

# Zaštitne prevlake za kontrolu korozije

---

Jukić, Maria

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:299637>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**ZAŠTITNE PREVLAKE ZA KONTROLU KOROZIJE**

Rijeka, studeni 2023.

Maria Jukić

0069076243

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**ZAŠTITNE PREVLAKE ZA KONTROLU KOROZIJE**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Sunčana Smokvina Hanza

Rijeka, studeni 2023.

Maria Jukić

0069076243

Rijeka, 11. ožujka 2022.

Zavod: **Zavod za materijale**  
Predmet: **Zaštita materijala**  
Grana: **2.11.03 proizvodno strojarstvo**

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Maria Šalić (0069076243)**  
Studij: **Diplomski sveučilišni studij strojarstva**  
Modul: **Tehnološko informatičko inženjerstvo**

Zadatak: **Zaštitne prevlake za kontrolu korozije / Protective coatings for Corrosion Control**

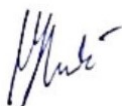
### Opis zadatka:

Opisati korozijske procese. Analizirati unutrašnje i vanjske čimbenike korozije. Prikazati vrste korozije prema geometriji korozijskog razaranja, njihove uzroke te metode zaštite. Analizirati primjenu prevlaka u zaštiti od korozije, s osvrtom na prednosti, nedostatke i primjenu.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je provesti postupak plastifikacije te pocinčavanja. Opisati navedene postupke, opremu i pribor. Usporediti prevlake sa naglaskom na prednosti, nedostatke i primjenu.

Dati odgovarajuće zaključke.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.




Zadatak uručen pristupniku: 21. ožujka 2022.

Mentor:

  
Izv. prof. dr. sc. Sunčana Smokvina Hanza

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

  
Prof. dr. sc. Kristian Lenić

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ja, Maria Jukić (0069076243), diplomski rad „Zaštitne prevlake za kontrolu korozije“ izradila samostalno, koristeći se literaturom i vlastitim znanjem stečenim kroz studiranje na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Rijeci, pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Sunčane Smokvina Hanza.

Rijeka, studeni 2023.

---

Maria Jukić

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Sunčani Smokvina Hanza na pomoći, te firmi Mihoković d.o.o. i Cinčaoni Sv. Helena zbog dijeljenja svog znanja.

Također se zahvaljujem mužu, svojoj obitelji, te muževoj obitelji na potpori koju su mi dali.

# SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
2.	OBILJEŽJA KOROZIJE.....	2
2.1.	Korozijski procesi.....	3
2.2.	Čimbenici koji uvjetuju korozijske procese .....	3
2.2.1.	Unutarnji čimbenici.....	3
2.2.2.	Vanjski čimbenici.....	5
3.	VRSTE KOROZIJE NA TEMELJU MEHANIZMA PROCESA.....	7
3.1.	Kemijska korozija.....	7
3.2.	Elektrokemijska korozija .....	10
4.	VRSTE KOROZIJE NA TEMELJU GEOMETRIJE KOROZIJSKOG RAZARANJA.....	14
4.1.	Opća korozija.....	14
4.2.	Galvanska korozija .....	16
4.3.	Korozija u procijepu .....	19
4.4.	Rupičasta korozija .....	20
4.5.	Interkristalna korozija.....	21
4.6.	Selektivna korozija .....	23
4.7.	Erozijska korozija.....	25
4.8.	Napetosna korozija .....	26
5.	PRIMJENA ZAŠTITNIH PREVLAKA ZA ZAŠTITU OD KOROZIJE .....	28
5.1.	Postupak nanošenja prevlake.....	28
5.1.1.	Predobrada metalne površine koja će se prevlačiti .....	29
5.1.2.	Nanošenje premaza .....	30
5.2.	Vrste zaštitnih prevlaka .....	31
5.2.1.	Metalne prevlake .....	32
5.2.2.	Nemetalne anorganske prevlake.....	36
5.2.3.	Nemetalne organske prevlake .....	37
6.	EKSPERIMENTALNI DIO.....	40

6.1. Zaštita vrućim uranjanjem ili pocinčavanjem .....	40
6.2. Zaštita plastifikacijom .....	49
6.3. Usporedba vrućeg pocinčavanja i plastifikacije .....	54
7. ZAKLJUČAK .....	59
LITERATURA .....	60
POPIS SLIKA .....	62
POPIS TABLICA .....	64
SAŽETAK .....	65
ABSTRACT .....	66



# 1. UVOD

Predmet ovoga rada je analiza zaštitnih prevlaka za kontrolu korozije. Korozija zahvaća materijale poput metala, keramike, stakla, polimernih materijala i betona. No, kada se priča o koroziji, većinski je riječ o koroziji metala. Korozija je spontani proces koji se odvija zbog težnje povratka metala u spojeve u obliku kojih se nalaze u prirodi, poput ruda i minerala. Zaštita od korozije podrazumijeva korištenje raznih metoda s ciljem istovremenog kočenja ili sprečavanja pojave raznih vrsta i oblika korozijskih razaranja. Zaštita od korozije se provodi s ciljem smanjenja ili poništenja afiniteta za proces korozije te povećanja otpora materijala prema koroziji. Zaštitne prevlake su smatrane najraširenijim proizvodom koji se koristi za zaštitu od korozije s ciljem dugotrajne zaštite raznih konstrukcijskih materijala u korozivnom agresivnom okolišu. Zaštita primjenom prevlaka se može koristiti u uvjetima od atmosferskog izlaganja do vrlo zahtjevnih eksploatacijskih uvjeta koji su karakteristični za postrojenja kemijskih industrija. Primjena prevlaka na konstrukcijske materijale također utječe na unutarnje i vanjske čimbenike korozije jer s aspekta materijala dolazi do promjene okoline, odnosno vanjskih čimbenika te s aspekta agresivne okoline dolazi do promjene karaktera površine materijala, odnosno unutarnjih čimbenika. Zaštitne prevlake na konstrukciji obuhvaćaju najmanji udio njezinog ukupnog volumena, no uvelike štite integritet i omogućuju neometanu eksploataciju. To ukazuje na veliku važnost primjene prevlaka kao zaštite konstrukcija od korozivnih procesa. Primjena prevlaka uvelike sprečava koroziju jer djeluje u obliku barijere prema agresivnom mediju. Isto tako, mogu se koristiti i u obliku dekoracije konstrukcije uz pružanje zaštite.

Ovaj diplomski rad se sastoji od sveukupno sedam poglavlja. Prvo poglavlje prikazuje uvod u diplomski rad. Drugo poglavlje objašnjava obilježja korozije koje podrazumijeva sam pojam korozije, korozivne procese i čimbenike koji uvjetuju korozivne procese te se mogu podijeliti na unutarnje i vanjske čimbenike. Treće poglavlje prikazuje vrste korozije na temelju mehanizma procesa koje se mogu podijeliti na kemijsku i elektrokemijsku koroziju. Četvrto poglavlje prikazuje i objašnjava vrste korozije na temelju geometrije korozivnog razaranja koje se dijeli na osam vrsta korozije: opća korozija, galvanska korozija, korozija u procijepu, rupičasta korozija, interkristalna korozija, selektivna korozija, erozijska korozija i napetosa korozija. Peto poglavlje analizira primjenu zaštitnih prevlaka za zaštitu od korozije, u ovom poglavlju su prikazani postupci nanošenja prevlake i vrste zaštitnih prevlaka. Šesto poglavlje prikazuje eksperimentalni dio rada. Posljednje poglavlje je zaključno poglavlje, nakon čega slijedi popis literature, popis slika i popis tablica.

## 2. OBILJEŽJA KOROZIJE

Pojam korozije (engl. *corrosion*) proizlazi iz latinske riječi '*corrōdēre*' koja u prijevodu znači '*postupno nagrizzati*'. Prema Websterovom rječniku<sup>1</sup> korozija dolazi od riječi '*corrode*' koja u prijevodu znači '*pojesti ili biti postupno pojeden*' [1]. Korozija je smatrana procesom u kojem se odvija nenamjerno trošenje konstrukcijskog materijala zbog utjecaja okoliša. Utjecaj okoliša podrazumijeva mehanička, kemijska i tehnološka djelovanja. Ukoliko se korozija promatra s aspekta termodinamike, ovdje se radi o procesu prijelaza materijala u stabilnije stanje [2]. Metali prirodno reagiraju s drugim tvarima, prilikom čega uz oslobađanje energije, prelaze u stanja koje karakterizira niska razina energije [4].

Metalni proizvodi podložni su navedenim utjecajima okoliša koji rezultira negativnim posljedicama poput smanjenja njihove uporabne vrijednosti. Naposljetku, zbog negativnog djelovanja korozije materijali mogu doći do potpunog uništenja, te naposljetku i do njihove neupotrebljivosti. Ukoliko navedena neupotrebljivost nastupi prije određenog roka trajanja, tada se radi o vrlo velikoj šteti [3].

Korozija je spontani proces koji se odvija zbog težnje metala da se vrate u spojeve u obliku u kojem se nalaze u prirodi, kao što su rude i minerali. Na slici 2.1 se nalazi korozijski proces, gdje je prikazan ciklus gdje se iz željeza metaloruškom obradom stvara legura čelika, te utjecajem okoline uz nedovoljnu zaštitu dolazi do korozije metala te vraćanja u prvobitno stanje [4].



Slika 2.1: Korozijski ciklus [5]

<sup>1</sup> Rječnik engleskog jezika

## 2.1. Korozijski procesi

Korozijski procesi se mogu podijeliti na temelju sljedećih čimbenika [3]:

- mehanizmom procesa,
- medija unutar kojeg se nalazi konstrukcijski materijal,
- materijalom koji je zahvatio proces korozije,
- odnosom između korozije i ostalih procesa s negativnim djelovanjem, te
- geometrijskim oblikom korozijskog razaranja.

Kao i sve kemijske reakcije, procesi korozije odvijaju se kada su uvjeti pogodni za povezane kemijske reakcije (termodinamika). Zatim, mogući drugi čimbenici pokreću brzinu reakcije (kinetiku) [6].

Na proces korozije je moguće ostvariti utjecaj na različite načine, relativnim kretanjem između metala i okoliša koji nagriža. Ovo relativno kretanje može povećati prijenos topline i prijenos mase reaktanata prema i od površine metala koji nagriža, s posljedičnim povećanjem brzine korozije. Također, ako su čvrste čestice prisutne u tekućini, može doći do uklanjanja zaštitnih filmova, erozije i trošenja na metalnoj površini [7]. Pokretačka sila uzrokuje štetne pojave ili procese, zbog čega je brzina oštećenja relativna pokretačkoj sili. Djelovanju pokretačke sile se opiru kemijski i fizikalni otpori kod kojih je brzina oštećenja obrnuto relativna. Veličina pokretačke sile i otpora uvelike ovise o vanjskim i unutarnjim čimbenicima oštećenja [4].

## 2.2. Čimbenici koji uvjetuju korozijske procese

Mehanizam i brzina odvijanja procesa korozije ovise o unutarnjim i vanjskim čimbenicima [2].

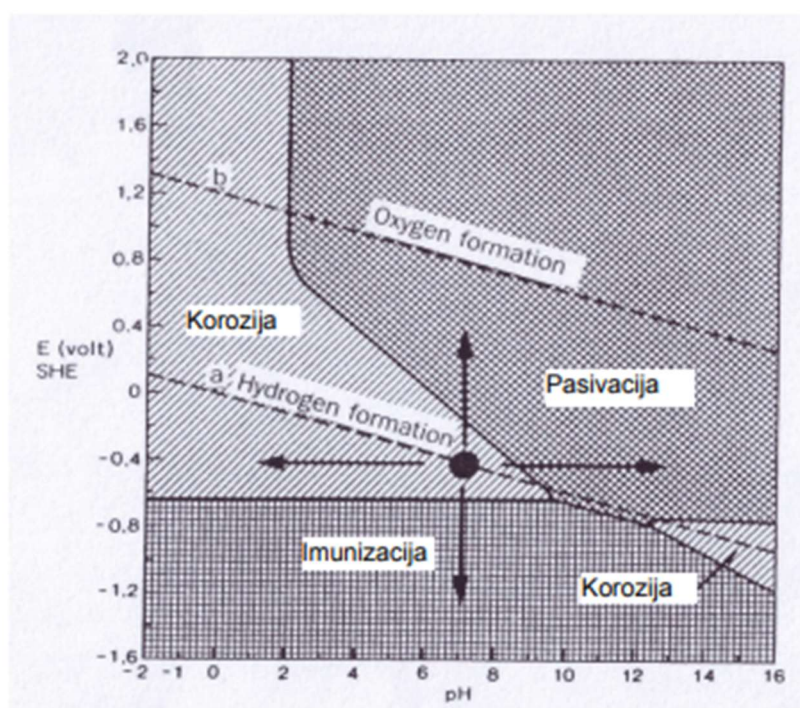
### 2.2.1. Unutarnji čimbenici

Najvažniji unutarnji čimbenici oštećenja konstrukcijskog materijala podrazumijevaju [4]:

- oštećenje sastava materijala,
- veličinu i oblik kristala,
- učestalost i vrstu defekata kristalne rešetke,

- zaostala mehanička naprezanja,
- površinske filmove i hrapavost.

Unutarnji čimbenici podrazumijevaju svojstva određenog konstrukcijskog materijala koja su određena čimbenicima poput njihove termodinamičke stabilnosti. Termodinamička stabilnost konstrukcijskog materijala, ukoliko se nađe u određenim uvjetima, iskazuje putem slobodne entalpije, odnosno Gibbsove termodinamičke funkcije. Teorijska zavisnost vladanja pojedinih materijala u obliku zavisnosti elektrokemijskog potencijala, zajedno sa slobodnom entalpijom, od pH se prikazuje pomoću Pourbaixovih dijagrama [2]. Pomoću Pourbaixovog dijagrama za željezo u vodi, koji je prikazan slikom 2.2, moguće je, s aspekta termodinamike, provesti procjenu područja korozije, pasivnosti i imuniteta [9].



Slika 2.2: Pourbaixov dijagram za željezo u vodi [8]

Kako je navedeno ranije, svojstva materijala uvelike ovise i o unutarnjim naprezanjima koja nastaju kao posljedica promjena koje se odvijaju unutar strukture. Poput, primjerice promjena koje su nastale tijekom tehnoloških procesa [2].

### 2.2.2. Vanjski čimbenici

Vanjski čimbenici oštećenja konstrukcijskog materijala podrazumijevaju [4]:

- sastav medija (okolni fluid),
- temperaturu,
- tlak i ostala mehanička oštećenja,
- relativnu brzinu gibanja između materijala i medija,
- stupanj turbulencije fluida,
- dodir s ostalim konstrukcijskim materijalima.

Brzina korozivskih procesa uvelike ovisi o karakteristikama okoliša, od kojih su vrlo važni pH, temperatura, kretanje medija itd. [2]. Vanjske čimbenike koji omogućuju korozivske procese je moguće podijeliti na [4]:

- kemijske,
- fizikalne,
- biološke,
- električne.

Kemijski čimbenici obuhvaćaju otopljene plinove ( $O_2$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ ) i pH vrijednost. Zbog veće koncentracije otopljenog kisika koji se nalazi u mediju, dolazi do povećanja njegove korozivnosti. Kisik djeluje kao oksidans (depolizator) kada dođe u dodir s alkalnim, neutralnim i slabo kiselim otopinama. Isto tako, taloženje kalcijeva karbonata ( $CaCO_3$ ) može biti izolator od daljnjeg korozivnog djelovanja na medij na katodnim dijelovima njegove površine na kojoj se odvijaju korozivni procesi [4]. Soli mogu imati oksidirajuće djelovanje, mijenjati pH ili mogu biti neutralne u mediju. Neutralne soli, poput  $NaCl$  i  $KCl$  mogu imati stimulativno djelovanje ukoliko se jave u malim količinama, dok u većim količinama mogu smanjiti brzinu procesa korozije, zbog smanjene topljivosti kisika [2].

