala s agresivnim kemijskim sredstvima ili elektrokemijskim procesima koji uzrokuju koroziju. Razumijevanje i primjena ovih metoda ključni su za osiguranje trajnosti i pouzdanosti materijala u različitim okolišnim uvjetima i aplikacijama.

## 2 ELEKTROKEMIJSKA KOROZIJA METALA

Najzastupljeniji oblik korozije metala u našem okruženju je upravo elektrokemijska korozija te ju kao takvu treba dobro poznavati i razumjeti kako bi spriječili njeno napredovanje i destruktivno djelovanje, koje u nekim slučajevima može biti kobno.

### 2.1 VRSTE KOROZIJE

Prema mehanizmu nastajanja razlikujemo:

- kemijsku i
- elektrokemijsku koroziju

Prema sredini u kojoj nastaje korozija razlikujemo:

- korozija u slatkoj vodi,
- korozija u slanoj vodi,
- korozija u tlu,
- korozija u kiselinama,
- korozija u solima,
- korozija u suhim plinovima,
- atmosferska korozija.

Prema geometrijskoj klasifikaciji korozije razlikujemo:

- rupičastu,
- pjegastu,
- jednoliku,
- interkristalnu,
- točkastu,
- koroziju u rascijepu,
- kavitacijsku,
- erozijsku.

## 2.2 OPĆENITO O ELEKTROKEMIJSKOJ KOROZIJI

Elektrokemijska korozija je proces koji nastaje kao rezultat djelovanja korozivskih galvanskih članaka na površini metala izloženoj elektrolitu. U ovom procesu, manje plemeniti dijelovi površine djeluju kao anode, gdje se metal troši kroz ionizaciju i otapanje u elektrolitu, dok istovremeno dolazi do oslobađanja viška elektrona (elektrokemijska oksidacija). Ovi elektroni putuju kroz metal prema plemenitijim dijelovima površine, koji djeluju kao katode. Na katodama se elektroni vežu s oksidansima (poznatim kao depolarizatorima) iz okoline kroz proces elektrokemijske redukcije. Zbog postojanja istovremenih kemijskih reakcija redukcije i oksidacije, ovaj proces često se naziva i redoks-procesom u sastavu metal-elektrolit.

U vodenim elektrolitima, najčešći oksidansi su otopljeni kisik i vodikovi kationi. Ove primarne reakcije na elektrodama korozivskog članka često prate sekundarne reakcije, koje rezultiraju stvaranjem čvrstih produkata, kao što je hrđa, koja je smjesa hidriranih željeznih oksida (slika 2.1). Međutim, postoje i neki čvrsti produkti, poput patine na bakru i njegovim slitinama, koji djeluju suprotno hrđi i zapravo koče koroziju. Ovi produkti mogu stvoriti zaštitni sloj koji sprječava daljnje djelovanje korozije na metalnoj površini [2].



Slika 2.1 Korodirani klizni ležaj

Prilikom oksidacijske reakcije atoma elemenata koji sudjeluju u reakciji atomi gube elektrone i pri tome naboj na tim atomima postaje pozitivniji. Ovaj proces još se naziva i anodnim procesom.

Primjer oksidacije:

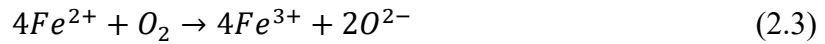


Redukcijska reakcija je obrnuta od oksidacijske, jer prilikom ove reakcije atomi uključenih elemenata u ovoj reakciji na sebe primaju elektrone. Ovaj proces još se naziva i katodnim procesom.

Primjer redukcije:



Primjer redoks reakcije uz prisustvo vode koja je presudna za stvaranje hrđe:



### 2.3 ELEKTROKEMIJSKI POTENCIJAL

Elektrokemijski potencijal odnosi se na razliku u potencijalu između anode i katode, što rezultira strujanjem elektrona kroz metal u elektrolitu. Kada se metal nalazi u elektrolitu, dolazi do razlika u koncentraciji kisika, soli ili drugih tvari, što rezultira različitim elektrokemijskim potencijalima na različitim dijelovima metala.

Na dijelu metala s većim elektrokemijskim potencijalom (anodi), dolazi do oksidacije metala, što rezultira gubitkom elektrona i formiranjem metalnih iona. Istovremeno, na dijelu metala s nižim elektrokemijskim potencijalom (katodi), dolazi do redukcije, gdje se metalni ioni reduciraju na metal. Ovaj proces stvara koroziju, jer se metalne površine postepeno razgrađuju.

Skala ravnotežnih potencijala određena je time što je kao nula definiran potencijal vodikove elektrode tj. od platinske žice ,skraćeno SHE (eng. *Standard Hydrogen Electrode*), uronjene u vodenu otopinu vodikovih iona aktiviteta  $1 \text{ mol} * \text{ dm}^{-3}$  kroz koji se provlači vodik pod tlakom od  $101325 \text{ Pa}$  na sobnoj temperaturi od  $25^{\circ}\text{C}$  [2].

Razlika potencijala preko reverzibilnih ćelija sastavljenih od bilo koje elektrode i SHE naziva se reverzibilni potencijal te elektrode,  $E$ .

Što je negativniji standardni elektrodni potencijal to je metal elektropozitivniji i može reducirati elektronegativnije elemente (elemente ispod sebe u elektrokemijskom nizu). Taj niz naziva se još i Voltin niz (Tablica 2.1). Pozitivniji elektrodni potencijal imaju plemenitiji elementi te su oni manje skloni procesu elektrokemijske korozije.

Tablica 2.1 *Voltin niz* [2]

VOLTIN NIZ		
ELEMENT		$E_0$ u V
Li	$Li^+ + 1e^-$	-3,05
Al	$Al^{3+} + 3e^-$	-1,66
Fe	$Fe^{2+} + 2e^-$	-0,44
H	$2H^+ + 2e^-$	0
Cu	$Cu^{2+} + 2e^-$	+0,34
Ag	$Ag^+ + 1e^-$	+0,8
Au	$Au^{3+} + 3e^-$	+1,498

