

# Zaštita strojarskih konstrukcija od korozijskih procesa na primjeru transformatorskog kotla "Egipat 167/10"

---

Ovčar, Eduard

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:630572>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-21**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**ZAVRŠNI RAD br. 204/PS/2016**

**Zaštita strojarskih konstrukcija od korozivskih  
procesa na primjeru transformatorskog kotla  
"EGIPAT 167/10"**

Eduard Ovčar, 0416/336

Varaždin, rujan 2016. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za proizvodno strojarstvo

ZAVRŠNI RAD br. 204/PS/2016

## Zaštita strojarskih konstrukcija od korozivskih procesa na primjeru transformatorskog kotla "EGIPAT 167/10"

**Student**

Eduard Ovčar, 0416/336

**Mentor**

dr. sc. Živko Kondić, izv. prof.

Varaždin, rujan 2016. godine



# Sveučilište Sjever

Odjel za proizvodno strojarstvo

ZAVRŠNI RAD br. 204/PS/2016

## Protection of mechanical structures of corrosion processes on the example of transformer boiler "EGYPT 167/10"

**Student**

Eduard Ovčar, 0416/336

**Mentor**

dr. sc. Živko Kondić, izv. prof.

Varaždin, rujan 2016. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

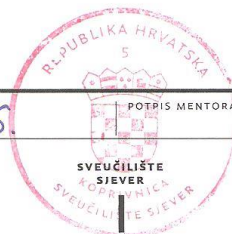
ODJEL	Odjel za strojarstvo		
PRISTUPNIK	EDUARD OVČAR	MATIČNI BROJ	0416/336
DATUM	08.09.2016.	KOLEGIJ	ODRŽAVANJE INDUSTRIJSKIH POSTROJENJA
NASLOV RADA	ZAŠTITA STROJARSKIH KONSTRUKCIJA OD KOROZIJSKIH PROCESA NA PRIMJERU TRANSFORMATORSKOG KOTLA "EGIPAT 167/10"		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	"Protection of mechanical structures of corrosion processes on the example of transformer boiler Egypt 167/10"		
MENTOR	KONDIĆ ŽIVKO	ZVANJE	Izv.profesor
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Marko Horvat, dipl.ing., predavač 2. dr.sc. Živko Kondić, izv.prof. 3. mr.sc.Zlatko Botak, v. pred. 4. Veljko Kondić, mag.ing.mech. predavač 5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ	204/PS/2016
OPIS	U radu je potrebno:  -U prvom dijelu rada potrebno je ukratko pojasniti smjernice koje se koriste kod izrade kotlova  - U drugom dijelu rada potrebno je detaljnije pojasniti korozijske procese, odnosno detaljnije objasniti kemijsku i elektrokemijsku koroziju. nakon toga pojasniti geometriju korozijskog razaranja.  -Opisati i obraditi metode elektrokemijske zaštiti materijala od korozijskih procesa s naglaskom na katodnoj i anodnoj zaštiti.  -Opisati postupke zaštite metalnih konstrukcija inhibitorima korozije, kao i zaštitu prevlakama.  -U praktičnom dijelu rada opisati detaljno postupak pripreme površine, nanošenja premaza i kontrolu izvedenih radova na primjeru transformatorskog kotla.  -U zaključnom dijelu završnog rada kritički se osvrnuti na uradak te dati preporuke za poboljšanja .

ZADATAK URUČEN

30.09.2016.



*Zahvaljujem se svima koji su na bilo koji način pomogli mi da završim ovo čudo od  
Fakulteta.*

*Zahvaljujem se svom Mentoru, izv. prof. dr. sc. Živku Kondiću, na savjetima prilikom  
pisanja Završnog rada, pruženoj pomoći i svim potrebnim informacijama.*

*Jako velika zahvala tvrtki Komet d.o.o. Prelog na pomoći u eksperimentalnom dijelu i  
odgovorima na svako moje pitanje, koji su mi pomogli da još lakše shvatim poneke  
dotadašnje nepoznanice i predstavim ih u ovom obliku.*

*Zahvaljujem se svojoj obitelji na podršci tokom studiranja.*

*Te naravno, hvala osobi bez čije podrške ne bi sasvim sigurno tako ozbiljno uhvatio  
se posla, ponajviše tokom polaganja ispita.. Ana, Veliko Hvala Ti.*

## **SAŽETAK**

Završni rad sastoji se od dva dijela, teoretskog i eksperimentalnog.