Fizikalni čimbenici podrazumijevaju karakteristike medija poput brzine strujanja, prisutnosti zračnih mjehurića, temperature i tlaka [4]. Kretanje medija donosi kisik, zbog čega se ubrzava proces korozije, no s povećanjem brzine njegovog kretanja dolazi do usporavanja procesa korozije (pasivacija – u slučaju prevelike količine kisika) [2]. Ukoliko se radi o prevelikim brzinama strujanja, postoji mogućnost pojave turbulencije medija. Prethodno navedeno uzrokuje udare medija u stijenku i trošenje. Stagnirajući mediji potiču stvaranje mikroorganizama i

iniciraju koroziju koja nastaje mikrobiološkim putem [4]. Utjecaj promjene temperature, ovisno o obilježjima korozijskog sustava, je različit [2]. Povećanje temperature podrazumijeva povećanje brzine svake kemijske reakcije, kao i korozije [4]. Isto tako, ukoliko reakcija teče uz depolarizaciju s kisikom, dolazi do usporavanja korozijskog procesa zbog smanjenje topljivosti kisika koje dovodi do smanjenja pasivizirajućeg djelovanja [2].

Biološki čimbenici obuhvaćaju obraštanje, mikrobiološku potrošnju kisika te potrošnju ugljičnog dioksida. Velika količina metala, koja je uronjena u vodu, podložna je obraštanju. Prethodno navedeno je najviše vidljivo u toplim morima s malom brzinom strujanja vodenog sloja uz oplatu broda. Isto tako, vrlo često morski organizmi skidaju zaštitne premaze s brodskih oplata, najčešće zbog vlastite težine, koje uvelike pospješuje korozijske procese. Obraštanje također uvelike utječe na količinu potrošenog goriva i upotrebljivost broda. Biološka potrošnja  $O_2$  i  $CO_2$  povećava razliku potencijala u korozijskom članku, koje na kraju rezultira pokretanjem procesa korozije [4].

Električni čimbenici obuhvaćaju pojave stvaranja galvanskih struja i njihov utjecaj na brzinu korozijskih procesa. Nemoguće je izbjeći kontakt različitih materijala u elektrolitu, prilikom čega manje plemeniti materijal reagira kao anoda, zbog čega dolazi do njegovog trošenja i otapanja [4]. Električki otpor je moguće pronaći u unutarnjem i vanjskom dijelu članka korozije, prilikom čega je u vanjskom dijelu najčešće zanemaren, dok u unutarnjem dijelu ovisi o vodljivosti elektrolita. Ukoliko su slojevi elektrolita tanki, ostvaruju poseban utjecaj na tok korozijskih procesa [2].

### 3. VRSTE KOROZIJE NA TEMELJU MEHANIZMA PROCESA

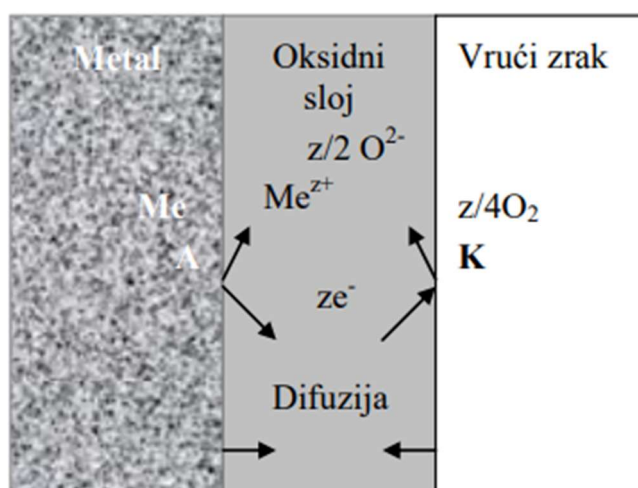
Korozija se može podijeliti na temelju mehanizma procesa na [4]:

- kemijsku koroziju,
- elektrokemijsku koroziju.

#### 3.1. Kemijska korozija

Kemijska korozija metala se odvija u neelektrolitima, odnosno u medijima koji nemaju mogućnost provođenja električne struje, zbog čega dolazi do spoja metala s nemetalnim elementima, poput oksida i sulfida. Kemijska reakcija se očituje prilikom reakcije atoma metala u kristalnoj rešetci s molekulama određenog elementa ili spoja iz okoline. Prilikom kemijske reakcije, dolazi do izravnog nastanka molekula spoja koja se naziva korozijskim produktom. Vrući plinovi i organske tekućine predstavljaju najvažnije neelektrolite koji imaju mogućnost stvaranja kemijske korozije [4].

Kemijska korozija (slika 3.1) se odnosi na metale i legure koji prilikom eksploatacije na visokim temperaturama rezultiraju reakcijom s kisikom [10]. Kemijski afinitet (kemijska pokretačka sila) predstavlja sklonost dvaju ili više spojeva ili elemenata na međusobnu kemijsku reakciju. Promjenjivost kemijskog afiniteta uvelike ovisi o vrsti tvari, temperaturi, međusobnoj reakciji koncentracije tvari i agresivnosti tvari koja se nalazi u okolini [4].

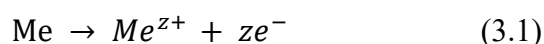


Slika 3.1: Kemijska korozija [10]

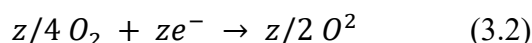
Mjesta odvijanja kemijske korozije prema aktivnosti kisika dijeli se na [10]:

- Oksidirajuću atmosferu, te
- Reducirajuću atmosferu.

Oksidirajuća atmosfera sadrži O<sub>2</sub> (molekularni kisik) u obliku zraka ili atmosfere sa slobodnim kisikom, prilikom čega se javlja vrlo visoka aktivnost kisika koja se kontrolira pomoću koncentracije O<sub>2</sub>. Oksidacija je prikazana formulom 3.1 (reakcija na međupovršinski metal/oksidni sloj)[10]:



Reducirajuća atmosfera karakterizira vrlo mala aktivnost kisika koja se kontrolira odnosom između CO/CO<sub>2</sub> te H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O, isto tako ima mogućnost stvaranja nekih vrsta korozije poput sulfatizacije, pougljičavanja, korozije putem naslaga i slično. Redukcija je prikazana formulom 3.2 (reakcija na međupovršinski oksidni sloj/vrući zrak) [10]:

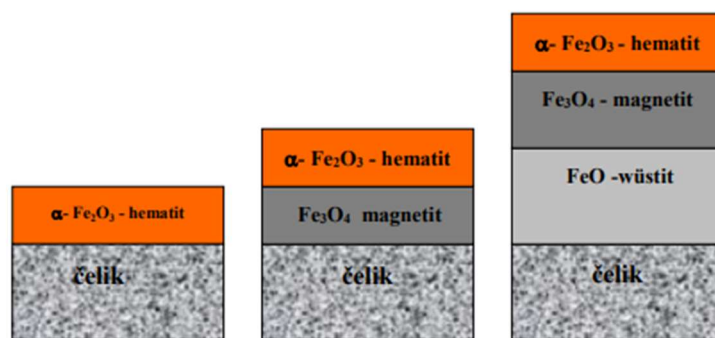


Kemijska korozija u vrućim plinovima nastaje kao rezultat obrade metala na vrlo visokim temperaturama poput kovanja, valjanja, kaljenja i zavarivanja koje se provodi najčešće unutar kotlovskih postrojenja, industrijskih peći, ispušnih cijevi brodskih motora i slično. Organske tekućine mogu uzrokovati kemijsku koroziju ukoliko ih karakterizira bezvodnost, u suprotnom se radi o elektrokemijskoj koroziji [4].

Prilikom obrade metala na vrlo visokim temperaturama se javljaju sljedeći slojevi (slika 3.2) [10]:

- nevidljivi sloj,
- deblji, pomalo vidljivi sloj,
- debeli vidljiv sloj.

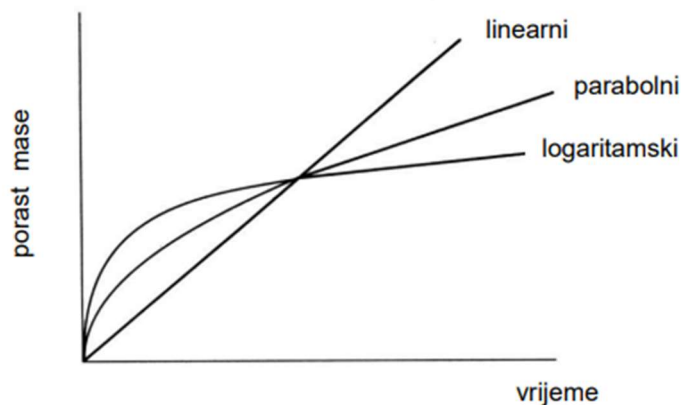




Slika 3.2: Slojevi prilikom obrade metala [10]

Nevidljiv sloj je moguće dokazati isključivo putem sofisticiranih znanstvenih metoda jer je boja na njima još uočljiva. Sloj je karakteriziran debljinom manjom od 100 nm, kompaktnošću, odnosno dobrom zaštitom metalne površine na kojoj se nalaze te  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hematitom koji se nalazi na površini čelika. Deblji, pomalo vidljiv sloj se stvara na temperaturi od 200 – 450°C, karakterizira ga debljina od 100 – 200 nm te sloj  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  magnetit i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hematit. Posljednji, debeli vidljiv sloj se stvara na temperaturi koja je veća od 450°C, karakterizira ga debljina od 1000 nm te sloj FeO wüstit,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  magnetit kao i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hematit [10].

Zaštitni slojevi smanjuju korozijske procese pod uvjetom kompaktnosti i fizikalno-kemijske stabilnosti korozijskih produkata te njihovog jednakog ili većeg volumena od volumena metala koji je zahvaćen korozijskim procesom. Drugim riječima, zaštitni sloj mora u potpunosti zahvatiti i prekriti površinu metala [4]. Oksidni sloj na površini metala i legura može rasti na linearan, parabolni i logaritamski način (slika 3.3) [10].



Slika 3.3: Rast oksidnog sloja [10]

Linearni rast oksidnog sloja, odnosno njegova kinetička kontrola se odvija onda kada sloj posjeduje karakteristike propusnosti, odnosno ne prekriva cjelokupnu površinu materijala. Zatim slijedi parabolni rast oksidnog sloja, odnosno njegova difuzijska kontrola koja se odvija onda kada sloj posjeduje karakteristike kompaktnosti i jednolične barijere difuziji kisika. Posljednji, logaritamski rast sloja, odnosno kontrola putem 'tuneliranja' elektrona oksida, odvija se prilikom niskih temperatura. Prilikom niskih temperatura u početnim trenutcima dolazi do velike brzine difuzije kroz sloj oksida. Zatim nastaje deblji oksidni sloj, prilikom čega se brzina znatno smanjuje [10].

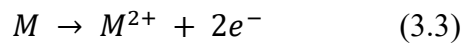
### 3.2. Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija se odvija na metalima koji se nalaze u elektrolitima (sredine koje imaju električnu vodljivost) poput prirodne i tehničke vode, vodenih otopina kiselina, soli, lužina i ostalih tvari, vlažnog tla i vlažne atmosfere. Ovu vrstu korozije uzrokuje afinitet koji se manifestira u obliku električnog napona. Električni napon podrazumijeva razliku potencijala između dva metala, dva mjesta na metalnoj površini ili elektrolita i metala [4].

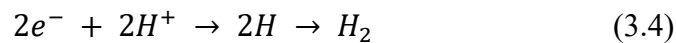
Ova vrsta korozijskog procesa je smatrana kemijskim redukcijско-oksidacijskim procesom, odnosno redoks procesom unutar sustava metal/elektrolit [4,10]. Oksidacija obuhvaća reakciju putem koje određena tvar ili skupina tvari (reducenti) dovodi do oslobađanja elektrona. Tijekom oslobađanja elektrona dolazi do nastanka druge tvari ili skupine tvari. Redukcija podrazumijeva reakciju putem koje određena tvar ili skupina tvari (oksidanti) dovodi do spajanja elektrona koje rezultira nastankom druge tvari ili skupine tvari [10].

Broj oslobođenih elektrona prilikom anodne reakcije mora biti jednak broju utrošenih elektrona prilikom katodne reakcije. Drugim riječima, anodna i katodna struja moraju biti jednake. Reakcije se moraju odvijati u isto vrijeme kako bi anodna reakcija mogla stvoriti koroziju. U suprotnom dolazi do ravnoteže jer reakcije postaju reverzibilne. Elektrokemijska korozija dovodi do korozijskog potencijala na metalnoj površini, prilikom čega su brzine anodnog i katodnog procesa jednaki [4].

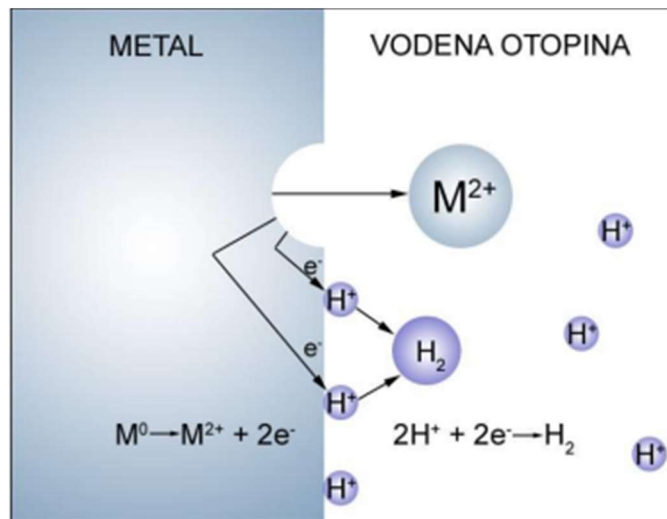
Anodni proces obuhvaća ionizaciju metala, odnosno otapanje i stvaranje elektrona, kako je prikazano formulom 3.3 [4]:



Dok katodni proces obuhvaća trošenje elektrona. Vodikova redukcija je prikazana formulom 3.4 [10]:

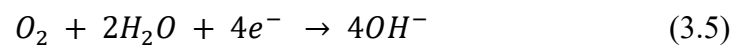


Vodikova redukcija predstavlja temeljni katodni proces prilikom korozije metala u kiselim otopinama koje ne posjeduju jako oksidacijsko djelovanje. Pri čemu se u katodnoj reakciji lokalna katoda, koja je katodno polarizirana od anode, reducira elektronima. Elektroni na lokalnoj katodi privlače suprotno nabijene ione vodika, prilikom čega dolazi do stvaranja atoma vodika koji se povezuju u molekulu vodika i u obliku mjehurića izlaze iz otopine. Ukoliko se radi o slabo kiseloj, neutralnoj ili lužnatoj sredini, vodikova redukcija je nemoguća zbog preniske koncentracije iona vodika. Na slici 3.4 je prikazan korozijski članak u kiseloj otopini [4].



Slika 3.4: Elektrokemijska korozija u kiselj otropini [11]

Kisikova redukcija je prikazana formulom 3.5 [10]:



Redukcija kisika nastaje zbog manje ili veće količine kisika u elektrolitima tijekom kontakta s atmosferom. Tijekom katodne reakcije u redukciji kisika, nije moguće ukloniti vodik u trenutnim uvjetima zbog nedovoljne kiselosti agresivne tekućine. Stoga, redukcija kisika slijedi kada je riječ o najvažnijim tehničkim metalima poput željeza, cinka i olova koji se nalaze unutar neutralnih, slabo kiselih i slabo alkalnih otropina, odnosno prilikom kontakta s prirodnim vodama [4].