## 2.4 BRZINA KOROZIJE

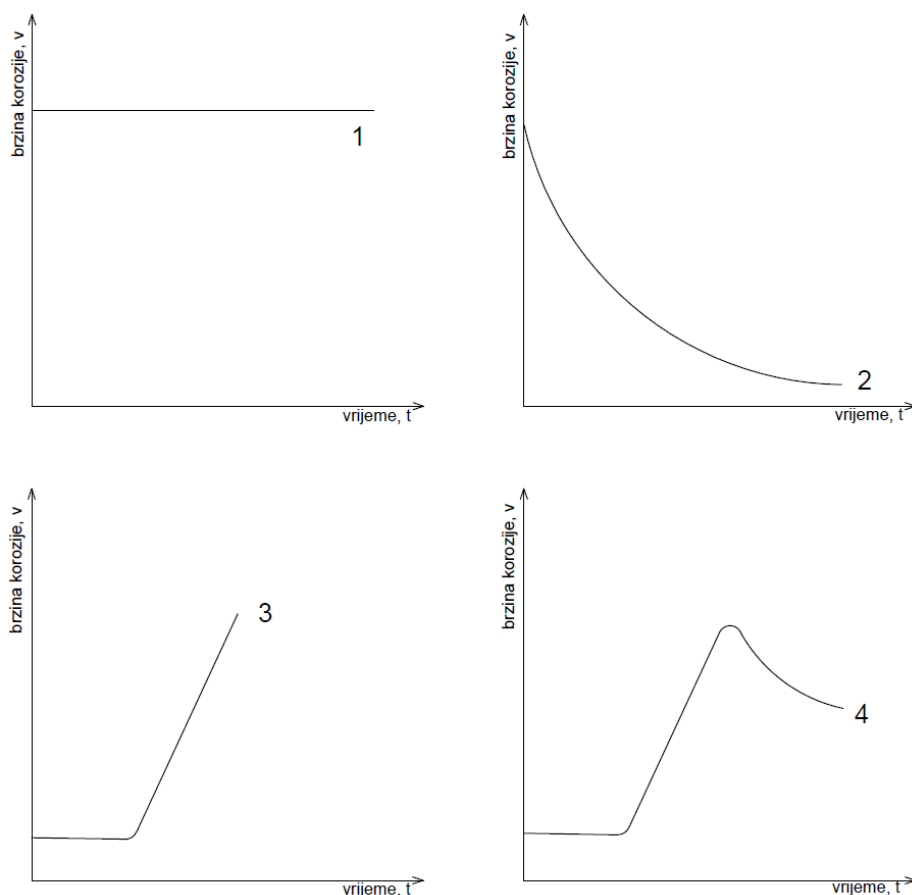
Brzina korozije ovisi o različitim čimbenicima, uključujući:

- vrsta materijala: različiti materijali imaju različite osjetljivosti na koroziju, na primjer, nehrđajući čelik je otporniji na koroziju od običnog čelika,
- tip korozije: postoje različite vrste korozije poput kemijske korozije, elektrokemijske korozije, korozije pod tlakom, korozije uzrokovane mikroorganizmima itd., brzina korozije ovisi o vrsti korozije koja se događa,
- okolišni uvjeti: okolišni uvjeti poput temperature, vlage, kiselosti, prisutnosti soli ili drugih kemikalija mogu značajno utjecati na brzinu korozije, na primjer, metal će se brže korodirati u vlažnoj i kiseloj okolini,
- površinska priprema: površinska obrada materijala može utjecati na njegovu otpornost na koroziju, na primjer, zaštitni premazi ili galvanizacija mogu produžiti vijek trajanja materijala,
- kontakt s drugim materijalima: kontakt s drugim materijalima može ubrzati koroziju, posebno kada se radi o nekompatibilnim materijalima, to može izazvati galvansku koroziju,
- brzina protoka: brzina protoka okoline oko materijala može utjecati na brzinu korozije, na primjer, tekućine koje brzo teku mogu uklanjati produkte korozije s površine materijala, što može usporiti koroziju,



- mehanička naprezanja: mehanička naprezanja kao što su vibracije ili naprezanja od opterećenja mogu utjecati na brzinu korozije, posebno na mjestima gdje dolazi do stvaranja pukotina ili ogrebotina na površini materijala.

Svi ovi čimbenici zajedno određuju brzinu korozije i važno je uzeti ih u obzir prilikom procjene otpornosti materijala na koroziju ili prilikom dizajniranja sustava kako bi se smanjili negativni učinci korozije.



Slika 2.2 Različite brzine korozije

Ovaj dijagram nam pokazuje različite brzine korozije, pa tako razlikujemo:

- 1- linearni tok korozije- brzina korozije je konstantna,
- 2- usporeni tok korozije- brzina korozije se smanjuje tijekom vremena,
- 3- ubrzano linearni tok- brzina korozije neko vrijeme je linearna, zatim ubrzano raste,
- 4- ubrzano usporeni tok korozije- brzina korozije značajno opada s vremenom.

Prosječna brzina korozije u vremenskom razdoblju  $\Delta t$  jednaka je:

$$v = \frac{\Delta m}{A \times \Delta t} \quad (2.4)$$

$v$  - brzina korozije

$\Delta m$  - gubitak mase

$A$  - početna geometrijska ploština metala

$\Delta t$  - vrijeme pokusa

Neke od metoda koje se primjenjuju za ispitivanja korozije i njene brzine su:

- metoda gubitka mase,
- metoda prirasta mase,
- mjerenje množine razvijenog vodika,
- mjerenje množine potrošenog kisika i dr.

### 3 VRSTE AGRESIVNOG MEDIJA

Kod korozije, agresivni mediji su tvari koje potiču ili ubrzavaju procese korozije na metalnim površinama. Ovisno o vrsti metala i uvjetima okoliša, različite tvari mogu djelovati kao agresivni mediji. Razumijevanje vrsta agresivnih medija ključno je za identifikaciju potencijalnih prijetnji korozije i implementaciju odgovarajućih mjera zaštite.

#### 3.1 ATMOSFERSKA KOROZIJA

O vrsti atmosferske korozije uvelike utječe lokacija samog područja u kojoj se ona određuje, a povijesno je bilo uobičajeno klasificirati okruženja kao što su:

- industrijska - ova atmosfera je povezana sa pogonima u teškoj industriji čije prostorije i okruženje mogu sadržavati velike koncentracije sumporovog dioksida, klorida, fosfata, nitrata i drugih teških plinova,
- ruralna - ovakvo okruženje općenito je najmanje korozivno i ne sadrži kemijske zagađivače, već atmosfera sadrži ponešto vlage, kisika i ugljičnog dioksida,
- urbana - dosta slična atmosfera onoj ruralnoj gdje nema industrijskih zagađivača, ali postoji koncentracija plinova zbog ispušnih sustava motornih vozila i goriva za domaćinstva,
- pomorska - vrlo korozivna atmosfera gdje fine čestice klorida nošenih vjetrom dopijevaju na površine metala, značajno ovisi o jačini i smjeru vjetra te o udaljenosti od oceanskih i morskih obala, također u hladnijim klimama ova atmosfera nastaje posipanjem soli za odleđivanje po cestama.

Temperatura ima veliki utjecaj na brzinu atmosferske korozije. Povećanjem temperature pojačat će se elektrokemijske reakcije i difuzijski procesi. Promjene temperature, posebno ekstremne promjene ili termički ciklusi, mogu uzrokovati stresove u metalnim materijalima. Ovi stresovi mogu oslabiti zaštitne slojeve na površini metala, povećavajući osjetljivost na koroziju. Isto tako promjena temperature okoline ubrzava isparavanje vode s površine metala povećavajući koncentraciju korozivnih tvari [2].