Kroz teoretski dio prolazi se kroz oblike korozije koji pojavljuju se kod metalnih konstrukcija i smjernice kojih se najbolje držati kod izrade određenih proizvoda te obranu istih - izbor korozijski postojanih materijala, izrada u konstrukcijskom smislu, ali i oblici zaštite koji bi bili potrebni prilikom stvaranja gotovog proizvoda.

Tu je ponajviše bila objašnjena upotreba premaza te je kao takav oblik antikorozivne zaštite bila pojašnjena procedura kod izrade transformatorskog kotla "Egipat 167/10". Sve počinje od pripreme površine, nanošenja premaza te završava kontrolom izvedenih radova, što je bilo dio eksperimentalnog dijela.

U prilogu završnog rada nalazi se kontrolni list antikorozivne zaštite na kojem su, uz prethodno postavljene (i prikazane) zahtjeve dani rezultati. Svaka izrada transformatorskog kotla, prije isporuke, završava na taj način.

**Ključne riječi:** korozija, akz, transformatorski kotao, kemijska korozija, elektrokemijska korozija, kontrola kvalitete, Egipat 167/10



## KORIŠTENI SIMBOLI

Cr – krom

Al – aluminij

Cu – bakar

Ni – nikal

Zn – cink

Fe – željezo

O – kisik

$\text{Fe}_3\text{O}_4$  – željezov oksid

$t_i$  – indukcijsko razdoblje (inkubacija)

M – reakcija ionizacije metala

V - volt

E - ravnotežni elektrodni potencijal u V

$E^\circ$  - standardni elektrodni potencijal u V

T - temperatura u K

K – Kelvin

z – broj elektrona

[A] – koncentracija reaktanata

[B] – koncentracija produkata

F – Faradayeva konstanta

R – opća plinska konstanta

$[\text{H}_2\text{O}]$  – koncentracija vode

## **KORIŠTENE KRATICE**

E-pH – Pourbaixovi dijagrami

SCC - Stress Corrosion Cracking (Napetosna Korozija)

DMF – debljina mokroga filma

DSF – debljina suhoga filma

VS – volumen suhe tvari

AKZ – antikorozivna zaštita

NDFT – Nominal Dry Film Thickness (Nominalna Debljina Suhog Filma)

SHE – Standard Hydrogen Electrode

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Smjernice kojih se preporučljivo držati kod izrade metalnih dijelova i proizvoda .....	2
2. PRIMJENA KOROZIJSKI POSTOJANIH MATERIJALA .....	5
2.1. Gubici i štete uslijed korozije .....	6
2.2. Ekonomski značaj korozije .....	7
3. VRSTE KOROZIJA PREMA MEHANIZMU PROCESA.....	8
3.1. Kemijska korozija .....	8
3.2. Elektrokemijska korozija.....	12
3.2.1. Anodni proces .....	13
3.2.2. Katodni proces .....	13
3.2.3. Vodikova redukcija .....	13
3.2.4. Kisikova redukcija .....	14
3.2.5. Elektrokemijska korozija stvaranjem mikročlanaka .....	14
3.2.6. Elektrokemijska korozija stvaranjem galvanskog članka.....	16
3.2.7. Tok i intenzitet procesa elektrokemijske korozije .....	17
3.2.8. Pourbaixovi dijagrami (E-ph).....	18
4. GEOMETRIJA KOROZIJSKOG RAZARANJA .....	21
4.1. Opća korozija .....	21
4.2. Galvanska korozija .....	22
4.3. Korozija u procijepu.....	24
4.4. Rupičasta korozija .....	24
4.5. Interkristalna korozija .....	25
4.6. Selektivna korozija .....	26