Brzina korozije ovisi o katodnim i anodnim reakcijama prilikom čega struja korozije prenosi elektrone. Ovdje se radi o procesu polarizacije. Polarizacija podrazumijeva pomicanje anodnih i katodnih potencijala iz svojih povratnih ili ravnotežnih vrijednosti s protjecanjem struje, zbog čega se približavaju jedan drugome [4]. Prilikom polarizacije, produkti korozije uzrokuju smanjenje protoka struje u korozijskim procesima. Shodno tome, radni napon članka korozije je manji od elektromotorne sile zbog čega je brzina korozije manja, jer katodna i anodna polarizacija uzrokuju prekid protoka struje. Korozijski procesi su također usporeni stanjem ravnoteže redukcije i oksidacije. Putem polarizacije se smanjuje razlika između katodnih i anodnih potencijala, dok se u isto vrijeme povećava otpor korozijskog članka, zbog čega dolazi do težeg protoka elektrona [11].

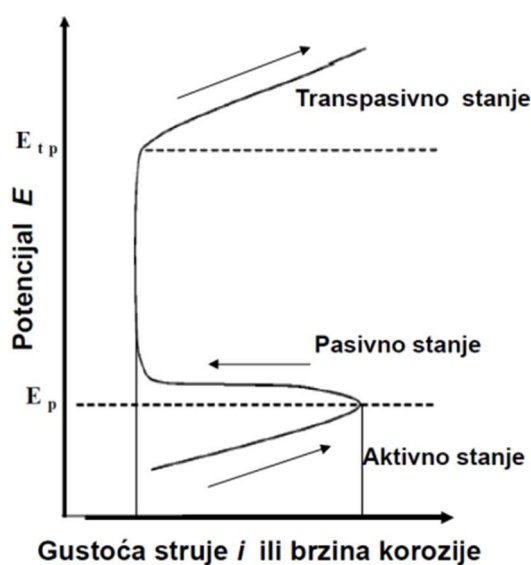
Razlika između potencijala najčešće nastaje zbog sljedećih čimbenika [4]:

- vanjsko i unutarnje naprezanje i deformacije,
- kristalografska nehomogenost površine metala,
- nehomogeni filmovi i prevlake na površini metala,
- različitih koncentracija otopljenog kisika u elektrolitu,
- utjecaj elektrolita s nejednolikim sustavom, koncentracije, temperature i brzine protjecanja,
- utjecaj mikroorganizama,
- lutajuće struje na podvodnim i podzemnim cjevovodima.

Granice stanja različitih potencijala su označene na sljedeći način (slika 3.5) [11]:

- elektrodni potencijal pasivacije –  $E_p$ ,
- elektrodni potencijal transpasivacije –  $E_{tp}$ .

Slika 3.5 prikazuje polarizacijsku krivulju anode prilikom pasivizacije prilikom čega je prikazano aktivno, pasivno i transpasivno stanje. Aktivno stanje je stanje unutar kojeg se odvija korozijski proces metala uz povećanu brzinu. Zatim slijedi pasivno stanje unutar kojeg se brzina korozijskog procesa znatno smanjuje. Naposljetku, dolazi do transpasivnog stanja unutar kojeg se povećava brzina korozijskih procesa. Prethodno navedeno se odvija zbog pucanja anodnog zaštitnog sloja koji je bio stabilan u pasivnom stanju [11].



Slika 3.5: Polarizacijska krivulja anode prilikom pasivizacije [11]

## 4. VRSTE KOROZIJE NA TEMELJU GEOMETRIJE KOROZIJSKOG RAZARANJA

Oblici korozije se također mogu podijeliti na temelju geometrije korozijskog razaranja na [4,11]:

- opću koroziju,
- galvansku koroziju,
- koroziju u procijepu,
- rupičastu koroziju,
- interkristalnu koroziju,
- selektivnu koroziju,
- erozijsku koroziju,
- napetosnu koroziju.

### 4.1. Opća korozija

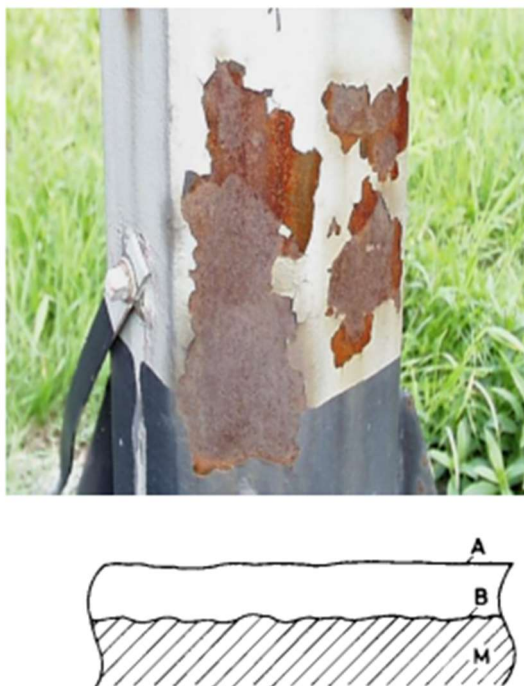
Opća korozija (engl. *uniform* - jednaka) predstavlja najčešću i najrašireniju vrstu korozije koja je ujedno i najmanje opasna kada je riječ o njezinom razaranju. Karakteristika najmanje opasnosti proizlazi iz činjenice jer zahvaća cjelokupnu površinu metala koja je izložena okolinskim čimbenicima koji izazivaju koroziju [11]. Tijekom projektiranja konstrukcije najčešće se, prilikom odabira materijala, koristi brzina procesa opće korozije kao mjerodavna veličina koja se izražava u obliku mm/god, odnosno prosječne dubine godišnjeg prodiranja korozije u materijal. Prethodno navedeni pristup je prihvatljiv ukoliko je korozija približno ravnomjerna u određenim eksploatacijskim uvjetima. Naravno, to uvelike ovisi o karakteristikama materijala, odnosno unutarnjim čimbenicima korozijskih procesa te karakteristikama okoline materijala, odnosno vanjskim čimbenicima korozije [4].

Ova vrsta korozije se može podijeliti na [11]:

- ravnomjernu opću koroziju,
- neravnomjernu opću koroziju.

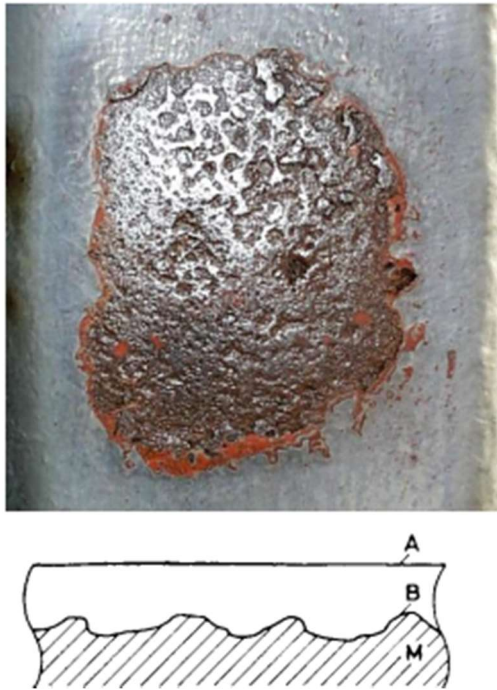
Ravnomjerna opća korozija (slika 4.1) je s tehničkog aspekta najmanje opasna jer je njezine procese moguće vrlo lako pratiti i predvidjeti kada je potrebno popraviti ili zamijeniti određen dio koji je zahvaćen [4]. Ova vrsta opće korozije jednako zahvaća cijelu metalnu površinu, vrlo

često se pojavljuje i najčešće je prisutna u industrijskim pogonima te zahvaća plohe većih dimenzija poput brodova, limova i čeličnih spremnika. Zahvaćanje cijele površine metala uzrokuju istovremene katodne i anodne reakcije [11]. Na slici 4.1 oznakom A prikazan je materijal prije pojave korozije, oznakom B prikazan je materijal nakon pojave korozije i oznakom M prikazan je unutarnji sloj materijala [10].



*Slika 4.1: Ravnomjerna opća korozija čeličnog rasvjetnog stupa [10]*

Isto tako, postoji i neravnomjerna opća korozija (slika 4.2) prilikom koje nije moguće njezino praćenje i predviđanje popravka ili zamjene određenog zahvaćenog dijela jer nije moguće procijeniti prosječnu dubinu prodiranja. Ova vrsta opće korozije je opasnija od ravnomjerne opće korozije, pogotovo kada se radi o spremniku ili cjevovodu, gdje neravnomjerno djelovanje procesa korozije može uzrokovati rupice [4, 10]. Na slici 4.2 oznakom A prikazan je materijal prije pojave korozije, oznakom B prikazan je materijal nakon pojave korozije i oznakom M prikazan je unutarnji sloj materijala [10].



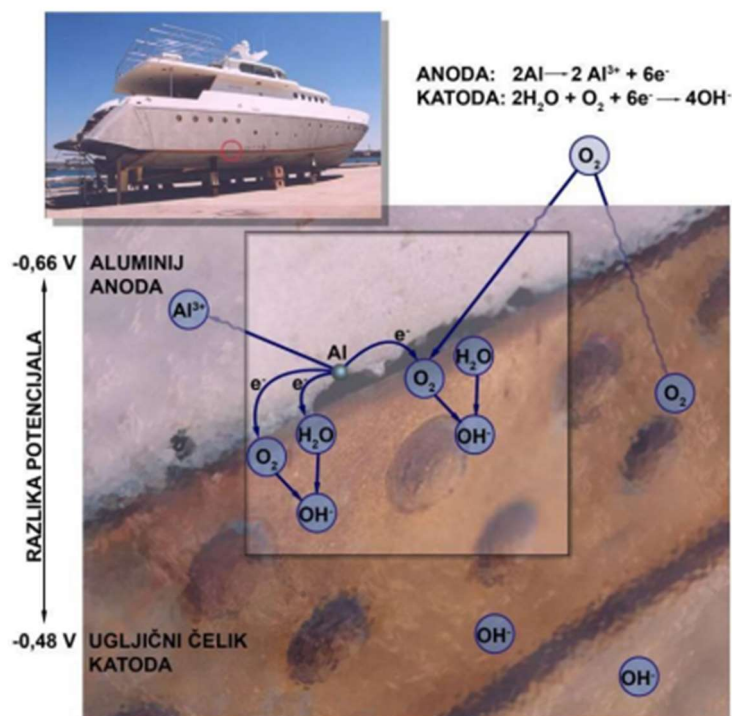
*Slika 4.2: Neravnomjerna opća korozija čeličnog rasvjetnog stupa [10]*

Prilikom izbora konstrukcijskog materijala, odnosno legure, potrebno je poznavanje korozijskog ponašanja materijala jer to osigurava trajnost konstrukcije. Materijal je smatran upotrebljivim ukoliko brzina prodiranja korozije iznosi 0,1 mm/god [4,10].

#### **4.2. Galvanska korozija**

Galvanska korozija ili bimetalna korozija (slika 4.3) je uzrokovana spajanjem dvaju ili više materijala koji sadrže različit potencijal unutar elektrolita. Kada se spoje dva metala s različitim potencijalom, unutar elektrolita se formira galvanski članak u kojem je anoda elektronegativniji metal, dok je katoda elektropozitivniji metal. Zbog razlike u njihovim potencijalima, stvara se tok električne struje koji polazi od anode prema katodi i rezultira oksidacijom anode [4].





Slika 4.3: Galvanska korozija trupa broda [10]

Aluminijski trup broda koji je prikazan na slici 4.10 je čelično ojačan u podvodnom dijelu i spojen zakovicama. S obzirom na to kako aluminij karakterizira nizak standardni elektrodni potencijal ionizacije od ugljičnog čelika, vrlo brzo dolazi do ubranog procesa korozije aluminija koja je opasna i neugodna [10].

Galvanski niz podrazumijeva raspored metala ili legura na temelju njihovog elektrodnog potencijala koji je izmjeren unutar specifičnog medija u usporedbi s određenom referentnom elektrodom. Galvanski niz ukazuje na tendenciju galvanske korozije, no ne pruža adekvatne informacije o brzini korozijske reakcije koja je moguća. Vrlo često se galvanski niz koristi za uvjete u morskoj vodi i u obliku smjernica prilikom izbora materijala. Međutim, promjene u temperaturi i sastavu elektrolita mogu izazvati značajne promjene u galvanskom nizu. Ukoliko je uz raspored materijala vidljiva vrijednost ravnotežnih potencijala, tada je riječ o elektrokemijskom nizu koji je prikazan tablicom 4.1 [4].

Tablica 4.1: Galvanski niz najrelevantnijih konstrukcijskih materijala u morskoj vodi [10]

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

Kako bi se izbjegle štete koje uzrokuje galvanska korozija, potrebno je obratiti pozornost na položaj određenih konstrukcijskih elemenata koji se nalaze unutar galvanskog niza te birati materijale koji su im srodni. Isto tako, vrlo je važno pravilno oblikovati konstrukciju te spriječiti direktni kontakt raznih materijala unutar medija koji su agresivni i električni vodljivi [10].

### 4.3. Korozija u procijepu

Korozija u procijepu (engl. *crevice corrosion*) podrazumijeva pojavu korozije unutar uskih površinskih pukotina ili procijepa konstrukcijske izvedbe materijala koje karakterizira isti korozijski potencijal. Unutar navedenih pukotina i procijepa se nakuplja voda i nečistoće, dolazi do povećanja kiselosti otopine i povećanja koncentracije agresivnih čimbenika. Unutrašnjost procijepa se pretvara u anodno područje dok se u vanjštini procjepa odvija katodna reakcija [4,10].

Ova vrsta korozije može također biti uzrokovana nakupljanjem korozijskog medija unutar pukotina i površinskim mjestima na kojima je dovod kisika onemogućen ili u potpunosti smanjen [11]. Zbog otežanog pristupa kisika u procijep, metalna ploha počinje djelovati u obliku anode [4]. Ukoliko je materijal uronjen u otopinu u cijelosti, mijenjaju se uvjeti u unutrašnjosti pukotine zbog čega se ujedno u povećava agresivni medij i njegov utjecaj [11]. Najčešće se radi o navojima vijaka i maticama, kako je prikazano slikom 4.4 [4].



*Slika 4.4: Korozija u procijepu [11]*

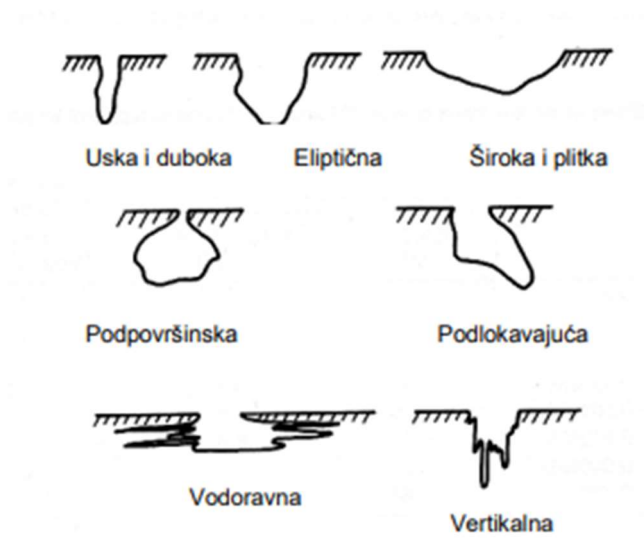
Kako bi se spriječila ili smanjila korozija u procjepu, potrebno je izbjegavati uske procijepe prilikom konstruiranja, izbjegavati naslage, katodnu zaštitu, stagnaciju medija i potrebno je osigurati drenažu. S aspekta korozijske postojanosti zavarenih spojeva, potrebno je preferirati kontinuirano i pravilno protaljen sučeljeni zavareni spoj u usporedbi s preklopnim i isprekidanim spojem [4].