Tablica 3.1 Kategorizacija korozivnosti [3]

Kategorija korozivnosti	Atmosfera	
	Vanjski okoliš	Unutarnji okoliš
<b>C1 jako niska</b>	-	Grijane zgrade sa čistom atmosferom poput ureda, škola, bolnica, trgovina, stambenih prostora, hotela.
<b>C2 niska</b>	Lagano onečišćena atmosfera	Negrijane zgrade u kojima može doći do pojave kondenzacije, npr. spremišta, sportske dvorane, prostori za održavanje vozila.
<b>C3 srednja</b>	Urbana i industrijska atmosfera s prosječnom razinom onečišćenja sumpornim oksidom (IV); priobalna područja niske razine saliniteta.	Objekti gdje ima visoke vlažnosti i određeni stupanj onečišćenja zraka, npr. tvornice hrane, prostorije sa bazenima.
<b>C4 visoka</b>	Industrijska područja i područja uz obalu srednjeg saliniteta.	Kemijske tvornice, bazeni, remonta brodogradilišta.
<b>C5 vrlo visoka</b>	Postrojenja za preradu nafte i plina, postrojenja za proizvodnju kemikalija ili postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda te priobalna područja visoke razine saliniteta.	Zgrade u kojima dolazi do stalne kondenzacije pri velikoj koncentraciji onečišćenja.
<b>CX ekstremna</b>	Područja s ekstremno visokom vlažnošću i temperaturom.	Uvjeti u industrijskim postrojenjima s visokom koncentracijom agresivnih kemikalija .

Ova klasifikacija omogućuje preciznije planiranje održavanja, odabir materijala otpornih na koroziju, primjenu zaštitnih premaza i sustava, te prilagodbu inženjerskih dizajna kako bi se osigurala dugotrajnost i pouzdanost konstrukcija, opreme i infrastrukture.

### 3.2 KOROZIJA U TLU

Korozija metala u tlu predstavlja važan aspekt očuvanja infrastrukture i dugovječnosti metalnih konstrukcija, posebno u područjima gdje su izložene zemljištu ili tlu dugoročno. Ovaj proces, iako često manje vidljiv od korozije uzrokovane vodom ili atmosferom, može imati značajan utjecaj na stabilnost i sigurnost različitih struktura, uključujući cjevovode, temelje, mostove i postrojenja.

Nekoliko ključnih aspekata korozije metala u tlu:

- vlažnost tla - voda djeluje kao elektrolit, omogućujući kemijske reakcije potrebne za koroziju, visoka vlažnost može ubrzati proces korozije,
- pH vrijednost tla - kisela tla (niska pH vrijednost) mogu biti posebno korozivna za neke metale, dok neutralna ili alkalna tla mogu pružiti određenu zaštitu od korozije,
- prisutnost kemijskih tvari - tlo može sadržavati različite kemijske tvari koje mogu potaknuti koroziju, npr. prisutnost soli u tlu može povećati koroziju, posebno u priobalnim područjima,
- mikroorganizmi - mogu proizvoditi kiseline ili druge tvari koje potiču koroziju, može biti posebno problematična u područjima s visokom vlagom i organskim materijalima,
- poroznost tla – porozna tla mogu sadržavati više vlažnosti tijekom duljeg perioda.

### 3.3 KOROZIJA U ELEKTROLITU

Elektroliti mogu ubrzati koroziju jer omogućuju lakše protjecanje elektrona između anode i katode. Ovisno o specifičnim uvjetima, kao što su prisutnost različitih iona, koncentracija elektrolita, temperatura i prisutnost drugih kemikalija, korozija u elektrolitu može biti različita. Na primjer, morska voda kao elektrolit ima tendenciju ubrzati koroziju metala zbog prisutnosti klorida i drugih iona. Elektrokemijska korozija objašnjena je pod točkom 2.1.

### 3.4 KOROZIJA U SUHIM PLINOVIMA

Korozija u suhim plinovima, ili korozija u suhoj atmosferi, odnosi se na proces korozije koji se događa kada su metalni predmeti izloženi suhom zraku i drugim atmosferskim uvjetima bez prisutnosti vode ili elektrolita. Iako se čini da bi suhi uvjeti mogli spriječiti koroziju, određene okolnosti i kemijske reakcije mogu i dalje dovesti do korozije metala.

U suhim plinovima, korozija se obično javlja zbog prisutnosti atmosferskih tvari kao što su kisik, sumpor-dioksid, dušik-dioksid, amonijak i drugi plinovi, koji mogu reagirati s metalima i uzrokovati koroziju. Neki od glavnih uzroka korozije u suhim plinovima uključuju:

- oksidacija: kisik u zraku može reagirati s metalima kako bi formirao oksidne slojeve na površini metala, ovi oksidni slojevi mogu biti osjetljivi na daljnju koroziju
- sulfidacija: prisutnost sumpor-dioksida u zraku može dovesti do formiranja sulfidnih spojeva na površini metala, što također može potaknuti koroziju,
- kondenzacija vlage: iako suhi plinovi impliciraju nisku razinu vlage, povremena kondenzacija vlage na površini metala može se dogoditi zbog promjena temperature, ta kondenzacija može stvoriti lokalizirane zone vlažnosti koje mogu potaknuti koroziju,
- elektrokemijski procesi: iako nema slobodne vode koja bi služila kao elektrolit, elektrokemijski procesi još uvijek mogu nastati zbog ionizacije plinova i drugih tvari u zraku, ovi procesi mogu potaknuti koroziju,
- kontaminacija površine: prisutnost zagađivača na površini metala može potaknuti koroziju u suhim plinovima, na primjer, industrijski zagađivači ili ostaci od prljavštine mogu stvoriti površinu koja je osjetljiva na koroziju.

Iako korozija u suhim plinovima može biti sporija i manje očita u usporedbi s korozijom u prisutnosti vode ili elektrolita, i dalje može biti značajan problem, posebno u područjima s agresivnim atmosferskim uvjetima ili industrijskom zagađenju. Preventivne mjere uključuju zaštitu površine metala premazima, redovito održavanje i kontrolu okolišnih uvjeta.

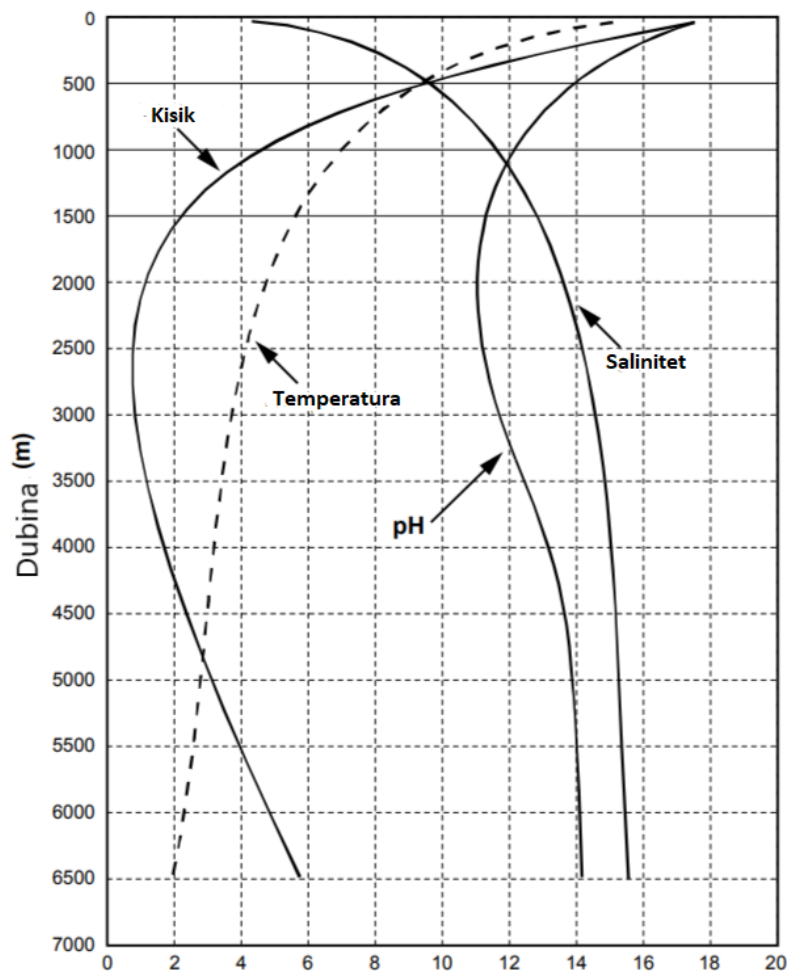
### 3.5 KOROZIJA U MORSKOJ VODI

Korozija u morskoj vodi predstavlja jedan od najizazovnijih problema s kojima se suočavaju metalni materijali koji dolaze u dodir s morskim okolišem. Morska voda, bogata različitim solima, kiselinama, mikroorganizmima i drugim agresivnim spojevima, stvara okruženje