4.7. Erozijska korozija .....	27
4.8. Napetosna korozija .....	28
5. ELEKTROKEMIJSKA METODA ZAŠTITE .....	30
5.1. Katodna zaštita .....	30
5.1.1. Protektorska zaštita.....	30
5.1.2. Katodna zaštita narinutom strujom.....	31
5.2. Anodna zaštita .....	32
6. ZAŠTITA INHIBITORIMA KOROZIJE .....	33
6.1. Podjela inhibitora.....	33
6.1.1. Anodni inhibitori.....	33
6.1.2. Katodni inhibitori.....	33
6.1.3. Mješoviti inhibitori.....	34
6.2. Primjena inhibitora .....	34
7. ZAŠTITNO PREVLAČENJE .....	36
7.1. Priprema podloge za prevlačenje.....	37
7.1.1. Odmašćivanje .....	38
7.1.2. Mehaničko čišćenje.....	38
7.2. Sustav premaza .....	38
7.2.1. Temeljni premazi.....	39
7.2.2. Međupremaz .....	40
7.2.3. Završni premaz .....	40
7.3. Odabir sustava premaza .....	41
7.4. Određivanje debljine premaza.....	41
7.4.1. Mjerenje debljine mokrog filma premaza.....	42
7.4.2. Mjerenje debljine suhog filma premaza.....	43

8. EKSPERIMENTALNI DIO - PRIPREMA POVRŠINE, NANOŠENJE PREMAZA I KONTROLA IZVEDENIH RADOVA KOD IZRADE TRANSFORMATORSKOG KOTLA "EGIPAT 167/10" – KOMET d.o.o. PRELOG .....	44
8.1. Priprema površine .....	44
8.2. Priprema i čišćenje NOVIH pocinčanih površina prije nanošenja premaza ....	45
8.3. Priprema i čišćenje STARIH pocinčanih površina prije nanošenja premaza ..	46
8.4. Mehanička obrada čelika i nanošenje premaza .....	48
8.5. Pjeskarenje ili sačmarenje po HRN EN ISO 8501-1 do stupnja ISO-SA 2½ ..	49
8.6. Mehaničko čišćenje prema HRN EN ISO 8501-1 do stupnja čistoće ST3.....	52
8.7. Stari premazi .....	54
8.8. Mješanje premaza / boje prije nanošenja .....	56
8.8.1. Jednokomponentni premazi .....	56
8.8.2. Dvokomponentni premazi .....	58
8.9. Određivanje (mjerenje) uvjeta prije nanošenja premaza .....	59
8.10. Nanošenje premaza .....	60
8.11. Kontrola debljine suhog filma premaza i prionjivosti.....	64
9. ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA TRANSFORMATORSKOG KOTLA "EGIPAT 167/10" (PROIZVEDENO I PREKONTROLIRANO U KOMET d.o.o. PRELOG) .....	66
9.1. Područje primjene .....	66
9.2. Priprema površine .....	66
9.3. Aplikacija sustava.....	67
9.4. Sustav premaza .....	67
9.5. Kriterij kvalitete, zapisi i izvješća .....	69
10. ZAKLJUČAK.....	73
11. LITERATURA .....	75
12. PRILOG.....	76

## 1. UVOD

Ljudi se oduvijek pokušavaju oduprijeti oštećivanju konstrukcijskih materijala. Zbog toga nastaju različite metode zaštite materijala koje se dijele prema pojavama protiv kojih se bore. Tehnologije zaštite konstrukcijskih materijala kreću se u dva pravca – teorijski koji se bavi proučavanjem procesa oštećivanja (pokušavaju se unaprijediti zaštitne metode istraživanjem postupaka zaštite) i praktički koji se odnosi na metode zaštite.