#### 4.4. Rupičasta korozija

Rupičasta korozija (engl. *pitting*) predstavlja usko lokaliziranu koroziju koju karakterizira približno kružni oblik. Potrebno je napomenuti kako se dubina prodiranja, nakon određenog vremena, povećava za nekoliko puta više od njezine prvobitne širine na površini materijala. Ova vrsta korozije je smatrana lokalnim oblikom korozije jer napada samo određene dijelove materijala koji su izloženi okolinskim čimbenicima [10]. Postoje razni uzroci rupičaste korozije poput [4,11]:

- lokalnih, kemijskih ili mehaničkih oštećenja zaštitnog pasivnog filma koji se nalazi na metalnoj površini,
- nehomogene strukture metala,
- lokalnog djelovanja mikroorganizama.

Stanje površine koje je zahvaćeno korozijom određuje gustoća, veličina i dubina rupa koje su nastale djelovanjem korozije. Što je veći broj rupa to je veća dubina prodiranja korozije [11]. Ova vrsta korozije nastaje prvenstveno unutar vodenih otopina koja sadrži kloridne ione ( $\text{Cl}^-$ ) koji rezultiraju razaranjem pasivnog filma. Isto tako, slično djelovanje se pojavljuje i kod ostalih halogenidnih iona ( $\text{Br}^-$  i  $\text{F}^-$ ). U trenutku kada rupica nastane u njoj se sve više počinju nakupljati metalni kationi i kloridi a sve manje katodni reaktanti (otopljeni kisik). Kloridni medij, koji je rezultat prethodno navedenog, karakterizira velika agresivnost, sprečavanje ponovne uspostave pasivnog filma i poticanje daljnje propagacije rupice [4]. Slika 4.5 prikazuje moguće pojavne oblike rupica koje su posljedica korozijskih procesa.



Slika 4.5: Tipovi rupičaste korozije [10]

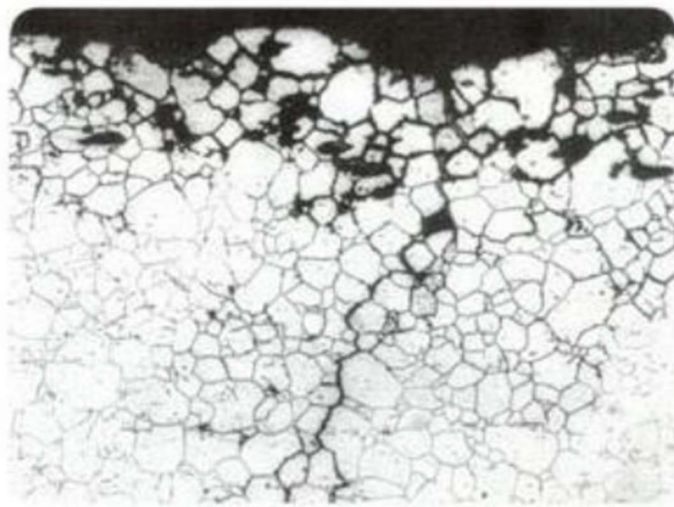
Rupičastu koroziju je moguće pronaći na nehrđajućim čelicima nakon zavarivanja jer se zbog topline na metalnoj površini pojavljuje tzv. pobojenost uz zavaren spoj (engl. *heat tints*) koja potiče razvoj korozije ukoliko se pronađe u adekvatnoj agresivnoj okolini [11]. Osim navedene pobojenosti, rupičastu koroziju potiču i druge homogenosti poput nečistoća, masti, vlage, nakupina mikroorganizama, hrapavosti površine i soli iz atmosfere [4].

Metode zaštite od pojave rupičaste korozije podrazumijevaju mehaničku, kemijsku ili elektrokemijsku obradu površine nakon zavarivanja s ciljem uklanjanja nehomogenosti i ponovne uspostave zaštitnog pasivnog sloja. Isto tako, preporučena je upotreba visokolegiranog čelika s dodatkom Mo (~ 2%). Ukoliko se radi o zahtjevnijim, odnosno agresivnijim sredinama, potrebno je upotrijebiti superaustenitni čelik s 20 do 25% Cr, 20 do 25% Ni te 4 do 5% Mo ili primijeniti dupleks čelik i leguru nikla. Naposljetku, potrebno je smanjiti agresivnost medija s povišenjem pH-vrijednosti i snižavanjem temperature te je preporučena primjena anodne zaštite konstrukcije [4].

#### 4.5. Interkristalna korozija

Interkristalna korozija je smatrana posebno opasnim oblikom korozije zbog svojeg nevidljivog napredovanja duž granice kristalita, odnosno zrna, zbog čega dolazi do razaranja metalnih veza između kristalita unutar mikrostrukture čelika koje naposljetku dovodi do konačnog raspadanja cijelog dijela. Najčešće se pojavljuje na nehrđajućim čelicima i legurama na bazi aluminijske i nikla. Karakteristike ove vrste korozije obuhvaćaju dugačak period djelovanja bez vidljivih

simptoma na materijalu te naglo smanjenje čvrstoće i žilavosti materijala. Isto tako, posebnu podložnoj ovoj vrsti korozije posjeduju feritni i austenitni (slika 4.6) nehrđajući čelici [4,11].

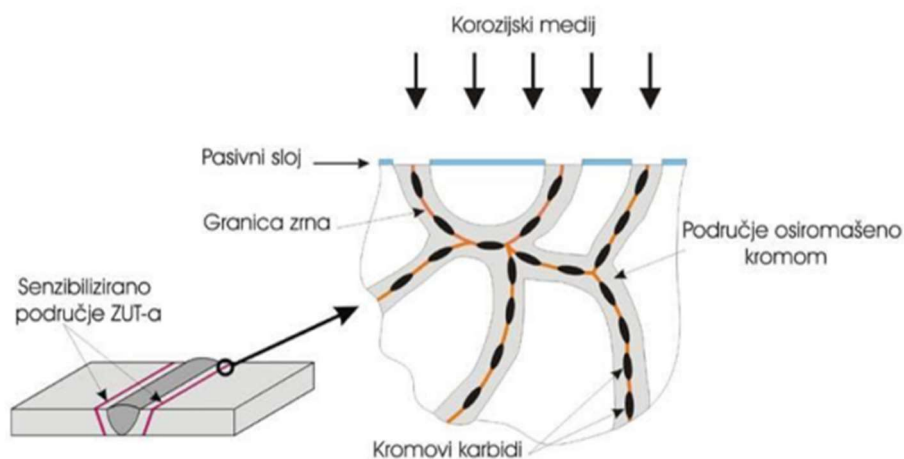


*Slika 4.6: Interkristalna korozija austenitnog nehrđajućeg čelika [11]*

Uvjeti stvaranja interkristalne korozije na austenitnom nehrđajućem čeliku Cr-Ni podrazumijevaju (slika 4.7) [4]:

- veliku sklonost ugljika prema Cr i prenisku brzinu hlađenja koja dovodi do stvaranja  $\text{Cr}_2\text{C}_6$  karbida na granicama zrna,
- nastale intermetalne spojeve koji u sebi sadrže veliku količinu Cr (~ 94%),
- osiromašenje područja uz granice zrna koja sadrže krom zbog čega više nisu ispunjeni uvjeti postojanosti na korozijske procese ( $\text{Cr} < 12\%$ ).

Isto tako, unutar elektrolita dolazi do zatvaranja galvanskog članka između formiranih karbida u obliku katode i anodnog područja koji sadrži smanjeni udio kroma. Rezultat prethodno navedenog podrazumijeva razaranje granica strukture te smanjenje čvrstoće [4].

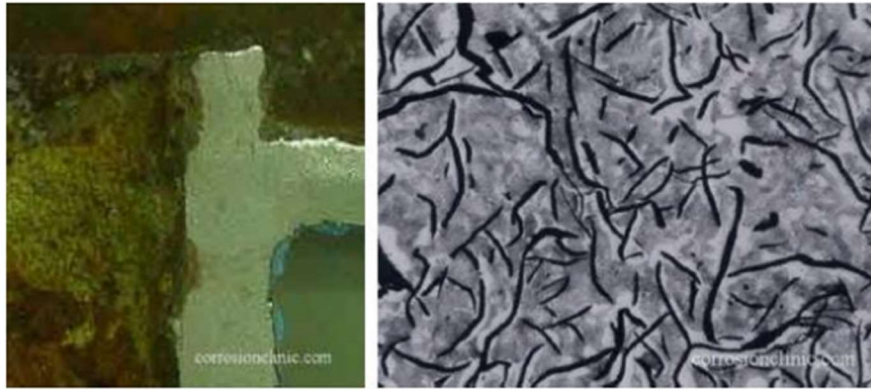


Slika 4.7: Nastajanje interkristalne korozije kod zavarenog spoja [11]

Danas ova vrsta korozije nije više toliko opasna zbog više metoda koje omogućavaju izbjegavanje senzibilizacije poput snižavanja dijela ugljika i stabilizacije. Pomoću snižavanja dijela ugljika nastaju tzv. 'low carbon steel' koji sadrže manje od 0,03% C s relativno niskom čvrstoćom. Dok stabilizacija podrazumijeva legiranje s Ti ili Nb jer ugljik posjeduje veliku količinu afiniteta prema Ti i Nb, zbog čega se stvaraju Ti i Nb karbidi i Cr ostaje netaknut na razini od 18% [10].

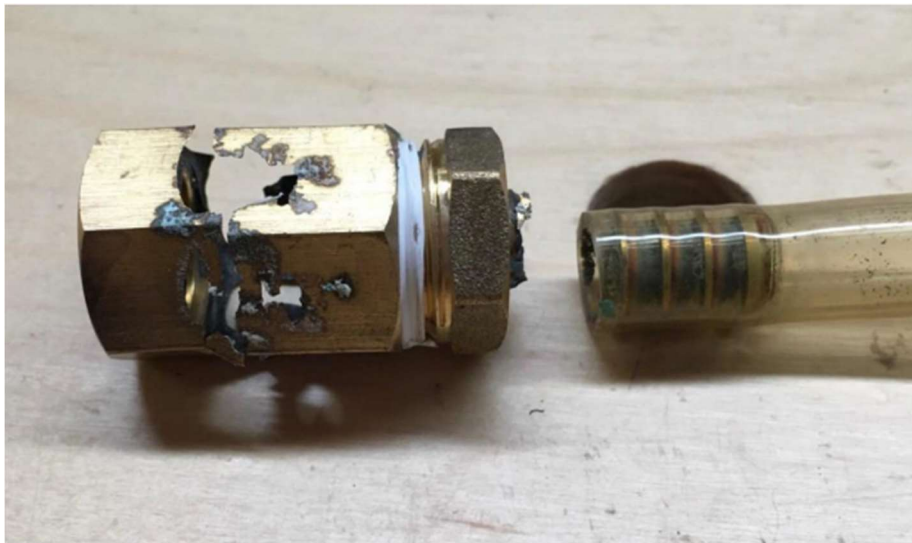
#### 4.6. Selektivna korozija

Selektivna korozija je smatrana vrstom korozije koja napada isključivo jednu neplemenitiju fazu ili komponentu višefaznog ili višekomponentnog materijala. Ova vrsta korozije je također smatrana opasnom zbog svoje mogućnosti pretvaranja materijala koji su čvrsti i duktilni u materijale koji su krhki i podložni lomu. Isto tako, potrebno je napomenuti i težinu uočavanja njezinih procesa, jer se ne mijenjaju dimenzije materijala. Najčešći primjeri ove vrste korozije obuhvaćaju grafitizaciju sivoga lijeva u razrijeđenim kiselinama, slanoj vodi i određenim vrstama tla koje uzrokuje selektivno otapanje ferita i perlita, odnosno željezne matrice prilikom čega ostaje zadržali spužvasti grafit (slika 4.8) [4,11].



*Slika 4.8: Primjer grafitizacije sivog lijeva [11]*

Pored grafitizacije, također postoji i decinkacija koju je najčešće moguće uočiti u legurama s jednom fazom poput primjerice decinkacije mjedi s više od 15% cinka u vodi i tlu prilikom čega se odvija otapanje cinka i ostaje samo porozna matrica od bakra. Unutar mjedi cink je vrlo aktivan element u usporedbi s bakrom, zbog čega su mehanička svojstva legure ovdje slabija (slika 4.9) [4,10].



*Slika 4.9: Primjer decinkacije mjedi [10]*

Sprečavanje decinkacije mjedi provodi se zadržavanjem minimalno 85% bakra u leguri, a grafitizacija sivog lijeva nanošenjem premaza i dodatne katodne zaštite konstrukcija koje su ukopane [4].



#### 4.7. Erozijska korozija

Erozijska korozija je vrsta korozije kod koje istodobno djeluju kemijska i fizikalna oštećenja materijala. Erozijska korozija se smatra mehanički potpomognutim procesom trošenja materijala i definira se kao progresivni gubitak materijala sa konstrukcijske površine uzrokovano mehaničkim međudjelovanjem medija i površine. Ova vrsta korozije nastaje u agresivnom mediju, najčešće unutar sustava koji služe za prijenos tekućina. Oštećenja tada nastaju vrlo brzo, čak i u slučaju vrlo niske korozivnosti medija [4,11].

Prethodno navedeno se odvija zbog zajedničkog utjecaja korozivnih procesa te velike brzine strujanja koje može biti vrlo opasno ukoliko se radi o pogonima koji služe za transport i preradu medija koji su zapaljivi te može uzrokovati havariju pogona (slika 4.10) [4,10].



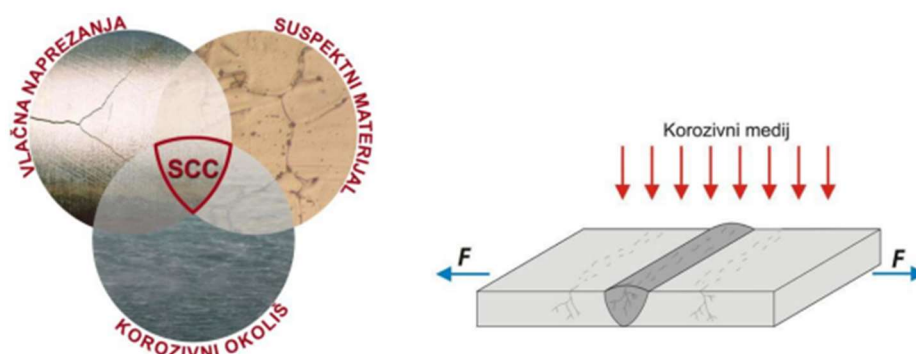
*Slika 4.10: Erozijsko oštećenje cjevovoda za transport nafte [10]*

Erozija uzrokuje skidanje zaštitnih slojeva s površine materijala u obliku dimenzionalno stabilnih produkata korozije ili otopljenih iona, što onemogućuje njihov zaštitni učinak. Karakteristična je i izloženost površine materijala korozivnom djelovanju medija. Istodobno dolazi do povećanja hrapavosti površine metala, zbog čega tvrdi kompaktni metal obično poprima karakteristike mekšeg produkta korozije, što također ubrzava proces erozije [4,11].

Metode zaštite od erozijske korozije podrazumijevaju primjenu materijala s većom korozivnom i erozijskom postojanošću te zaštitu pomoću konstrukcijsko-tehnoloških rješenja, promjene okolnosti te nanošenja prevlaka [4].