koje je vrlo povoljno za razvoj korozije. Ovaj fenomen predstavlja značajan ekonomski i sigurnosni izazov za industrije kao što su brodogradnja, naftna i plinska industrija, energetika, te za infrastrukturne projekte koji su izloženi morskom okolišu.

Ova vrsta korozije može biti izazvana različitim faktorima, uključujući visoku razinu klorida, otopljeni kisik, varijacije temperature i pH vrijednosti, kao i mehaničke čimbenike poput abrazije. Ovi faktori zajedno stvaraju agresivno elektrokemijsko okruženje u kojem se metalni materijali neprestano podvrgavaju procesima oksidacije i redukcije, što rezultira degradacijom i propadanjem.

Faktori koji utječu na koroziju u morskoj atmosferi mijenjaju se s obzirom na dubinu morske vode, kao što je prikazano na slici 3.1. Ovo istraživanje provedeno je u Tihom oceanu i rezultati ne mogu biti primijenjeni na drugim lokacijama jer učinci dubine variraju od mjesta do mjesta. Recimo, u Atlantskom oceanu puno je veća koncentracija kisika na jednakoj dubini u odnosu na Tihi ocean [2].



Slika 3.1 Varijacije morske vode s obzirom na dubinu u Tihom Oceanu [2]

Jedinice po x osi na slici iznad moraju biti prilagođene kako slijedi: Temperatura, mjerilo  $\times 1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). Kisik, mjerilo  $\times 0,333$  (ppm). pH,  $6.4 +$  mjerilo  $\times 0,1$  (pH jedinica). Salinitet,  $33,0 +$  mjerilo  $\times 0,1$  (‰).

### 3.6 KONTROLIRANA ATMOSFERA

Kontrolirana atmosfera predstavlja ključan koncept u zaštiti od korozije metala i očuvanju njihove funkcionalnosti i trajnosti. Ova tehnika podrazumijeva manipulaciju okolišnih uvjeta oko metala kako bi se stvorilo zaštitno okruženje koje smanjuje ili sprječava procese korozije. Kontrolirana atmosfera se koristi u različitim industrijskim sektorima, uključujući metalurgiju, elektroniku, automobilsku industriju, vojnu industriju i mnoge druge.

Primjeri zaštite od korozije pomoću kontrolirane atmosfere:

- inhibitori korozije: dodavanje određenih spojeva ili plinova u atmosferu oko metala može spriječiti koroziju, primjerice, upotreba inertnih plinova poput dušika ili argona može zaštititi metal od kontakta s kisikom i vlagom, smanjujući tako koroziju,
- vakuum: u nekim slučajevima, uklanjanje zraka i vlage iz okoline metala može spriječiti koroziju, vakuumsko okruženje sprječava prisutnost kisika koji je potreban za koroziju,
- pakiranje i skladištenje: za dugoročnu zaštitu metalnih proizvoda, posebno u transportu i skladištenju, može se koristiti vakuumsko pakiranje ili upotreba inertnih plinova unutar ambalaže kako bi se spriječio kontakt s atmosferskim kisikom i vlagom, Također, vrlo često se koristi i silikagel koji na sebe može primiti vlage od 30 do 40% svoje težine.



## 4 PRIVREMENA ZAŠTITA VOJNE OPREME

Privremena zaštita vojne opreme igra ključnu ulogu u očuvanju funkcionalnosti, dugovječnosti i sigurnosti vojnog inventara. Investiranje u preventivne mjere zaštite od korozije osigurava operativnu spremnost i povećava pouzdanost vojne opreme, što je od presudne važnosti za nacionalnu sigurnost i vojnu moć.

### 4.1 KLASIFIKACIJA INHIBITORA

Inhibitori korozije su tvari koje se dodaju u sustave ili na površine kako bi smanjili ili zaustavili proces korozije metala. Oni djeluju na različite načine, poput stvaranja zaštitnog filma na metalnoj površini, promjene kemijskog okoliša ili neutralizacije korozivnih tvari.

Klasifikacija inhibitora korozije prema njihovom djelovanju na anodno ili katodno ponašanje metala, kao i prema utjecaju na smanjenje kretanja ili difuzije iona do metalne površine, te povećanje električnog otpora metalne površine, može biti korisna za razumijevanje njihovog mehanizma djelovanja. Klasifikacija inhibitora prema ovim karakteristikama:

1. povećanje anodne ili katodne polarizacije [2]:
  - anodni inhibitori,
  - katodni inhibitori,
  - mješoviti inhibitori.
2. smanjenje kretanja ili difuzije iona do metalne površine:
  - blokatori ionske difuzije: ovi inhibitori sprječavaju ili usporavaju kretanje korozivnih iona prema metalnoj površini, čime smanjuju brzinu korozije,
  - film tvoreći inhibitori: stvaraju zaštitni film na metalnoj površini koji sprječava ili usporava difuziju iona korozivne sredine do metala.
3. povećanje električnog otpora metalne površine:
  - pasivatorski inhibitori: ovi inhibitori formiraju zaštitni sloj na metalnoj površini koji povećava električni otpor, smanjujući brzinu korozije,
  - polimerni inhibitori: mogu formirati debeli zaštitni film na metalu koji povećava električni otpor i štiti metal od korozije.

Klasifikacija inhibitora prema sastavu [4]:

- organski i anorganski,
- oksidirajući i neoksidirajući,
- neutralni i alkalni,
- nehlapljivi i hlapljivi.

#### 4.1.1 Anodni inhibitori

Anodni inhibitori djeluju tako što sprječavaju ionizaciju metala odnosno mijenjaju potencijal metala u pasivno područje, takvi anodni inhibitori nazivaju se pasivatori. Postoje dvije vrste pasivatora, a to su: oksidirajući i neoksidirajući [2].

Oksidirajući inhibitori mogu pasivirati čelik u odsustvu kisika tako što tvore stabilne oksidne ili pasivne slojeve. Primjeri oksidirajućih inhibitora uključuju kromate, nitrite, vanadate i druge koji sadrže oksidirajuće anione. Primjeri neoksidirajućih inhibitora uključuju fosfate, tungstate, molibdate i druge neoksidirajuće ione ili spojeve. Ovi inhibitori često zahtijevaju prisustvo kisika kako bi učinkovito pasivirali metalnu površinu [2].