Metodama zaštite od korozije obično se istodobno koče ili sprečavaju pojave različitih vrsta i oblika korozijskih razaranja, a temelje se na primjeni dvaju načela:

- Smanjenju ili poništenju pokretačke sile (tj. uzroka oštećivanja)
- Povećanju otpora koji se opiru djelovanju te pokretačke sile

Ova se dva načela mogu tehnički iskoristiti na sljedeća tri načina:

- Promjenom unutarnjih čimbenika oštećivanja (obilježja konstrukcijskog materijala)
- Promjenom vanjskih čimbenika oštećivanja (temperature, naprezanja, brzine gibanja, električnog potencijala itd.)
- Odvajanjem konstrukcijskog materijala od medija (nanošenjem prevlaka)

Osnovne metode za zaštitu od korozije jesu:

- Konstrukcijsko – tehnološke mjere
- Primjena korozijski postojanih materijala
- Elektrokemijska zaštita
- Zaštita inhibitorima korozije
- Zaštita prevlačenjem

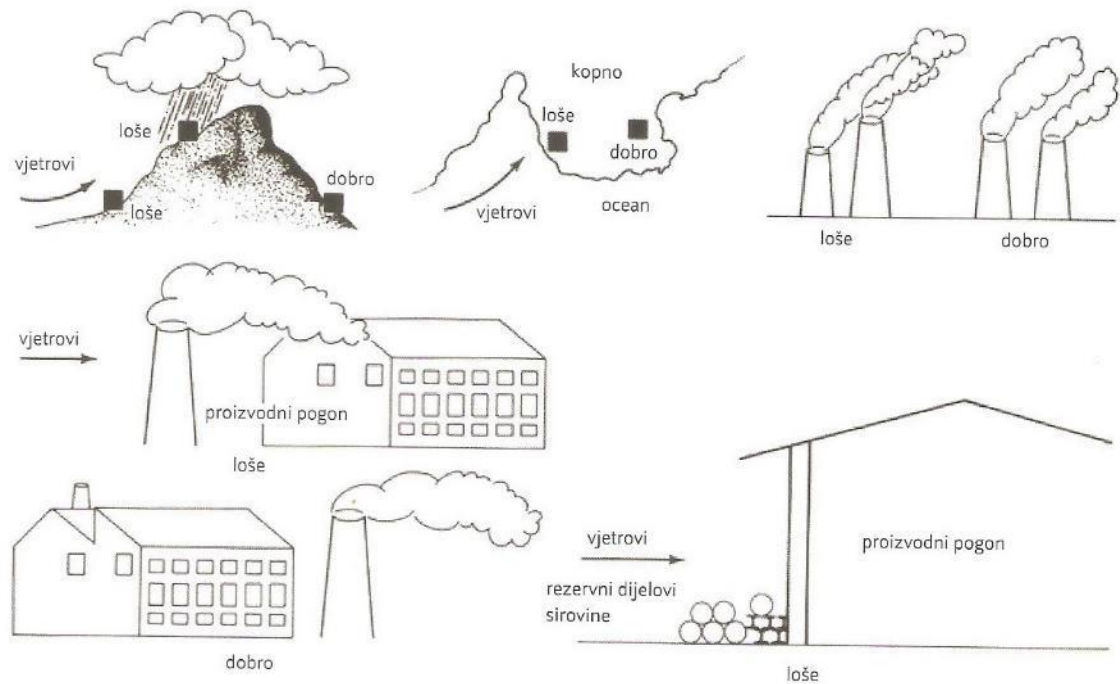
Oblikovanje materijala, počevši od izrade pojedinih jednostavnih dijelova pa do složenih proizvoda, utječe na faktore oštećivanja, pa samim time i na pojavu korozije (o oblikovanju ovisi vrsta nastale korozije, oblik, intenzitet i tok – na gotov proizvod to ima utjecaja na cijenu, izgled, trajnost proizvoda ali i funkcionalnost). Proizvod mora imati što manje zaostalih naprezanja i što glađu površinu.

Zbog svega toga kod izrade proizvoda golemu ulogu ima zajednički rad konstruktora, tehnologa i stručnjaka za koroziju tijekom projektiranja zbog postizanja optimalne korozijske otpornosti konstrukcije.