## 4.8. Napetosna korozija

Napetosna korozija (engl. *Stress Corrosion Cracking* – SCC) podrazumijeva vrstu korozije koju uzrokuje istodobno djelovanje agresivne okoline i vlačna naprezanja na konstrukcijskom materijalu. Vlačna naprezanja na konstrukcijskom materijalu najčešće uzrokuju zaostala naprezanja koja nastaju zbog zavarivanja ili hladne deformacije. Postoje vanjska opterećenja i naprezanja kao posljedica opterećenja koja se odvijaju na ovjesnim elementima kod visećih mostova ili spuštenih stropova [4,11]. Napetosna korozija uzrokuje pojavu pukotina na površini materijala (slika 4.11). Ovu vrstu korozije nije moguće predvidjeti jer prilikom njezinih procesa na vanjskom dijelu materijala ne postoje vidljivi znakovi koji bi ukazali na njezino postojanje. Stoga, ova vrsta korozije uzrokuje neočekivane havarije koje najčešće prate vrlo visoki troškovi [10,11].



Slika 4.11: Napetosna korozija [10]

Kako je prikazano slikom 4.11, kako bi došlo do napetosne korozije, moraju biti ispunjeni uvjeti koji podrazumijevaju [4]:

- materijal kojeg karakterizira sklonost napetosnoj koroziji,
- agresivni medij, posebice ukoliko je prisutna povišena temperatura,
- naprezanje.

Napetosna korozija se najčešće pojavljuje kod nehrđajućih čelika, austenitnih i martenzitnih, dok feritne karakterizira otpornost, isto tako, pojavljuje se i kod drugih materijala i njihovim legurama [4].

Smanjenje sklonosti materijala prema napetosnoj koroziji se postiže metodama koje podrazumijevaju snižavanje vlačnog naprezanja putem toplinske obrade, konstrukcijskih izmjena, obrade mlazom sačme i tako dalje. Isto tako, moguće je korištenje inhibitora, zamjene metala, katodne zaštite ili deaktiviranja medija [4].

## **5. PRIMJENA ZAŠTITNIH PREVLAKA ZA ZAŠTITU OD KOROZIJE**

Zaštita od korozije podrazumijeva korištenje raznih metoda s ciljem istovremenog kočenja ili sprečavanja pojave raznih vrsta i oblika korozijskih razaranja. Zaštita od korozije se provodi s ciljem smanjenja ili poništenja afiniteta za proces korozije te povećanja otpora materijala prema koroziji. Kako bi se ostvarili prethodno navedeni ciljevi, potrebno je promijeniti unutrašnje čimbenike korozije, vanjske čimbenike korozije ili nanijeti prevlake na konstrukcijske materijale. Primjena prevlaka na konstrukcijske materijale također utječe na unutarnje i vanjske čimbenike korozije jer s aspekta materijala dolazi do promjene okoline, odnosno vanjskih čimbenika te s aspekta agresivne okoline dolazi do promjene karaktera površine materijala, odnosno unutarnjih čimbenika [3].

Zaštitne prevlake su smatrane najraširenijim proizvodom koji se koristi za zaštitu od korozije s ciljem dugotrajne zaštite raznih konstrukcijskih materijala u korozijski agresivnom okolišu. Zaštita primjenom prevlaka se može koristiti u uvjetima od atmosferskog izlaganja do vrlo zahtjevnih eksploatacijskih uvjeta koji su karakteristični za postrojenja kemijskih industrija. Zaštitne prevlake na konstrukciji obuhvaćaju najmanji udio njezinog ukupnog volumena, no uvelike štite integritet i omogućuju neometanu eksploataciju. Prethodno navedeno ukazuje na veliku važnost primjene prevlaka kao zaštite konstrukcija od korozijskih procesa [13].

Primjena prevlaka uvelike sprečava koroziju jer djeluje u obliku barijere prema agresivnom mediju. Isto tako, mogu se koristiti i u obliku dekoracije konstrukcije uz pružanje zaštite. Stupanj zaštite konstrukcije pomoću primjene prevlaka uvelike ovisi o raznim čimbenicima poput [4,11]:

- stupnja kompaktnosti prevlake,
- prijanjanja prevlake na konstrukcijsku površinu,
- debljine sloja prevlake,
- vrste materijala na koju se prevlaka nanosi,
- hrapavosti dodirne površine materijala
- i slično.

### **5.1. Postupak nanošenja prevlake**

Postupak nanošenja prevlake se sastoji od [4,13]:

- predobrade metalne površine koja će se prevlačiti,

- nanošenja,
- završne obrade prevlake (nije neophodna u svim prevlačenjima).

#### 5.1.1. Predobrada metalne površine koja će se prevlačiti

Kako bi se postigla adekvatna zaštita od korozije, potrebno je adekvatno obraditi površinu metala. Postupci obrade metalne površine obuhvaćaju uklanjanje hrđe, uklanjanje vlage, uklanjanje prašine i ostalih čimbenika koji imaju mogućnost sprečavanja adekvatnog prijanjanja prevlake na površinu metala. S ciljem obrade površine metala, potrebno je provesti metode poput [3,13,14]:

- mehaničkog čišćenja brušenjem,
- mlaza abraziva,
- čišćenja plamenom,
- kemijske predobrade.

Metoda mehaničkog čišćenja brušenjem je metoda koja se najčešće koristi s ciljem popravljivanja oštećenih površina ili s ciljem zaštite manjih površina.

Metoda abrazivnim mlazom podrazumijeva korištenje kremenog pijeska, čelične sačme, sječenih hladno vučenih čeličnih žica, staklenih perli, loma tvrdog lijeva i slično. Pomoću komprimiranog odnosno stlačenog zraka nastaje mlaz, dok se pomoću mlaza vodene emulzije izvodi pjeskarenje. Prilikom ocjenjivanja stanja površine koja se obrađuje potrebno je uzeti u obzir stupanj hrapavosti temeljem zahtjeva za prevlačenje i način nanošenja.

Metoda čišćenja plamenom najčešće se koristi u cilju sanacije oštećenja na površinama mehaničkim čišćenjem jer se time dobiva topla i suha površina primjerena za nanošenje premaza.

Metoda kemijske predobrade se najčešće provodi unutar industrijskog pogona pomoću uronjavanja površine u inhibiranu otopinu koja se sastoji od solnih i sumpornih kiselina.

Potrebno je napomenuti kako danas postoje i specijalni uređaji koji se koriste prilikom mehaničkog čišćenja površina te se mogu koristiti na razne načine i s ciljem nanošenja temeljnog sloja zaštite čija se uloga očituje u zaštiti površine metala sve do postupka nanošenja prevlake.

Brzina procesa zaštite površine metala je od velike važnosti jer je neočišćena površina metala karakterizirana visokom podložnošću koroziji [13].

### 5.1.2. Nanošenje premaza

Postupak nanošenja premaza se može podijeliti na [13]:

- pripremu površine za nanošenje premaza,
- planiranje uvjeta za nanošenje premaza,
- nadzor i kontrola prilikom bojenja,
- nanošenje premaza.

Postupak pripreme površine za nanošenje premaza predstavlja temeljni čimbenik trajanja premaza. Ukoliko je površina adekvatno pripremljena, premaz duže traje i obratno. Ovaj postupak se dijeli na dva dijela [13,15]:

1. Postupak primarne pripreme zaštite – obuhvaća pripremu profila, limova, dijelova prostora, konstrukcija i sličnih materijala koji nisu pod zaštitom od korozije unutar automatiziranih postrojenja. Podrazumijeva primjenu abrazivnog sredstva u obliku kuglaste čelične sačme koja rezultira oblikom površine bez oštrih vrhova koji imaju mogućnost probijanja tankog mokrog premaza. Nakon završene primarne pripreme površine, slijedi apliciranje temeljnog premaza (primer) na čelični lim s ciljem privremene zaštite od korozije sve do nanošenja premaza.
2. Postupak sekundarne pripreme zaštite – obuhvaća pripremu dijelova površine koji su propali ili oštećeni te koji su prethodno zaštićeni temeljnim premazom. Podrazumijeva primjenu abrazivnog sredstva u obliku oštroidne sačme koja rezultira boljim profilom usidrenja premaza na metalnu površinu.

Postupak planiranja uvjeta za nanošenje premaza obuhvaća pomno planiranje svih aktivnosti u adekvatnim radnim i mikroklimatskim uvjetima uz ispravni odabir metode primjene te vještine zaposlenika. Prilikom planiranja je potrebno obratiti pozornost na sljedeće uvjete [13,15]:

- dokumentacija bojenja – unutar nje se nalaze razrađeni procesi pripremanja i zaštite površine sa sustavima premaza kojima su točno određeni tipovi premaza, vrijeme za montažu i demontažu skela, proces sušenja i otvrdnjavanja, intervali između premaza i uvjeti mikroklimе;

- radni uvjeti – ukoliko je prostor ograničen ili zatvoren, potrebno je voditi računa o ventilaciji radi sigurnosti i sušenja premaza te je potrebno voditi računa o osvjetljenju;
- temperatura podloge – minimalno 3°C iznad točke rosišta s ciljem sprečavanja kondenzacije;
- odgovarajuća temperatura u okolini – ovisi o tome da li je prostor otvoren ili zatvoren, vlažnost mora biti manja od 85%, ukoliko je veća dolazi do rošenja površina.

Postupak nadzora i kontrole prilikom bojenja uvelike ovise o zahtjevima zaštite, ukoliko su oni veći, povećavaju se i zahtjevi nadzora i kontrole i obratno. Ovaj postupak je moguće podijeliti na [13,15]:

- kontrolu prije bojenja – obuhvaća pregledavanje pripremljene površine za bojanje s ciljem određivanja njezine usklađenosti s određenim standardima;
- kontrolu tijekom bojenja – obuhvaća kontroliranje premaza između faza bojenja;
- kontrolu nakon bojenja – obuhvaća pregledavanje debljine suhog filma te provjeru i ispitivanje zahtjeva koji se odnose na opći izgled i kontinuitet premaza i adhezije.

Premaz se nanosi sljedećim postupcima [3,13]:

- postupak nanošenja boje četkama,
- postupak nanošenja boje lopaticama,
- postupak nanošenja boje valjcima,
- postupak nanošenja boje 'štrcanjem' ili 'naštrcavanjem',
- postupak nanošenja boje uranjanjem ili prelijevanjem,
- postupak nanošenja boje elektrofrezom.

Postupak nanošenja premaza uvelike ovisi o raznim čimbenicima poput vrste premaza, zahtijevane brzine nanošenja, veličine predmeta, odnosno konstrukcije, dostupnosti ventilacije te ekološke prihvatljivosti [13].

## **5.2. Vrste zaštitnih prevlaka**

Prevlake je moguće podijeliti na [4]:

- metalne prevlake,
- nemetalne prevlake:

- anorganske prevlake,
- organske prevlake.

Prilikom zaštite čeličnih konstrukcija od korozije, najčešće se primjenjuju organske prevlake.

### 5.2.1. Metalne prevlake

Metalne prevlake se na površinu nanose putem fizikalnih i kemijskih postupaka platiranja ili metalizacije. Odabir postupka ovisi o tome da li je riječ samo o fizikalnim promjenama tijekom prevlačenja ili kemijske reakcije uzrokuju prevlake. Metalne prevlake koriste se s ciljem postizanja zaštite od korozije, stvaranja otpornosti na trošenje, stvaranja otpornosti na električnu vodljivost i promjene tvrdoće. Metode nanošenja metalnih prevlaka koje imaju tehničko značenje jesu (tablica 5.1) [3,4,13,14]:

- galvanizacija,
- vruće uranjanje,
- prskanje metala,
- difuzijska metalizacija,
- metalizacija prskanjem,
- fizikalna i kemijska metalizacija iz parne faze,
- metoda oblaganja koja obuhvaća platiranje i navarivanje,
- ionska izmjena,
- kanalitička redukcija.



Tablica 5.1: Postupci, primjena i karakteristike metalnih prevlaka [13]

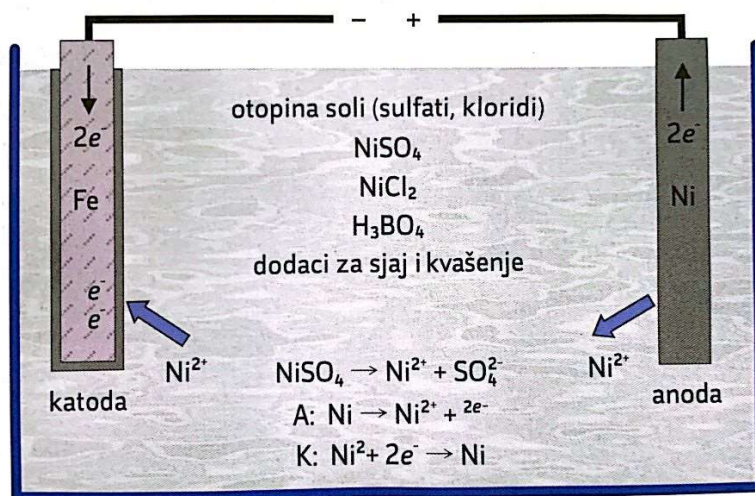
postupak	prevlake / podloge	metoda prevlačenja	značajke postupka i svojstva prevlaka
<b>vruće uranjanje</b>	Zn, ZnAl-legure, Sn, SnPb-legure, Pb-legure, Al i Al-legure na ugljične čelike, sivi lijev, Cu i Cu-legure	uranjanje obradaka u talinu koja kvasi podlogu i tvori s njom supstitucijske legure i/ili intermetalne spojeve	vrlo brz postupak, prikladan za kontinuirani rad; samo za nanošenje lako taljivih metala; slabo iskorištenje metala prevlake; teškoće pri regulaciji debljine sloja na profiliranim proizvodima; čvrsto prijanjanje na podlogu zbog međusloja legure ili spoja
<b>vruće prskanje (štrcanje) ili šopiranje</b>	gotovo svi metali i legure na gotovo sve metalne i nemetalne podloge	prskanje metalne taline plinskim, elektro-lučnim, plazmenim ili drugim pištoljem	univerzalan postupak glede materijala prevlake i podloge; mogućnost prevlačenja mnogim nemetalima; prikladno za velike proizvode, čak i na terenu; mogući su debeli slojevi i gruba regulacija debljine; tanke prevlake porozne, površina hrapava; veliki gubici pri prevlačenju duguljastih predmeta
<b>platiranje plastičnom deformacijom</b>	nehrđajući čelici, Al, Zn, Pb, Cu, Ag, Au, Ni i Ti na ugljični čelik, Al i Cu (bimetali)	zajedničko valjanje, provlačenje ili prešanje dvaju ili više metala; eksplozijsko platiranje; platiranje prahom	nemogućnost nanošenja tankih slojeva; prikladno za debele prevlake; skupi uređaji; teškoće pri spajanju i pri preradi otpadaka
<b>nataljivanje i navarivanje</b>	nataljuju se lako taljivi materijali na ugljični čelik, Cu i Cu-legure; navaruju se legirani čelici, monel i stelit na ugljični čelik i sivi lijev	nataljivanje prevlake bez taljenja podloge; navarivanje uz taljenje podloge	nataljivanje tanjih prevlaka bez strukturnih promjena u podlozi; navarivanje debljih, hrapavih prevlaka uz strukturne promjene u podlozi uz prevlaku
<b>lemljenje i lijepljenje</b>	nanose se folije Cu, Sn i Pb na metalne i nemetalne podloge	spajanje folija među -slojem mekog lema ili lijepljenja s podlogom	skupi uređaji; samo za tanke savitljive podloge
<b>difuzijska metalizacija</b>	prevlake Zn (šerardizi - iranje), Al i AlFe-legura (alitriranje), Cr i CrFe-legura (inkromiranje), FeSi-legura, B i Fe <sub>2</sub> B te V na čelicima i Fe- lijevovima	visokotemperaturno izlaganje prašku ili plinskoj smjesi uz difuzijsku tvorbu legura i spojeva s metalom podloge	spor postupak, prikladan za male obratke; izvrsno prijanjanje; ograničen izbor prevlaka i podloga; debljina sloja raste s temperaturom i vremenom izlaganja; moguće strukturne promjene u podlozi
<b>naparivanje</b>	gotovo svi metali, legure te mnogi metalni spojevi (karbidi, nitridi) na metalnim i nemetalnim podlogama	fizikalno: skrućivanje para na obratku (PVD-postupak); kemijsko: taloženje prevlake reakcijom u plinskoj fazi (CVD-postupak)	obično se provodi u vakuumu, često uz električno pražnjenje; prikladno za male obratke; skupa oprema; širok izbor prevlaka i podloga
<b>galvanotehnika (galvanostegija, galvanizacija, elektroplatiranje)</b>	Zn, Ni, Cr, Cu, Sn, Cd, Ag, Au, mjed na ugljični čelik, Cu i Cu-legure; na nemetale nakon posebne pripreme	katodna redukcija pri elektrolizi vodenih otopina metalnih spojeva	skupa oprema; sporo nanošenje; lako se regulira prosječna debljina sloja, ali je neravnomjerna na profiliranim proizvodima; moguće dobiti sjajne prevlake; Al se izlučuje iz nevodnih otopina
<b>ionska zamjena (cementacija)</b>	Cu, Sn, Ag, Au i Zn na neplemenitije metale (Cu i Sn na čelik, Sn, Ag i Au na Cu i Cu-legure, Zn na Al)	metal podloge ili neplemenitiji metal u kontaktu s njim (Al, Zn) ionizira dajući elektrone koji reduciraju ion metala u vodenoj otopini tvoreći prevlaku	jednostavna i jeftina oprema; brz postupak; tanki slojevi (do 2 $\mu$ m) ravnomjerne debljine; kupelji se brzo kvare; često slabo prijanjanje i poroznost; ograničen izbor prevlaka i podloga
<b>katalitička redukcija</b>	NiP- i NiB-legure na ugljične čelike (kemijsko niklanje, niklanje bez struje); rjeđe Cu-legure na čelike	redukcija Ni <sup>2+</sup> iz vodene otopine tromim reducensom (hipofosfitom ili spojevima B i H) uz katalizu površinske podloge i prevlake	spor postupak; usko ograničen izbor prevlaka; vrlo ravnomjerna debljina sloja i mogućnost njezine regulacije; teško održavanje kupelji