Anodni inhibitori nazivaju se još i „opasnima“ iz razloga što nedovoljna koncentracija inhibitorajućeg spoja može rezultirati ubrzavanjem procesa korozije te je periodički potrebna kalorimetrijska analiza koja nam daje vrlo točne rezultate.

#### 4.1.2 Katodni inhibitori

Uloga katodnih inhibitora korozije je povećavanje polarizacije na katodi, smanjujući brzinu katodne reakcije (na primjer, smanjujući redukciju kisika).

Katodni inhibitori mogu djelovati na tri različita načina i to kao [2]:

1. katodni otrovi: ovi inhibitori djeluju na način da blokiraju ili inhibiraju katodne reakcije (spojevi arsena i antimona),
2. pročišćivači kisika: sprječavaju koroziju inhibirajući katodnu koroziju depolarizacijom uzrokovanom kisikom (primjer  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ),
3. taložni inhibitori: inhibitori se talože na katodnim područjima, stvarajući zaštitni sloj na metalu (kalcij, cink, magnezij).

## 5 TEHNOLOŠKI POSTUPCI ZAŠTITE VOJNE OPREME

Tehnološki postupci zaštite vojne opreme od korozije obuhvaćaju širok spektar metoda i tehnika, razvijenih kako bi se osigurala maksimalna učinkovitost i izdržljivost opreme u uvjetima skladištenja i transporta.

### 5.1 KONZERVIRANJE

Konzerviranje vojne opreme je važan proces koji se provodi kako bi se očuvala funkcionalnost, produžio životni vijek i osigurala spremnost opreme za upotrebu u vojnim operacijama. Konzerviranje uključuje različite tehnike i strategije zaštite, ovisno o vrsti opreme i okruženju u kojem se koristi.

Čišćenje i dekontaminacija: prije konzerviranja, važno je pažljivo očistiti opremu kako bi se uklonili prljavština, soli, kemijski ostaci ili biološki materijali koji mogu potaknuti koroziju ili oštetiti opremu.

Primjena konzervacijskih sredstava: korozivna sredstva se primjenjuju na metalne dijelove vojne opreme kako bi se zaštitili od korozije. To mogu biti ulja, voskovi, masti, premazi ili korozijski inhibitori koji formiraju zaštitni sloj na metalnoj površini. Konzervatori biraju obnovljive premaze koji se lako uklanjaju i opet ponovno nanose. Kod voštanih premaza nije potrebno potpuno uklanjanje postojeće hrđe i starih organskih premaza. Važno je očistiti od masnoća, ukloniti prljavštinu te stare premaze i sloj hrđe s slabom adhezijom. Čišćenje mekom organskom abrazivnom metodom. Postupnim sušenjem iz ovih premaza isparavaju otapala i na čeličnoj površini ostavljaju tanki sjajni sloj koji sprječava prodiranje vlage i nastanak korozije [5].

Održavanje vlažnosti i temperature: kontrola okoline u kojoj se čuva vojna oprema važna je za sprječavanje korozije i drugih oblika oštećenja. Oprema se obično čuva u suhim, dobro ventiliranim prostorima s kontroliranom razinom vlage i temperature.

Redovito održavanje: konzervirana oprema zahtijeva redovito održavanje kako bi se osiguralo da konzervacijska sredstva i zaštitni premazi ostaju učinkoviti. Redovita inspekcija, čišćenje i eventualno dodavanje novih konzervacijskih sredstava važni su za očuvanje zaštite.

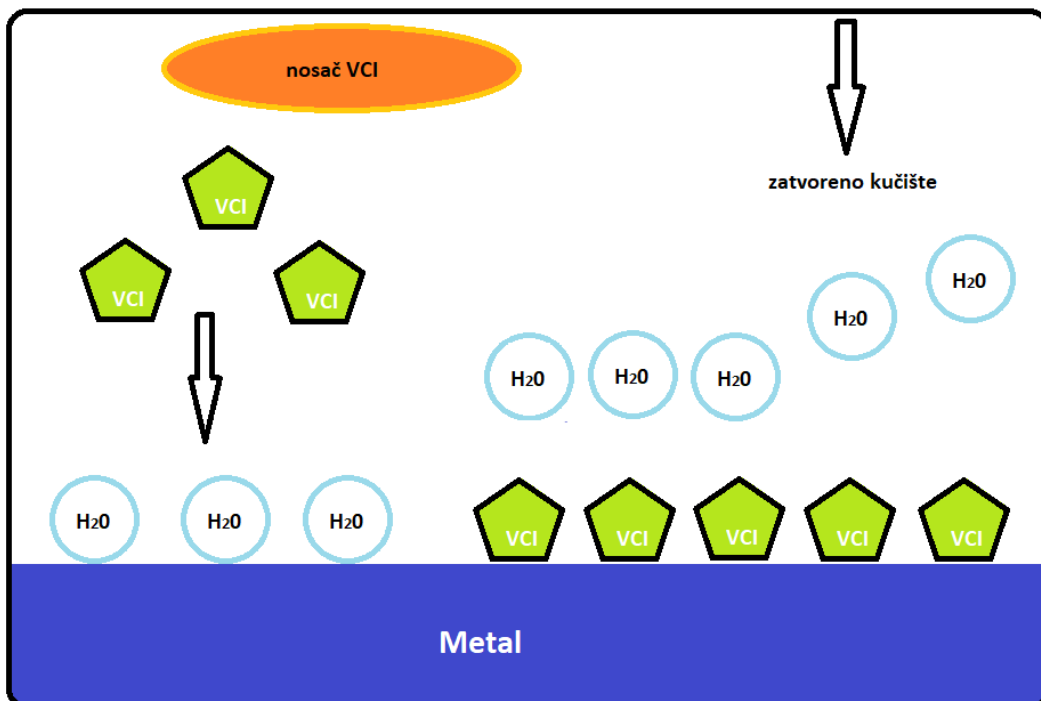
Radno materijalna dorada (RMD) u vojsci obuhvaća procese i postupke kojima se oprema ili materijal dodatno priprema ili poboljšava kako bi se povećala funkcionalnost, izdržljivost ili sigurnost. Ovi procesi mogu uključivati različite aktivnosti, ovisno o vrsti opreme i njezinoj namjeni. Sva sredstva koja se konzerviraju moraju prethodno proći tehnički pregled i biti u planu za radno materijalnu doradu (RMD).

## 5.2 HLAPIVI INHIBITORI KOROZIJE

Hlapivi inhibitori korozije (eng. *Vapor phase Corrosion Inhibitor* ili *VpCI*) su organske tvari koje sprječavaju nastanak korozije stvaranjem zaštitnog sloja na površini metala. Ovi inhibitori djeluju tako da isparavaju s površine metala i stvaraju zaštitni sloj koji sprječava agresivne tvari (poput vode i kisika) da dođu do metala i uzrokuju koroziju. Prednost ovih inhibitora je mogućnost neposredne upotrebe zaštićenog predmeta bez prethodnog uklanjanja i čišćenja zaštitnog ulja ili filma sa metalnih površina [6].