### **1.1. Smjernice kojih se preporučljivo držati kod izrade metalnih dijelova i proizvoda**

- Zavareni spojevi, ako su ispravno izvedeni, imaju prednost pred vijčanim ili zakovičnim spojevima (često mogu dovesti do pojave korozije u procijepu)
- Treba oblikovati konstrukciju da se na njoj ne zadržava voda (osigurati njezino otjecanje)
- Kao konstrukcijske materijale treba primjenjivati metale i nemetale koji su korozijski što otporniji u predviđenim uvjetima (npr. materijali za toplinsku, električnu i zvučnu izolaciju ne smiju sadržavati agresivne sastojke i ne smiju apsorbirati vodu)
- Spremnike, rezervoare, kotlove itd. potrebno je konstruirati tako da se lako (i brzo) prazne i čiste
- Projektnim rješenjima potrebno je osigurati jednostavno, jeftino i učinkovito održavanje
- Kod proizvoda i dijelova kod kojih se očekuje brza pojava korozije, potrebno je imat komponente koje budu omogućile brzu i jednostavnu zamjenu
- Zbog toga što se korozija iznimno ubrzava s porastom temperature potrebno je izbjegavati lokalno intenzivno zagrijavanje
- Kad god je to moguće treba izbjegavati dodir s agresivnim česticama
- Glavno pravilo za izbjegavanje pojave korozije je to da se pokuša što je više moguće izbjeći lokalna naprezanja, temperaturne razlike, mjesta gdje se nakuplja vlaga, itd.

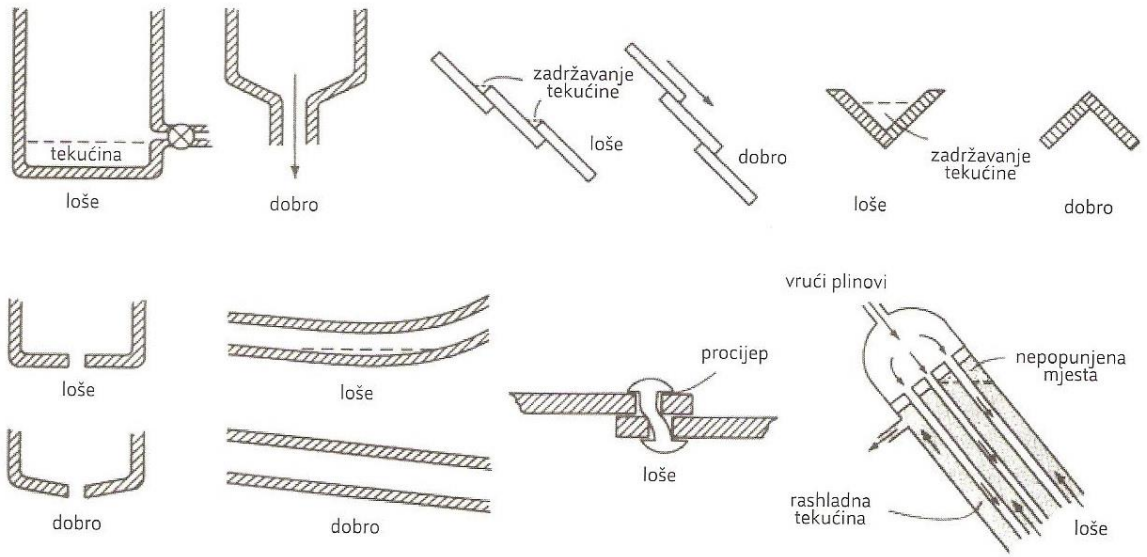
Samo pozicioniranje opreme ili pogona može biti uzrokom nepovoljnog utjecaja okoliša na konstrukciju (treba paziti na izloženost opreme vjetru i česticama u zraku). Primjeri dobro i loše pozicionirane opreme i postrojenja dani su na slici 1.