S ciljem zaštite konstrukcija strojeva najčešće se primjenjuju sljedeći postupci prevlačenja [4]:

- galvanizacija,
- vruće uranjanje,
- prskanje metala.

Galvanizacija predstavlja najviše primjenjivani postupak kada je riječ o nanošenju metalnih prevlaka na nemetalne i metalne obratke putem elektrolita. Obradak je izložen prema elektrolitu katoda, odnosno spaja se na negativan pol izvora istosmjerne struje od 4 do 10 V. Anoda se najčešće upotrebljava u obliku čistog metala koji čini metalnu prevlaku. Elektrolit se sastoji se od metalnih iona soli koji stvaraju prevlaku, dok elektroni na izratku tvore galvansku prevlaku

redukcijom metalnih iona u elektrolitu (slika 5.1). Debljina prevlaka iznosi od 0,1 $\mu$ m do 1 mm [4].



Slika 5.1: Shema postupka elektrokemijskog niklanja [4]

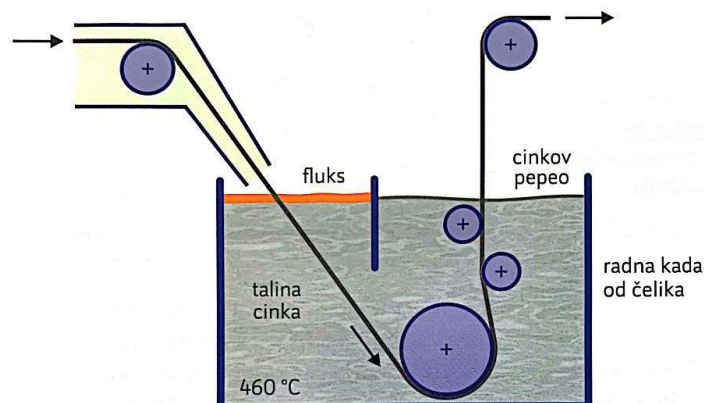
Prednosti galvanizacije se očituju u njezinoj ekonomičnosti, mogućnosti spajanja metala koji se sastoje od raznih mehaničkih karakteristika, jednostavnosti regulacije procesa, dobrom spajanju prevlaka s osnovnim materijalom, visokoj čistoći prevlaka, niskim temperaturama obrade i slično. Nedostatci galvanizacije se očituju u nejednolikoj debljini prevlaka koja se nanosi na profilirane površine, slaboj mikroraspodjeli, mehaničkoj napetosti te galvanskom pitingu koji uzrokuje poroznost tanjih prevlaka.

Vruće uranjanje je također jedna od važnijih metoda kada je riječ o fizikalnoj metalizaciji. Ono obuhvaća postupak uranjanja metalne robe u rastaljen metal kojeg karakterizira nisko talište. Stoga prevlaka nastaje nakon što je izvađena iz taline jer se zaostali film na obratku skrućuje kao posljedica kvašenja. Glavni uvjeti primjene vrućeg uranjanja podrazumijevaju [4]:

- veće talište podloge u usporedbi s talištem prevlaka (ugljični čelik sivog lijeva, bakar i Cu-legura, prevlake od cinka (420°C), kositra (232°C), olovo (327°C) i slično;
- postojanje mogućnosti provođenja legiranja između metala podloge i prevlaka prilikom procesa uranjanja kako bi nastao kristal mješanac koji rezultira izvrsnom prionjivošću.

Prevlake koje su stvorene temeljem prethodno navedenih uvjeta karakterizira adekvatna debljina u usporedbi s prevlakama koje se dobivaju putem metode galvanizacije, jer je ona u ovom slučaju neekonomična. Najrašireniji postupak vrućeg uranjanja predstavlja pocinčavanje koji se

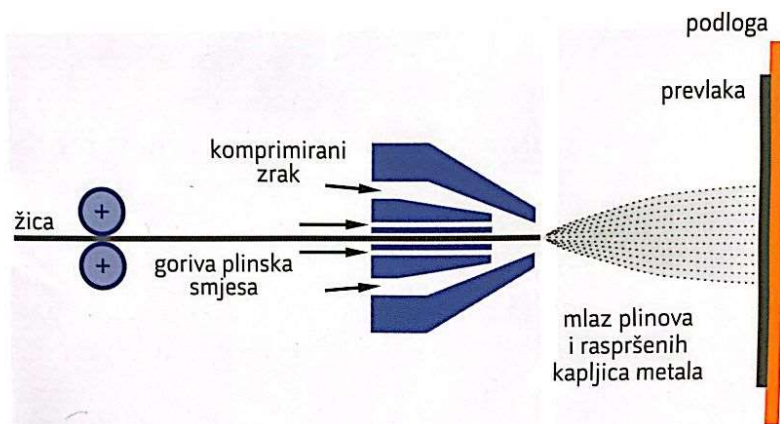
primjenjuje s ciljem zaštite čelika od atmosfertske korozije i korozije koja nastaje u neutralnom tlu (slika 5.2) [4].



Slika 5.2: Vruće pocinčavanje čelične trake [4]

Prednosti vrućeg pocinčavanja se očituju u velikoj brzini obrade velikih količina robe čiji je rezultat prevlaka s dobrom zaštitom od korozije te povoljnim mehaničkim svojstvima. Nedostaci vrućeg pocinčavanja se očituju u velikom gubitku rastaljenog metala te mogućnosti izobličenja predmeta zbog previsokih temperatura.

Vruće prskanje obuhvaća postupak štrcanja kapljica rastaljenog metala na podlogu. Postupak se temelji na mlazu kapljica rastaljenog metala, koja se stvara kroz brzinu strujanja zraka ili drugog plina te udara o podlogu brzinom od 50 – 850 m/s. Nakon udarca, kapljice se spljošte, dolazi do naglog hlađenja i skrućivanja koje tvore prevlaku. Alat kojim se provodi vruće prskanje podrazumijeva raspršivače kapljica, odnosno ručne ili stacionarne pištolje. Postupak se sastoji od taljenja metala pomoću grijanja na ušću pištolja koje se provodi na plamenu gorivog plina ili djelovanju električnog luka koji se postavlja između taljivih elektroda. Stoga, postoje plinski (slika 5.3), elektrolučni i plazma (rijetko u upotrebi) pištolji [4].



Slika 5.3: Metalizacija plinskim pištoljem [4]

Prednosti metode vrućim prskanjem jesu zaštita velikih predmeta i konstrukcija, jednostavnost načina rada, moguća zaštita na terenu te moguće reguliranje debljine prevlake. Nedostatci metode vrućim prskanjem obuhvaćaju veliku poroznost prevlake kada se radi o tanjim slojevima, povećan gubitak materijala prilikom prskanja te nisku čvrstoću spajanja prevlake s površinom materijala.

### 5.2.2. Nemetalne anorganske prevlake

Nemetalne anorganske prevlake je moguće nanijeti na sljedeće načine [3,4,13,14]:

- fizikalnim postupcima – prevlake se nanose emajliranjem (prah mljevenog stakla koji se taljenjem veže za metal) te prskanjem na površinu metala,
- kemijskim postupcima – prevlake se najčešće oblikuju pomoću procesa unutar kojeg također sudjeluje površina podloge.

Površinski sloj metala se mijenja u novi sloj koji se sastoji od jednog ili više oksida kojeg karakteriziraju bolja svojstva zaštite od korozije [13,15].

Najčešće korišteni postupci jesu [4]:

- emajliranje,
- oksidne prevlake,
- fosfatiranje i
- kromatirane prevlake.

Emajliranje podrazumijeva proces nanošenja sloja boorsilikatnog stakla na metalnu površinu prilikom čega se najčešće koriste sivi lijev, niskouglični čelik i aluminij. Proces se sastoji od nanošenja sloja mljevenog stakla na prethodno pripremljenu metalnu površinu i pečenja koje rezultira fiksiranjem i stvaranjem kompaktnog sloja na površini. Prednosti ove metode obuhvaćaju dobivanje lijepih i glatkih prevlaka koje u velikoj mjeri pružaju zaštitu metalu od korozije, lako čišćenje i povećanu otpornost na trošenje. Nedostatci ove metode obuhvaćaju malu žilavost te podložnost pucanju prilikom malih udaraca.

Oksidne prevlake se najčešće primjenjuju na bakar, aluminij, čelik i neke njihove legure. Kada je riječ o čeliku, najčešće se primjenjuje proces bruniranja (stvaranje crnog oksidnog sloja  $Fe_3O_4$

debljine 2  $\mu\text{m}$  na površinu). Brunirani sloj se vrlo često impregnira strojnim uljem zbog svoje poroznosti. Pomoću obrade se postiže povećanje otpornosti prema korozijskim procesima te se postiže dekorativan efekt. Postupak se najčešće primjenjuje s ciljem obrade vanjskih dijelova oružja te unutrašnjih dijelova optičkih uređaja. Ovaj sloj je nevidljiv zbog svoje prozirnosti, no posjeduje svojstva neporoznosti i postojanosti unutar vode i slabo kiselih otopina (sokovi u hrani).

Fosfatiranje predstavlja proces obrade metala pomoću otopine fosfata i fosforne kiseline kako bi se povećala njihova otpornost na atmosfersku koroziju ili kako bi se napravila predobrada za proces bojanja i lakiranja. Ova metoda se može izvesti na kemijski i elektrokemijski način te se najčešće primjenjuje na čeliku. Elektrokemijski postupci se primjenjuju vrlo rijetko zbog visokih troškova i manjka kvalitete u prevlakama. Kemijski postupci se primjenjuju češće te podrazumijevaju postupak uranjanja u otopinu i postupak raspršivanja. Također, postupci mogu se podijeliti na vruće i hladno fosfatiranje. Nedostatak vrućeg fosfatiranja se očituje u velikoj potrošnji energije i složenom održavanju kupelji koje je posljedica konstantnog nadoknađivanja vode koja isparava zbog temperature od  $100^{\circ}\text{C}$ . Prednosti hladnog fosfatiranja se očituju u provođenju na sobnoj temperaturi, korištenju metode prskanja mlaznicom te pokrivanjem velikih površina koje nije moguće fosfatirati metodom uranjanja. Fosfatni slojevi su porozni, zbog čega nisu adekvatni za zaštitu od korozije, no smatrani su odličnom podlogom prilikom nanošenja organskih prevlaka.

Kromatizirane prevlake se najčešće primjenjuju na prevlake kadmija i cinka te imaju pasivirajuće djelovanje na osnovni metal jer se sastoje od kromatnog iona  $\text{CrO}_4^{2-}$ . Prednosti ove metode jesu brzina, mali troškovi te dobra zaštita od atmosferilija. Nedostatak ove metode predstavlja štetan utjecaj na okoliš te manjak otpornosti na abraziju.

### 5.2.3. Nemetalne organske prevlake

Nemetalne organske prevlake predstavljaju jednu od najraširenijih metoda zaštite metalnih površina zaštitnim prevlakama u tehničkom području. Od ukupnih metalnih površina tri četvrtine je zaštićeno organskim prevlakama. Jedan od razloga tomu je činjenica kako se neke površine mogu zaštititi isključivo ovom metodom. Organske prevlake podrazumijevaju sve prevlake koje se sastoje od kompaktne organske tvari. Spomenuti slojevi su nastali procesom nanošenja organskih premaznih sredstava poput [4,13]:

- bojenja i lakiranja,
- uobičajenog podmazivanja,
- plastifikacije,
- gumiranja i
- bitumenizacije.

Pojmovi 'boje' i 'lakovi' se upotrebljavaju za premazna sredstva te gotove prevlake koje su nastale kao rezultat procesa njihovog sušenja. Premaz predstavlja općeniti naziv za jedan ili više slojeva koji su međusobno povezani na određenoj podlozi te koji rezultiraju 'suhim' filmom. Sva premazna sredstva se sastoje od veziva koje ujedno čini opno prevlake, te od otapala i razrjeđivača koji služe za otapanje veziva i regulaciju viskoznosti. Pored toga, u premaznim sredstvima se također mogu nalaziti neotopljivi praškovi poput pigmenata i punila koji rezultiraju nijansom i neprozirnošću premaza te razni dodatci, odnosno aditivi.

Plastifikacija je metoda koja podrazumijeva korištenje raznih vrsta polimera poput PVC-a, PE-a, PTFE-a i slično. Ova metoda se sastoji od postupaka nanošenja nabijenog praha obrnutog polariteta od metala na metalnu površinu s pištoljem na elektrostatsko prašenje, zbog čega dolazi do lijepljenja praha po cijeloj metalnoj površini. Elektricitet omogućava nanošenje praha na područja na kojima ga nema te odbijanja praha na područjima na kojima se već nalazi. Nakon toga, slijedi polimerizacija sloja na temperaturi od 180°C s ciljem dobivanja zaštitnog sloja plastike kako bi se metal adekvatno zaštitio od korozivskih procesa. Prednosti ove metode jesu dugotrajna zaštita od korozivskih procesa.