Različite organske tvari koje se koriste kao hlapivi inhibitori imaju i različit tlak pare pa tako tvari sa visokim tlakom pare brže postižu zaštitnu koncentraciju pare uz uvjet da su kućišta u kojemu se hlapivi inhibitori i predmet zaštite nalaze dobro hermetički zatvorena, u suprotnom dolazi do curenja zaštitnog plina u okolinu i brže potrošnje inhibitora, što će rezultirati kraćem razdoblju zaštite. Kod inhibitora s niskim tlakom pare potrebno je veće vremensko razdoblje za postizanje potrebne koncentracije zaštitnog plina, ali inhibitor se ne troši tako brzo [7].

Hlapivi inhibitori koriste se tako što se u hermetički zatvoreno kućište (npr. polietilenska folija, vrećice) dodaju hlapivi inhibitori u obliku praška, ili spužvaste tvari koje su prethodno natopljene otopinom hlapivih inhibitora. Proces nastanka VpCI sloja inhibitora na površini metala prikazano je na slici 5.1 ispod.



Slika 5.1 Formiranje zaštitnog VpCI sloja

### 5.2.1 VpCI folije

Pomoću VpCI folija proizvode se vrećice koje se upotrebljavaju u vojnoj industriji za zaštitu pješackog naoružanja slika 5.2. VpCI vrećice mogu se koristiti neograničeni broj puta, sve do pojave mehaničkog oštećenja vrećice ili do datuma valjanosti konzervacije. Konzervaciju izvode privredna poduzeća, remontna poduzeća i postrojbe. Folija je prozirna što omogućava laku identifikaciju predmeta konzervacije bez otvaranja vrećice. VpCI-126 polietilenska folija je jedna od najkorištenijih VpCI folija [8].



Slika 5.2 Konzervacija oružja VpCI folijom [9]

### 5.2.2 VpCI-146 papir

Premaz na papiru sastoji se od hlapivih inhibitora te njegovim isparavanjem dolazi do metalnih površina na kojima se taloži te štiti metal od korozije. VpCI-146 papir vrlo je jednostavan za upotrebu te nije potrebno nikakvo čišćenje prije daljnje uporabe. Predmet se zamota u papir te po potrebi dodatno učvrsti lijepljenjem (slika 5.3). Papir je biorazgradiv te pogodan za kompostiranje. Moguća je zaštita crnih i obojenih metala [10].



Slika 5.3 Primjena VpCI-146 papira [10]

### 5.2.3 VpCI-369 Tekući koncentrat za zaštitu na otvorenom

Ovaj koncentrat na bazi ulja služi kao barijerni premaz namijenjen korozivskoj zaštiti u zatvorenom i poluzatvorenom prostoru. Koristi se za konzervaciju metalnih predmeta koji mogu doći u dodir sa vanjskim, atmosferskim uvjetima. Sam premaz je ljepljiv, razrjediv (radi lakšeg nanošenja koristi se obični razrjeđivač), samoobnovljiv i proziran film koji je otporan na ogrebotine.

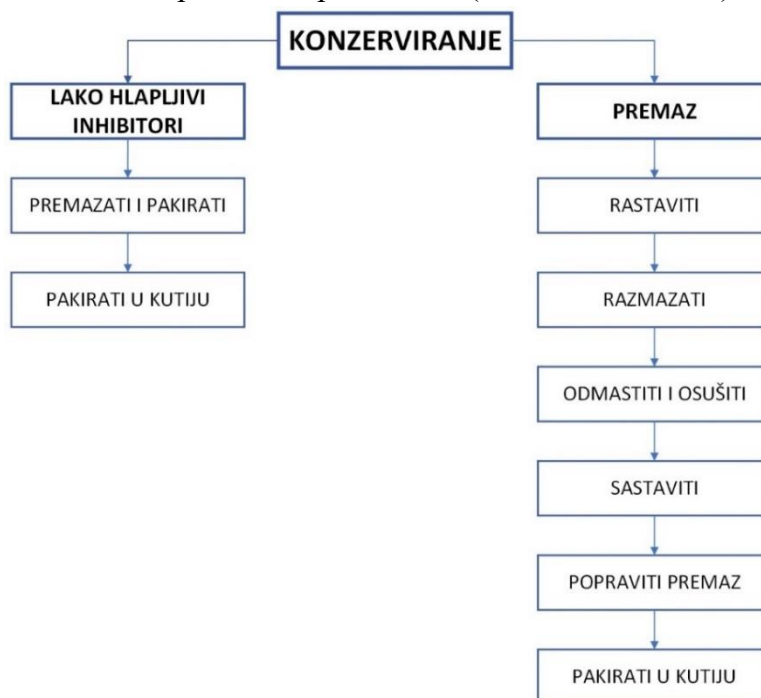
VpCI-369 može se na površine metala nanositi:

- prskanjem s pištoljem,
- uranjanjem,
- premazivanjem.

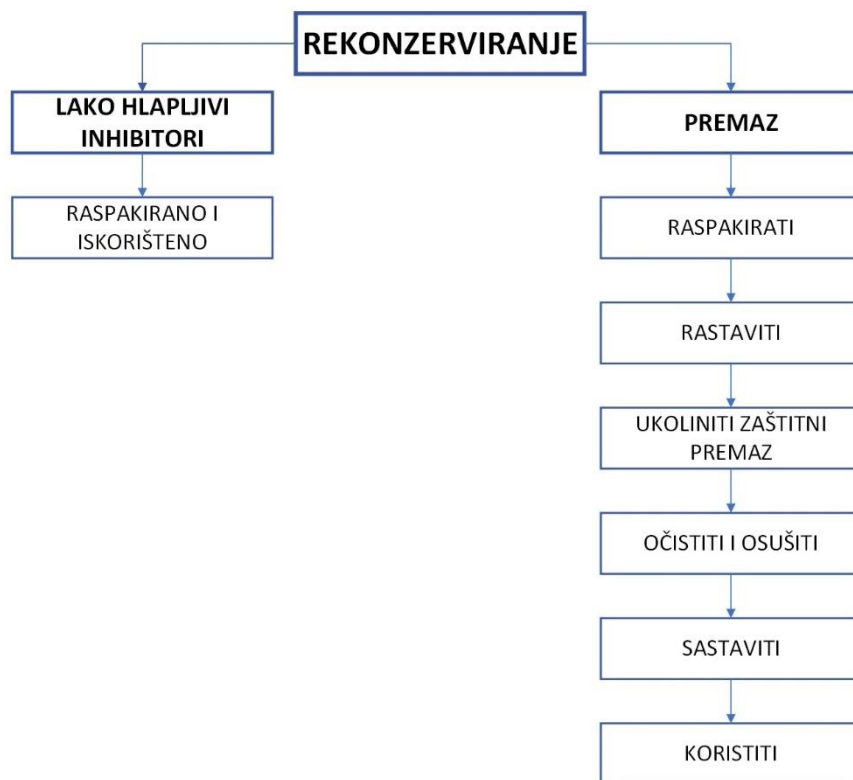
Debljina nanesenog premaza ovisi o uvjetima skladištenja pa tako za zaštitu u natkrivenim i zatvorenim skladištima preporuča se od 12,5 do 50  $\mu\text{m}$ , a u uvjetima otvorenog skladištenja preporuča se debljina od 50 do 75  $\mu\text{m}$ . Prije upotrebe dobro promiješati.