Gumiranje je postupak prilikom kojeg se postiže zaštita površine materijala od utjecaja kiseline i njezinih otopina, udaraca te ostalih oštećenja. Postupci gumiranja obuhvaćaju lijepljenje obloga od meke ili tvrde gume na površinu metala, prilikom čega je prvotno potrebno površinu očistiti i premazati gumenim lijepkom. Nakon što se lijepak osuši, slijedi oblijepljivanje predmeta s gumenim pločama i vulkanizacija na temperaturi od 100 – 150°C u vremenskom periodu od 60 minuta do 10 sati. Nedostatak ove metode obuhvaća ograničenje temperature jer prilikom visokih temperatura dolazi do širenja i propuštanja, te neotpornost na benzol, benzin i slično.

Bitumenizacija podrazumijeva nanošenje bitumeniziranih tvari na konstrukcije od betona i čelika s ciljem zaštite od djelovanja podzemnih i prirodnih voda. Postupak ove metode obuhvaća izvođenje pomoću lijepljenja ili nataljivanja bitumenskih bandaža (impregnirane tkanine bitumeniziranim tvarima) na temperaturi od 200°C. Nataljivanje kod pogonske bitumenizacije

rezultira slojevima debljine od 0,5-2,5 mm te trajanje više od 40 godina. Pojedinačna bandaža se nanosi procesom lijepljenja u debljini od 4 mm te ju je moguće primjenjivati na temperaturama od -15 do 120°C.

Adekvatna prionjivost organskog premaza na površinu materijala uvelike utječe na ostvarenje zaštitnih karakteristika premaza. Ukoliko premaz loše prijanja, dolazi do ranijeg propadanja premaza te izloženosti materijala agresivnim medijima u okolišu.

## 6. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu rada opisan je postupak pocinčavanje vrućim uranjanjem u cinčaoni Helena gdje je opisana svaka faza pripreme površine koja je potrebna da bi zaštita bila adekvatna. Također je opisan postupak plastifikacije u hali tvrtke Mihoković d.o.o. gdje je prikazan i opisan postupak pripreme površine materijala, postupak plastifikacije materijala te zaštita materijala nakon plastifikacije prilikom transporta.

Na samom kraju su dane usporedbe zaštite pocinčavanjem i zaštite plastifikacijom, te njihove prednosti i nedostaci.

### 6.1. Zaštita vrućim uranjanjem ili pocinčavanjem

Vruće pocinčavanje je tehnološki postupak stvaranja cinkove prevlake na površinu metala. To je postupak uranjanja metala u rastopljeni cink. On se vrši u tri faze u bazenima. Prva faza je čišćenje i priprema površine (odmašćivanje, nagrizanje, ispiranje ili fluksiranje), vruće pocinčavanje uranjanjem u rastopljeni cink, te kontrola gotovog proizvoda i na kraju sušenje. (slika 6.1)



*Slika 6.1: Bazeni za pripremu i čišćenje površine*



Također se treba pridodati važnost da prethodne prevlake na metalu moraju biti skinuti prije operacije čišćenja i odmaščivanja pjskarenjem, sačmarenjem ili nekim drugim mehaničkim abrazivnim postupkom.

Prva faza, čišćenje i priprema površine, vrlo je važan korak u procesu pocinčavanja vrućim uranjanjem.

Odmaščivanje površine bioklinom (slika 6.2) je jedan od procesa čišćenja i pripreme površine gdje se sa metalnog materijala skida sva prljavština i masnoća. Izvodi se u neutralnoj otopini pri temperaturi od 45°C - 50°C tehnologijom korištenja bioloških agensa koji se hrane organskim masnoćama koje stvara povoljno okruženje za njihov opstanak i razvoj. Taj postupak traje 10-15 min ovisno o veličini čelika.



*Slika 6.2: Odmaščivanje bioklinom*

Druga faza je nagrivanje, odnosno dekapiranje (slika 6.3). U toj fazi čišćenja i pripreme površine u solnu kiselinu (HCl) (koja se kupuje 30-postotna solna kiselina, razrjeđuje na 15 – 16-postotnu solnu kiselinu) se uranja čelik koji je prethodno odmašćen, no još postoji mogućnost da ima sloj masnoće. Na sobnoj temperaturi razrijeđena solna kiselina nagriva površinu metala ulazeći kroz odmašćeni korodirani sloj, te pri tome stvara vodik (H) koji svojim svojstvom naglo ekspandira te odbacuje slojeve hrđe koji su se već stvorili. Metal se ovdje zadržava 15-20 minuta, zavisno o količini onečišćenosti.



*Slika 6.3: Dekapiranje*

Nakon odmaščivanja i dekapiranja, čelik se ispiru u protočnoj, običnoj vodi kako bi se sa površina isprala od solne kiseline. Ukoliko voda nije protočna, čelik se ispiru višestrukim uranjanjem u niz bazena, te se iza toga uranja u fluks.

Završna faza operacije pripreme površine za vruće pocinčavanje je fluksiranje koje je mješavina cinkovog klorida i amonijak klorida (slika 6.4.). Ono podrazumijeva skidanje svih ostalih zaostalih oksida sa površine materijala, te skidanjem stvara tanke prevlake klorida kako bi preventivno zaštitio netom očišćenu i pripremljenu površinu. Metoda stavljanja fluksa na površinu metala ovisi o primijenjenoj tehnologiji „mokrog“ ili „suhog“ vrućeg pocinčavanja.



*Slika 6.4: Bazen za fluksiranje*

U „suhom“ pocinčavanju, koji je noviji postupak, prevlaka fluksa se izvodi stavljanjem metala u bazen koji sadržava otopinu cinkovog i amonijevog klorida koja se održavaja na temperaturi do 70°C, te se tim postupkom vrši prefluksiranje. Poslije tog postupka čelik se suši u sušionicama na temperaturi od 120°C kako bi se metal usput i zagrijao prije uranjanja u vrući cink kako ne bi došlo do pucanja materijala.

U „mokrom“ postupku, koji je i stariji postupak za nanošenje prevlake fluksa, koristio se rastopljeni klorid ali uz dodatak sapuna, odnosno glicerina koji je glavni sastojak sapuna. Ta

smjesa bi zbog svoje male gustoće plutala na površini prednjeg dijela bazena. Površina mokrog metala koji bi prolazio kroz smjesu rastopljenog klorida i glicerina bi se dodatno čistila i odmastila.

I u jednom i u drugom postupku fluks omogućava čvrstu prionjivost, odnosno tvorbu intermetalnog spoja cinka i čelika. Treba naglasiti da se fluks stalno regenerira.

Ako se nepravilno pripremi površina, tada dolazi do trošenja prevlake prije nego što se očekuje, odnosno dolazi do nepotpune reakcije rastopljenog cinka s površinom metala, odnosno tvorbu intermetalnog spoja, što je osnovna karakteristika vrućeg pocinčavanja.

Nakon pripreme površine materijal se dolazi se vruće pocinčava. Metal se uranja u čeličnu kadu dimenzija 6200x1200x1800mm, koja sadrži rastopljeni cink (slika 6.5), te se zna dodati aluminij kako bi cinku koji je krt dodao elastičnost da pri nižim temperaturama poboljša fluidnost otopine, spriječi prekomjerno nanošenje prevlake, te poboljša izgled prevlake. U teoriji i prema standardima, dozvoljena minimalna čistoća rastopljenog cinka iznosi 98%, no u praksi se najčešće koristi cink 99,995% čistoće. Temperatura rastopljenog cinka je između 475°C - 489°C.



*Slika 6.5: Cink u krutom stanju*

Nakon cijelog prolaza postupka može se reći da je vruće pocinčavanje (slika 6.6) kemijska reakcija kojom se na kraju dobiva cinkova prevlaka. Cinkova prevlaka ovisi o svim prethodnim faktorima u postupku kao što je priprema materijala i dobro čišćenje kako bi cink bolje prianjao na materijal. Također kako bi dobili željenu zaštitu od korozije potrebno je točno određivanje temperatura u procesu da ne dođe do predebelog i nejednolikog sloja cinka na materijalu pri niskim temperaturama ili kod previsokih temperatura gdje prevlaka slabo prianja ili uopće ne prianja na materijal. Pri cijedeđu cinka sa materijala, odnosno kada se materijal izranja iz cinka potrebno je sve kapljice koje se cijede skloniti da se dobije dobra kvaliteta površine materijala. Također pri izlazu metala iz vrućeg cinka, cink se na površini razmiče lopaticama jer cink u doticaju sa kisikom stvara cinkov oksid te razmicanjem cinkovog oksida materijal izlazi ljepši, ali treba napomenuti da taj cinkov oksid ne mijenja važnost zaštite vrućeg cinka.



*Slika 6.6: Vruće pocinčavanje*

Treba napomenuti da za sitne dijelove metala postoji košara (slika 6.7) u kojoj se stave ti dijelovi te se ubacuje u bubanj (slika 6.8) gdje centrifugira košaru kako bi cink uspio prodrti do najsitnijih rupa i utora. Uglavnom se to koristi za navoje, kvake, i slično. Također se centrifugom izbacuje sav višak cinka iz utora. Ovo je proces suhog pocinčavanja jer se ne koristi tekućina nego cinkov prah. Bubanj se zagrijava na 500 °C gdje se cink pretvara u paru, te para prodire u metal koji se okreće unutar bubnja.



*Slika 6.7: Košara za sitne dijelove*



*Slika 6.8: Bubanj za centrifugu*

Nakon vrućeg pocinčavanja neki proizvodi se pasiviziraju, odnosno kromatiraju u bazenu. Taj postupak se vrši isključivo radi sjajnosti vrućeg cinka, koji traje 6mj. Ako se proizvod ne pasivizira tada se ostavlja prirodno hladiti na zraku.

Tehnološkim procesom vrućeg pocinčavanja stvara se metalurška veza s kojom se štiti metal od korozije, a također postaje njegova cjelina jer rastopljeni cink reagira sa materijalom koji se uranja u njega i stvara cink-čelik leguru u slojevima, te se na slici 6.9 može vidjeti kako izgleda pocinčana površina. Cinkov sloj je nakon izranjanja sjajan kao što se može vidjeti na slici 6.6, no kroz kratko vrijeme (3-5 dana) stvori se cinkov oksid gdje metal stvara efekt istrošenosti, no zaštita je i dalje prisutna ali zbog vlage i ostalih utjecaja cink oksidira i dobiva svoju boju.



*Slika 6.9: Pocinčana površina*

Kvaliteta vrućeg pocinčavanja se može vidjeti golim okom gdje kvalitetu zaštite se vidi ako je sloj cinka na metalnom proizvodu čvrst i neprekinut, te se debljina sloja cinka kontrolira tijekom i nakon procesa pocinčavanja.

Također se kontrola kvalitete provodi provjerom debljine prevlake na materijalu magnetskim mjeračem. Provjera se može vršiti i rezanjem samog materijala ili zabijanje vrha oštrog elementa u prevlaku kako bi se pokušala podići prevlaka sa površine materijala, te ako se prevlaka oljušti tada se prijanjanje smatra neuspješnim.



## 6.2. Zaštita plastifikacijom

Kao i kod prethodnog postupka i kod postupka zaštite postupkom plastifikacije najbitnija je priprema materijala odmašćivanjem i fosfatiranjem u kadi (slika 6.10). Tim procesom se uklanjaju sve nečistoće i masti sa metala kao i kod početne faze procesa zaštite vrućim pocinčavanjem, a fosfatiranjem se na površini stvara sloj fosfata koji sprječava oksidiranje metala i omogućava lakše prianjanje praha na metal. Kod pripreme za plastifikaciju odmašćivanje i fosfatiranje se vrši u kadi gdje se sa običnom vodom i deterdžentom pere materijal.



*Slika 6.10: Kada za odmašćivanje i fosfatiranje*

Deterdžent je potrebno dobro isprati, te također prije tog postupka sve srhove ili nedostatke je potrebno otkloniti kako bi materijal bio dobro pripremljen za daljnje postupke.

Nakon pranja materijal ide u komoru za sušenje kako metal ne bi pohrđao od vode, te sušenjem materijal dobiva svoju patinu koja je ujedno i zaštita od korozije (slika 6.11).



*Slika 6.11: Sušionica*

Sljedeće nakon pripreme materijala je sama plastifikacija (slika 6.12) kada posušeni metal se stavlja u kabinu koja se ventilira. Elektrostatskim pištoljem (koji je napunjen željenom bojom kupca) nanose se negativno nabijene čestice praha željene boje u slojevima jer su predmeti uzemljeni te su pozitivno nabijeni (slika 6.13). Elektrostatičko naprašivanje često se naziva suhim ličenjem jer u postupku plastificiranja metalnih podloga se rabi suhi polimerni prah što je velika prednost ovog postupka u pogledu očuvanja okoliša. Od svih metoda nanošenja polimernih zaštitnih premaza elektrostatičko naprašivanje je najzastupljenije i najčešće se provodi u automatiziranim postrojenjima. Prah za naprašivanje se elektrostatičkom pištolju dovodi pneumatički te se neiskorišteni dio ponovno skuplja pneumatičkim separatorima stoga se postupak provodi u zatvorenim kabinama. Postupkom elektrostatskog naprašivanja dobivaju se glatki slojevi premaza čije debljine iznose od 0,05 do 1,5 mm. Potrebne su zaštitne mjere opreza od eksplozije koju može uzrokovati eksplozivna smjesa polimernog praha i zraka.



*Slika 6.12: Postupak nanošenja praha*



*Slika 6.13: Elektrostatski pištolj i prah*

Sav prah koji se raspršuje pada na dno kabine te se prosije kako ne bi imalo nekakvih čestica i ponovno upotrebljava. Ostatak tih čestica koje se ne mogu prosijati ide u ciklone gdje se čestice nakupljaju te na kraju opet koriste. Cikloni (slika 6.14) se prazne 1-2 puta u godini.



*Slika 6.14: Ciklon*

Zadnji postupak je pečenje, odnosno polimerizacija praha koja se vrši na temperaturama između 160 °C i 200 °C u vremenskom periodu od 20-30 minuta (slika 6.15). Treba napomenuti da temperatura u peći treba biti stalna i svugdje ravnomjerna da ne dođe do neželjenog pucanja i neravnomjernog pečenja.



*Slika 6.15: Pečenje praha*

Svaki prah je zaseban za sebe te ima svoje određeno vrijeme i temperaturu pečenja koja je prikazana u njegovoj specifikaciji. Također se vrijeme i temperatura pečenja razlikuje od proizvođača do proizvođača, te također i do debljine sloja koji se nanosi na materijal.

Poslije polimerizacije predmeti se hlade na sobnoj temperaturi i skidaju sa vodilica.

Na kraju samog postupka vrlo je važno pakiranje samog proizvoda radi mogućeg oštećenja. Sve predmete je potrebno zaštititi plastičnom folijom ili staviti u kartonske kutije kako ne bi došlo do oštećenja tijekom transporta. Također treba napomenuti da proizvode koji su zamotani u plastičnu foliju treba držati u zatvorenom prostoru ili skinuti foliju kako pri vlazi ne bi došlo do kondenzacije. Tada dolazi do vodenih mrlja i oštećenja sloja zapečenog praha, odnosno prevlaka može poprimiti „zgužvani“ izgled od plastične folije pod utjecajem vlage kao što se vidi na slici 6.16.



*Slika 6.16: Oštećenje zaštitom plastične folije*

Na kraju se može reći da je elektrostatska plastifikacija površinska metoda zaštite materijala od korozije koja se vrši raspršivanjem praha sloj po sloj.

Također zaštite materijala prevlakom plastifikacije imaju najbrži stupanj razvoja svoje primjene upravo zbog toga što se nanose i na metalne i na nemetalne materijale stoga se koristi u raznim

granama industrije kao što su automobilska industrija, industrija kućanskih uređaja, građevinarstvo, električna oprema, industrija dječjih igračaka i dr.

Kvaliteta zaštite plastifikacijom se najjednostavnije vrši kontrolnim pregledom gdje se uočavaju puknuća ili izlaganjem vanjskim uvjetima gdje dolazi do hrđe na mjestima gdje je sloj praha slabo nanesen ili je pukao. Također se kontrola kvalitete prati računalno i pulsним ispravljачem. Kada se postigne odgovarajuća debljina sloja prevlake, ispravljач se isključuje, a podatci se zapisuju na računalo. Ako je sloj tanji tada dolazi do nedovoljne otpornosti na habanje i trošenje, dok kod debljeg sloja prevlake dolazi do pucanja kod savijanja materijala. Kvaliteta se ispituje u ovlaštenim laboratorij koji izdaju potrebne certifikate i ateste.

### **6.3. Usporedba vrućeg pocinčavanja i plastifikacije**

Uspoređujući zaštitna svojstva kod vrućeg pocinčavanja i plastifikacije može se reći da je uranjanje u vrući cink bolji postupak jer se vrući cink veže za površinski sloj metala dok je kod plastifikacije prevlaka samo površinska zaštita koja prijanja na površinu metala.

Vruće pocinčanje samo po sebi je duži proces od plastifikacije, ali obje su dugotrajne zaštite od korozije. Prednost kod vrućeg cinčanja u usporedbi sa plastifikacijom je teža mogućnost uklanjanja nego kod plastifikacije jer kod plastifikacije mehaničkim udarom ili trenjem kao što se vidi na slici 6.17, vlagom i sličnim utjecajima može doći do oštećenja.



*Slika 6.17: Oštećenje mehaničkim trenjem*

Također se na slici 6.18 može vidjeti kod loše pripreme materijala za plastifikaciju dolazi do ljuštenja prevlake prilikom vlažnih uvjeta te do nastajanja korozije.



*Slika 6.18: Korozija kod zaštite plastifikacije*

Prednost zaštite plastifikacijom u odnosu na vruće cínčanje, uz zaštitu od korozije, je mogućnost nanošenja prevlake u širokom spektru boja (slika 6.19) što znatno utječe na izgled proizvoda (hrapavost, boja), zadovoljava najviše zahtjeve dekoracije metalnih površina koji mogu biti izloženi vanjskim i unutarnjim uvjetima.



*Slika 6.19: Boje kod upotrebe zaštite plastifikacijom*

Kod vrućeg pocínčanja zaštitni sloj te pocínčani materijal (slika 6.20) se može naknadno obojati u željenu boju. Područje primjene zaštite vrućim pocínčavanjem je vrlo široko jer se koristi kod opreme za ceste, rasvjetne stupove, stupove za dalekovod, izgradnju konstrukcija mostova, tunela, kod automobilske industrije i slično.





*Slika 6.20: Prevlaka cinka na metalu*

Prednost kod vrućeg pocinčavanja je davanje dodatne mehaničke otpornosti metalu za razliku od zaštite plastifikacijom. To se može vidjeti prilikom transporta ili montaže gdje se kod zaštite plastifikacijom može oštetiti materijal dok se kod metala sa prevlakom vrućeg cinka to ne može dogoditi. Također se prilikom uranjanja metala u vrući cink može dodati nikl kako bi se povećala sjajnost metala ili aluminij kako bi legura bila elastičnija. Također su niži troškovi kod zaštite vrućeg pocinčavanja, te je veća ekonomska ušteda zbog duže trajnosti na proizvodu i nije potrebno održavati. Zaštita vrućim pocinčavanjem je izolacijska (ne provodi toplinu), katodna i mehanička zaštita.

Katodna zaštita je jedna od najefikasnijih metoda zaštite metala od korozije u okruženju agresivnih medija kao što su zemlja, rijeke, močvare, mora i slično. Postupak katodne zaštite materijala se temelji na privođenju elektrona metalu iz neplemenitijeg metala (cink), sve dok potencijal objekta ne padne ispod zaštitne vrijednosti jednake ravnotežnom potencijalu anode korozijskoga članka, čime nestaje afinitet za koroziju, tj. metal postaje imun. Katodna, odnosno protektorska zaštita se provodi spajanjem konstrukcije s neplemenitijim metalom u galvanski

članak, u kojem je protektor anoda. Anoda se počinje otapati, a na konstrukciji se uspostavlja elektrodni potencijal pri kojem se odvija katodna reakcija. Tako se uspješno štite bušotinske cijevi na naftnim poljima, tankeri, podvodni dijelovi broda i drugo.

Uz katodnu zaštitu dolazi i mehanička zaštita. Proces vrućeg pocinčavanja pruža dodatnu mehaničku otpornost čeličnom proizvodu te prilikom dinamičkih i vibracijskih opterećenja to je jedan od važnijih faktora.

Nedostatak kod vrućeg pocinčavanja je veliki gubitak rastaljenog metala i mogućnost izobličenja predmeta zbog visoke temperature u postupku.

Zaštita plastifikacijom je lakša jer je potrebno manje uložiti u proizvodnju jer nisu potrebni bazeni za pripremu i samu prevlaku, dok kod zaštite vrućim pocinčavanjem potrebno je puno mjesta za bazene te je potrebno puno više novčanog uloga u stvaranju hale za vruće pocinčavanje.

## 7. ZAKLJUČAK

Korozija je spontani proces koji se odvija zbog težnje metala da se vrate u spojeve u obliku u kojem se nalaze u prirodi, kao što su rude i minerali. Kao i sve kemijske reakcije, procesi korozije odvijaju se kada su uvjeti pogodni za povezane kemijske reakcije. Kemijska korozija metala odvija se sa neelektrolitima, odnosno sa medijima koji nemaju mogućnost provođenja električne struje. Elektrokemijska korozija se odvija na metalima koji se nalaze u elektrolitima (medijima koji imaju električnu vodljivost), kao što su prirodna i tehnička voda, vodene otopine kiselina, soli, lužina i drugih tvari, vlažno tlo i vlažna atmosfera.

Zaštita od korozije podrazumijeva korištenje različitih metoda s ciljem istovremenog kočenja ili sprječavanja nastanka različitih vrsta i oblika korozijskog razaranja. Zaštita od korozije provodi se s ciljem smanjenja ili poništavanja afiniteta prema procesu korozije i povećanja otpornosti materijala na koroziju. Primjena prevlaka uvelike sprečava koroziju jer djeluje u obliku barijere prema agresivnom mediju.

Zaštita vrućim pocinčavanjem je tehnološki postupak prijanjanja cinka na površinu metala za razliku od postupka korozijske zaštite elektrostatskom plastifikacijom. Zaštita elektrostatskom plastifikacijom je površinska metoda zaštite materijala koja se primjenjuje raspršivanjem praha na materijal sloj po sloj. Od svih metoda nanošenja polimernih zaštitnih premaza elektrostatičko naprašivanje je najzastupljenije i najčešće se provodi u automatiziranim postrojenjima. Kod oba postupka je bitna adekvatna priprema površine materijala prije postupka uranjanja u vrući cink ili prije postupka nanošenja praha elektrostatskim pištoljem na materijal.

Metoda zaštite vrućim pocinčavanjem za razliku od zaštite plastifikacijom je dugotrajnija metoda zaštite od korozije, te materijalu daje dodatnu mehaničku otpornost. Također zaštita vrućim pocinčavanjem je izolacijska, katodna i mehanička zaštita uz zaštitu od korozije.

## LITERATURA

- [1] Corrosion Basics, s Interneta,  
[https://www.usna.edu/NAOE/files/documents/Courses/EN380/Course\\_Notes/Corrosion%20Basics.pdf](https://www.usna.edu/NAOE/files/documents/Courses/EN380/Course_Notes/Corrosion%20Basics.pdf), 15. srpanj 2023.
- [2] Martinez, S., Štern, I.: „Korozija i zaštita – eksperimentalne metode, Zagreb, Hinus, 1999.
- [3] Esih, I.; Dugi, Z.: „Tehnologija zaštite od korozije“, Zagreb, Školska knjiga, 1990.
- [4] Juraga, I.; Alar, V.; Stojanović, I.: „Korozija i zaštita premazima“, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2014.
- [5] Bjegović, D.: „Mehanizam korozije metala“, s Interneta,  
<https://www.scribd.com/doc/222440987/3-Pred-TKM-02-Predavanje-Mehanizam-Korozije-Metala#>, 15. srpanj 2023.
- [6] Hilti: „Corrosion handbook“, s Interneta,  
[https://www.hilti.com.ar/content/dam/documents/pdf/temp/Corrosion-Handbook\\_global\\_W4412\\_en.pdf](https://www.hilti.com.ar/content/dam/documents/pdf/temp/Corrosion-Handbook_global_W4412_en.pdf), 15. srpanj 2023.
- [7] Quevedo, M. i dr.: „Effect of flow on the mechanism and kinetics of some corrosion processes“, NACE - International Corrosion Conference Series, 2013.
- [8] Roberge, P. R.: „Handbook of corrosion engineering“, New York, McGraw-Hill, 2000.
- [9] Winston Revie, R.; Uhlig, H. H.: „Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering“, Canada: Wiley-Interscience, 2008.
- [10] Alar, V.: „Kemijska postojanost metala“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [11] Smokvina Hanza, S.: „Zaštita materijala - materijali s predavanja“, Rijeka, Tehnički fakultet Rijeka, 2020./2021.
- [12] Cvitanić, M.: „Birba protiv korozije 1. dio“, s Interneta,  
[https://www.burzanautike.com/hr/borba\\_protiv\\_korozije\\_1\\_dio/6038/55](https://www.burzanautike.com/hr/borba_protiv_korozije_1_dio/6038/55), 20. srpanj 2023.
- [13] Juraga, I., Šimunović, V.; Stojanović, I.; Alar, V.: „Mehanizmi zaštite od korozije: autorizirana predavanja“, s Interneta,  
[https://bib.irb.hr/datoteka/749414.Mehanizmi\\_zatite\\_od\\_korozije\\_-\\_skripta\\_2015.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/749414.Mehanizmi_zatite_od_korozije_-_skripta_2015.pdf), 15. srpanj 2023.
- [14] Esih, I.: „Osnove površinske zaštite“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.

- [15] Juraga, I. i dr.: „Zaštita od korozije u brodogradnji, savjetovanje: Zavarivanje u pomorstvu“, Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja, Hvar, 2004.

## POPIS SLIKA

Slika 2.1: Korozijski ciklus [5] .....	2
Slika 2.2: Pourbaixov dijagram za željezo u vodi [8] .....	4
Slika 3.1: Kemijska korozija [10] .....	7
Slika 3.2: Slojevi prilikom obrade metala [10] .....	9
Slika 3.3: Rast oksidnog sloja [10].....	10
Slika 3.4: Elektrokemijska korozija u kiseloj otopini [11].....	12
Slika 3.5: Polarizacijska krivulja anode prilikom pasivizacije [11].....	13
Slika 4.1: Ravnomjerna opća korozija čeličnog rasvjetnog stupa [10] .....	15
Slika 4.2: Neravnomjerna opća korozija čeličnog rasvjetnog stupa [10].....	16
Slika 4.3: Galvanska korozija trupa broda [10].....	17
Slika 4.4: Korozija u procijepu [11].....	19
Slika 4.5: Tipovi rupičaste korozije [10].....	21
Slika 4.6: Interkristalna korozija austenitnog nehrđajućeg čelika [11].....	22
Slika 4.7: Nastajanje interkristalne korozije kod zavarenog spoja [11].....	23
Slika 4.8: Primjer grafitizacije sivog lijeva [11] .....	24
Slika 4.9: Primjer decinkacije mjedi [10].....	24
Slika 4.10: Erozijsko oštećenje cjevovoda za transport nafte [10] .....	25
Slika 4.11: Napetosna korozija [10] .....	26
Slika 5.1: Shema postupka elektrokemijskog niklanja [4].....	34
Slika 5.2: Vruće pocinčavanje čelične trake [4].....	35
Slika 5.3: Metalizacija plinskim pištoljem [4] .....	35
Slika 6.1: Bazeni za pripremu i čišćenje površine .....	40
Slika 6.2: Odmašćivanje bioklinom .....	41
Slika 6.3: Dekapiranje .....	42
Slika 6.4: Bazeni za fluksiranje .....	43
Slika 6.5: Cink u krutom stanju.....	44
Slika 6.6: Vruće pocinčavanje.....	45
Slika 6.7: Košara za sitne dijelove .....	46
Slika 6.8: Bubaš za centrifugu .....	47
Slika 6.9: Pocinčana površina .....	48
Slika 6.10: Kada za odmašćivanje i fosfatiranje .....	49
Slika 6.11: Sušionica.....	50
Slika 6.12: Postupak nanošenja praha .....	51

Slika 6.13: Elektrostatski pištolj i prah .....	51
Slika 6.14: Ciklon.....	52
Slika 6.15: Pečenje praha .....	52
Slika 6.16: Oštećenje zaštitom plastične folije.....	53
Slika 6.17: Oštećenje mehaničkim trenjem.....	55
Slika 6.18: Korozija kod zaštite plastifikacije.....	55
Slika 6.19: Boje kod upotrebe zaštite plastifikacijom.....	56
Slika 6.20: Prevlaka cinka na metalu .....	57

## POPIS TABLICA

Tablica 4.1: Galvanski niz najrelevantnijih konstrukcijskih materijala u morskoj vodi [10].....	18
Tablica 5.1: Postupci, primjena i karakteristike metalnih prevlaka [13] .....	33



## SAŽETAK

Korozija je proces nagrivanja materijala i njegovo nenamjerno trošenje zbog utjecaja okoliša. Brzina korozije ovisi o unutarnjim i vanjskim čimbenicima, a može se smanjiti primjenom metoda zaštite od korozije, u ovom radu prikazan je postupak zaštite od korozije nanošenjem prevlaka: vrućim uranjanjem (pocinčavanjem) te plastifikacijom.

Vruće pocinčavanje je metoda uranjanja metala u vrući cink, a metoda nanošenja prevlaka plastifikacijom je raspršivanje praha elektrostatskim pištoljem na metal. Obje metode traže dobru pripremu materijala, ali razlikuju se kod nanošenja. Bitna razlika je ta da kod metode nanošenja prevlake cinkom, cink se veže za površinu metala, dok kod metode nanošenja prevlake plastifikacijom, nanošenjem praha on prijanja na površinu materijala. Uspoređujući ova dva postupka dolazi se do zaključka da je zaštita vrućim pocinčavanjem bolja metoda od zaštite plastifikacijom zbog dugotrajnosti, te bolje mehaničke i katodne zaštite cinkovom prevlakom.

**Ključne riječi:** *korozija, zaštita, prevlaka, procesi, vruće pocinčavanje, plastifikacija*

## ABSTRACT

Corrosion is the process of material erosion and its unintentional wear due to environmental influences. The rate of corrosion depends on internal and external factors, and it can be reduced by applying methods of corrosion protection, this paper presents the process of corrosion protection by applying coatings: hot dipping (galvanizing) and plasticization.

Hot-dip galvanizing is a method of immersing the metal in hot zinc, and the method of applying the coating by plasticization is spraying the powder with an electrostatic gun on the metal. Both methods require good preparation of the material, but differ in application. The essential difference is that in the zinc coating method, zinc is attached to the surface of the metal, while in the plastic coating method, it adheres to the surface of the material by applying powder. Comparing these two procedures, we come to the conclusion that protection by hot-dip galvanizing is a better method than protection by plasticization due to its durability, and better mechanical and cathodic protection by zinc coating.

**Key words:** *corrosion, protection, coating, processes, hot-dip galvanizing, plasticization*