Uklanjanje premaza vrši se pomoću običnog razrjeđivača, alkalnim skidačima ili otapalima za parna čišćenja, a vremenski period zaštite ovim premazom je do 2. godine [11].

Postupci konzerviranja i rekonzerviranja uvelike se razlikuju i pojednostavljuju kod primjene VpCI inhibitora u usporedbi sa premazima (slika 5.4 i slika 5.5)



Slika 5.4 Usporedba postupaka prilikom konzerviranja VpCI metodom i premazima [12]



Slika 5.5 Usporedba postupaka prilikom rekonzerviranja VpCI metodom i premazima [12]

## 6 KONTROLA I PRAĆENJE EFIKASNOSTI DJELOVANJA INHIBITORA

Učinkovitost inhibitora može se izraziti pomoću formule [2]:

$$\text{učinkovitost inhibitora (\%)} = 100 \times \frac{(BK_{\text{neinhibiranog}} - BK_{\text{inhibiranog}})}{BK_{\text{neinhibiranog}}} \quad (6.1)$$

gdje je:

- $BK_{\text{neinhibiranog}}$  = brzina korozije neinhibiranog sustava
- $BK_{\text{inhibiranog}}$  = brzina korozije inhibiranog sustava

Učinkovitost inhibitora povećati će se što je veća koncentracija inhibitorne tvari (npr. dobar inhibitor će imati učinkovitost od 95% sa prisutnom koncentracijom od 0,008%, a 90% učinkovitosti sa koncentracijom od 0,004%) [2].

Inhibitori korozije se obično adsorbiraju na metalne površine, pri čemu je učinkovitost inhibicije obično proporcionalna pokrivenosti površine adsorbiranim inhibitorom. Međutim, kod niske pokrivenosti površine, efikasnost inhibicije može biti veća nego kod visoke pokrivenosti. Ponekad, adsorpcija inhibitora iz razrijeđenih otopina može potaknuti koroziju. Ovi fenomeni su rezultat složenih interakcija između inhibitora, metalnih površina i okoline [2].

Kako bi se odredila efikasnost inhibitora potrebno je provesti laboratorijska ispitivanja na prethodno pripremljenim i očišćenim uzorcima. Za ispitivanje VpCI folija i vrećica najčešće se koriste dvije metode ispitivanja, a to su „Razor blade“ i „VIA“ test.

### 6.1 RAZOR BLADE TEST

„Razor blade“ je brzi laboratorijski test kojim se ispituje efikasnost VpCI folije. Potrebno je pripremiti 4 uzorka od ugljičnog čelika u obliku pločica 70×50 mm te ih očistiti brusnim papirom i uroniti u metanol kako bi se uklonile sve zaostale nečistoće i očistili uzorci od masnoće. Nakon vađenja uzoraka iz metanola dovodi ih se u izravni kontakt s destiliranom vodom te tri od četiri uzorka se prekriva VpCI folijom, a kontrolni uzorak običnom prozirnom folijom. Nakon nekoliko sati vizualno se pregledavaju uzorci u svrhu određivanja efikasnosti VpCI folije. Ukoliko dva od tri ispitna uzorka na površini nemaju nikakve znakove korozije tada ocjenjujemo foliju kao učinkovitu [13].



## 6.2 VIA TEST

Prije provođenja „VIA“ testa potrebno je očistiti i odmastiti uzorke kao i kod „Razor blade“ metode, uzorci kod ove metode su kružnog poprečnog presjeka. Nakon brušenja i čišćenja u metanolu uzorci se spremaju u specijalne staklene posude zajedno sa VpCI folijom. Uzorci postavljeni u držače okrenuti su poliranom stranom prema dolje kako bi bila izložena isparavanju inhibitora. Uzorci moraju odstajati 20 sati u staklenim posudama te nakon toga se dodaje 10 ml 3% otopine glicerola i ponovno se zatvara posuda na dva sata. Nakon dva sata, staklene posude se odnose u pećnicu zagrijanu na 40 °C i drže ponovno dva sata u pećnici. Vade se uzorci iz pećnice te čiste metanolom i ostavljaju na sobnoj temperaturi kako bi se osušili. Nakon sušenja slijedi vizualni pregled uzoraka. S obzirom na zaštitu metala od korozije uzorci moraju biti ocijenjeni s ocjenama 2 ili 3, a ocjene 0 i 1 ne zadovoljavaju [13].

## 7 STANDARDI I PROPISI PRIVREMENE ZAŠTITE U VOJNOJ INDUSTRIJI

Privremena zaštita u vojnoj industriji uključuje niz standarda i propisa koji su osmišljeni kako bi se osigurala sigurnost radnika, zaštita okoliša, i integritet vojnih objekata i opreme. Ovi standardi i propisi često su specifični za pojedine države, ali postoje i međunarodni okviri koji ih reguliraju. Nekoliko ključnih aspekata i standarda koji se obično primjenjuju:

- nacionalni propisi i standardi
  1. zakoni i regulative o nacionalnoj sigurnosti:
    - svaka država ima svoje zakone koji reguliraju rad vojnih industrija, uključujući sigurnosne protokole, postupke za zaštitu podataka, i kontrolu pristupa osjetljivim informacijama,
  2. zakon o radu:
    - ovi zakoni obuhvaćaju prava i sigurnost radnika, uključujući odredbe o radnom vremenu, odmoru, zaštitnoj opremi, i obaveznim procedurama za slučaj nesreće,
  3. propisi o zaštiti okoliša:
    - zakonodavstvo koje regulira emisije štetnih tvari, postupanje s opasnim materijalima, i druge ekološke aspekte proizvodnje u vojnoj industriji.
- međunarodni standardi
  1. ISO standardi:
    - ISO 9001 (Sustav upravljanja kvalitetom): osigurava da proizvodni procesi u vojnoj industriji zadovoljavaju međunarodne standarde kvalitete,
    - ISO 14001 (Sustav upravljanja okolišem): fokusira se na minimiziranje negativnih utjecaja na okoliš kroz efikasne postupke i prakse.
  2. NATO standardi (STANAG):
    - NATO uspostavlja standarde za interoperabilnost vojne opreme i procedura između članica. Ovi standardi obuhvaćaju sve od tehničkih specifikacija do procedura za hitne slučajeve [14].
- propisi o sigurnosti i zaštiti na radu
  1. OHSAS 18001 / ISO 45001:
    - ovi standardi specifično se bave zdravljem i sigurnošću na radu, osiguravajući da radnici u vojnoj industriji rade u sigurnom i zdravom okruženju,

2. standardi zaštite od eksplozija i požara:
  - uključuju propise za skladištenje i rukovanje eksplozivnim materijalima, te procedure za hitne slučajeve.
- specifični propisi za vojnu industriju
  1. kontrola izvoza i uvoza vojne opreme:
    - regulativa koja kontrolira međunarodnu trgovinu vojnim materijalima kako bi se spriječila njihova zloupotreba ili padanje u pogrešne ruke,
  2. propisi o klasifikaciji i označavanju materijala:
    - standardi za klasifikaciju opasnih materijala i njihovo pravilno označavanje kako bi se osigurala sigurnost tijekom transporta i skladištenja [15].
- primjena i inspekcija
  1. inspeksijski nadzor:
    - redovite inspekcije koje provode nacionalne agencije ili međunarodna tijela kako bi se osigurala usklađenost sa svim relevantnim standardima i propisima,
  2. obuka i edukacija
    - konstantna obuka radnika i menadžmenta o najnovijim sigurnosnim procedurama i propisima.

Ukratko, standardi i propisi za privremenu zaštitu u vojnoj industriji su kompleksni i obuhvaćaju širok spektar područja, od sigurnosti na radu do zaštite okoliša i kontrole kvalitete. Pridržavanje ovih propisa je ključno za sigurnost radnika, očuvanje okoliša i osiguranje nacionalne sigurnosti.

## 8 EKOLOŠKO ZBRINJAVANJE OTPADA

Ekološko zbrinjavanje otpada u vojsci ključan je aspekt održivog razvoja i zaštite okoliša, posebno s obzirom na specifične vrste otpada koje vojska generira. S ciljem što bolje reciklaže i što manjeg utjecaja na okoliš zbrinjavanje otpada može se podijeliti u nekoliko koraka, a to su:

### 1. klasifikacija otpada

Prvi korak je identifikacija i klasifikacija otpada kako bi se odredio najprikladniji način zbrinjavanja. U vojsci, otpad može uključivati:

- opasni otpad: kemikalije, eksplozivi, streljivo, ulje, baterije i dr.,
- metalni otpad: uključuje aluminij, čelik, bakar i druge metale,
- elektronički otpad: stari računalni sustavi, komunikacijska oprema, navigacijski sustavi,
- plastični otpad: ambalaža, dijelovi opreme,
- organski otpad: prehrambeni otpad iz vojnih kantina.

Otpad se mora pravilno sakupiti i skladištiti kako bi se spriječilo njegovo curenje ili kontaminacija okoliša. To uključuje uporabu specijaliziranih kontejnera za različite vrste otpada i osiguranje odgovarajućeg prostora za skladištenje.

### 2. transport

Transport otpada mora biti siguran i učinkovit. Koriste se vozila i kontejneri koji sprječavaju curenje i smanjuju rizik za okoliš i ljude tijekom transporta.

### 3. reciklaža i ponovna uporaba

Mnoge vrste vojnog otpada mogu se reciklirati ili ponovno upotrijebiti. Na primjer:

- metal: može se reciklirati i koristiti za proizvodnju novih proizvoda,
- plastika i staklo: mogu se reciklirati i koristiti u proizvodnji novih materijala,
- organski otpad: može se kompostirati i koristiti kao gnojivo.

### 4. tretman i neutralizacija opasnog otpada

Opasni otpad zahtijeva specijalizirane metode tretmana kako bi se neutralizirao njegov štetni utjecaj. To može uključivati:

- kemijsku neutralizaciju: za deaktivaciju opasnih kemikalija,

- termički tretman: spaljivanje otpada na visokim temperaturama kako bi se uništile opasne tvari,
- fizički tretman: filtriranje ili odvajanje opasnih komponenti.

## 5. odlaganje

Nakon obrade, preostali otpad mora biti pravilno odložen. Sanitarne deponije i specijalizirani pogoni za odlaganje opasnog otpada često se koriste kako bi se osiguralo da otpad ne kontaminira okoliš.

Reciklaža i ponovna uporaba otpada u vojnoj industriji nisu samo ekološki odgovorni postupci, već i strateški važni za smanjenje troškova i osiguranje resursa. Implementacija ovih praksi pomaže u očuvanju okoliša i doprinosi održivijem razvoju vojne infrastrukture.

## 9 ZAKLJUČAK

Primjena hlapivih inhibitora korozije (VpCI) predstavlja iznimno učinkovit način očuvanja vojne opreme od štetnih utjecaja korozije. Kroz ovaj rad, pokazano je da VPCI folije i papiri nude fleksibilna i pouzdana rješenja za zaštitu različitih vojnih sredstava, od oružja do drugih ključnih komponenti. Njihova sposobnost stvaranja zaštitne barijere koja sprečava nastanak korozije čini ih nezamjenjivim alatom u očuvanju operativne sposobnosti vojne opreme.

Zaključno, primjena hlapivih inhibitora korozije ne samo da predstavlja tehnološki napredak, već i strateški imperativ u očuvanju vojne opreme. Njihova učinkovitost u zaštiti od korozije direktno doprinosi jačanju nacionalne sigurnosti, osiguravajući da vojna oprema ostane funkcionalna i spremna za upotrebu u svakom trenutku.

## 10 LITERATURA

[1] “Coatings And Anti Corrosion Engineering Review.”

URL: <https://www.magzter.com/stories/technology/COATINGS-AND-ANTI-CORROSION-ENGINEERING-REVIEW/ARE-YOU-COUNTING-THE-COST-OF-CORROSION>  
(5.2.2024)

[2] P. R. Roberge, *Handbook of corrosion engineering*. McGraw-Hill, 2000. 1139 str.

[3] “Korozivne kategorije i klase trajnosti.”

URL: <https://ba.fabmann-jp.com/news/corrosivity-classification-and-selection-of-co-22992254.html> (12.2.2024)

[4] M. Aliofkhazraei, *Developments in Corrosion Protection*. Rijeka: IntechOpen, 2014.

[5] B. V. Jegdić, S. S. Ristić, S. R. Polić-Radovanović, and A. B. Alil, “Corrosion and conservation of weapons and military equipment,” *Vojnoteh. Glas.*, vol. 60, no. 1, pp. 169–182, 2012.

[6] R. W. Revie and H. H. Uhlig, *Corrosion and Corrosion Control*. Wiley, 2008.

[7] L. A. Clinica and D. Orrero, “Fundamental Principles of Corrosion Protection with Vapor Phase Inhibitors,” pp. 413–420, 1980.

[8] H. Level, O. F. Corrosion, F. D. A. Compliant, and M. Protected, “FDA COMPLIANT AND RECYCLABLE”.

[9] C. Prevention, “SOFT COATING TEST,” pp. 1–4.

[10] P. Description, “CorShield® VpCI® -146”

URL: <https://cortecros.com/hr/product/vpci-146-eko-papir-s-inhibitorom-korozije/> (26.4.2024.)

[11] T. Application, P. Properties, P. Description, M. Protected, M. Requirements, and F. O. R. Surface, “VpCI® -369”

URL: <https://www.cortecvci.com/products/vpcis-for-basic-metals-industries/vpci-369/>  
(26.4.2024.)

[12] L. Miskovic and T. Madzar, “Environmentally Friendly Protection Methods Used by the

Armed Forces of the Republic of Croatia,” *CORROSION* 2002. p. NACE-02324, Apr. 07, 2002.

[13] G. Pačarek, T. Šolić, I. Vidaković, and M. Samardžić, “Protective Effects of Vapour Phase Corrosion Inhibitors Tested in Laboratory Conditions,” *Metalurgija*, vol. 62, no. 3–4, pp. 405–408, 2023.

[14] “NATO Standardization Office”

URL: <https://www.nato.int/cps/en/natohq/publications.htm> (19.6.2024)

[15] “Izvozna kontrola robe vojne i dvojne namjene”

URL: <https://mvep.gov.hr/vanjska-politika/multilateralni-odnosi/medjunarodna-sigurnost/izvozna-kontrola-robe-vojne-i-dvojne-namjene/22686> (19.6.2024)