Slika 1 - Odabir lokacije postrojenja kao jedna od konstrukcijsko – tehnoloških mjera

Znatne korozijske probleme na konstrukciji najčešće uzrokuje voda te njezino nakupljanje i zadržavanje. Zbog toga je potrebno oblikovati konstrukciju na takav način da se na njoj ne zadržava voda, odnosno potrebno je osigurati što efikasnije njezino otjecanje. Ako se rabe različiti čelični profili, potrebno ih je postaviti i orijentirati tako da se na njima ne može zadržavati voda, a ako je iz nekih razloga to neizvedivo, potrebno je izbušiti otvore za istjecanje. Koso postavljeni izmjenjivač topline doprinosi nastajanju praznih mjesta koja su izložena pregrijavanju. Neka konstrukcijska rješenja za sprečavanje nastanka vodenih džepova i stvaranje naslaga prikazana su na slici 2. [1.]





Slika 2 - Primjeri utjecaja oblikovanja i montaže konstrukcije na pojavu korozije

## 2. PRIMJENA KOROZIJSKI POSTOJANIH MATERIJALA

Jedan od najvažnijih, ali i najsloženijih zadataka konstruktora je izbor optimalnog konstrukcijskog materijala (pri tome treba uzeti u obzir mnoge ekonomske i tehničke kriterije čime se utječe na ukupnu konkurentnost proizvoda). Korozijsko je ponašanje svakako jedan od najvažnijih kriterija za izbor materijala jer se pravilnim izborom izravno utječe na trajnost i sigurnost konstrukcije u različitim uvjetima eksploatacije. Pravilan odabir materijala često je "prva linija" obrane od korozije.

Danas se sve više za izradu konstrukcije, njezina dijela ili opreme, a koju je teško održavati i štiti, odlučuje za primjenu korozijski postojanih materijala. Korozijski je postojaniji onaj materijal na kojemu u jednakim vanjskim uvjetima dolazi do manje intenzivnog razaranja na površini ili do neželjenih promjena mikrostrukture. Relativna otpornost na koroziju nekih nezaštićenih materijala, ovisno o atmosferi u kojoj se konstrukcija nalazi, prikazana je u tablici 1.

Vrsta materijala	Industrijska atmosfera	Slatka voda	Morska voda	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (5-15 %)	Lužina (8 %)
niskouglični čelik	1	1	1	1	5
sivi lijev	4	1	1	1	4
čelik s 4...6 %Cr	3	3	3	1	4
18 %Cr i 8 %Ni nehrđajući čelik	5	5	4	2	5
18 %Cr i 35 %Ni nehrđajući čelik	5	5	4	4	4
"monel" (70 %Ni i 30 %Cu)	4	5	5	4	5
nikal	4	5	5	4	5
bakar	4	4	4	3	3
mjed (85 %Cu i 15 %Zn)	4	3	4	3	1
Al-bronca	4	4	4	3	3
novo srebro (65 %Cu, 18 %Ni, 17 %Zn)	4	4	4	4	4
aluminij	4	2	1	3	1
Al-Cu legura	3	1	1	2	1

Tablica 1 - Ocjene otpornosti na koroziju nekih nezaštićenih materijala

Ocjene: 1 = slaba (brzo razaranje); 2 = osrednja (privremena upotreba);

3 = dobra (umjereno korištenje); 4 = vrlo dobra (pouzdanost);

5 = izvrsna (neograničeno korištenje)

Zbog svojstva korozijske postojanosti, nehrđajući se čelici danas primjenjuju u gotovo svim područjima ljudskog djelovanja – od nezamjenjivih primjena u različitim granama industrije, u arhitekturi, energetici do primjene u svakodnevnom životu. Kroz svoju "povijest" mnogi proizvodi i sklopovi doživjeli su goleme promjene i poboljšanja zahvaljujući tome što su izrađeni od posve drugačijih materijala nego npr. prije 30ak godina. Zbog sve strožih zahtjeva na kvalitetu te za pouzdanost i trajnost dijelova, sklopova i postrojenja, odabir materijala je sve složeniji i odgovorniji zadatak konstruktora i tehnologa. [2.]

### **2.1. Gubici i štete uslijed korozije**

Razvoj pojedinih grana industrije ovisi i o mogućnosti proizvodnje konstrukcijskih materijala određenih svojstava. Među tim svojstvima vrlo je važna trajnost, tj. sposobnost odolijevanja koroziji i drugim štetnim pojavama, bilo zaštićenog ili nezaštićenog materijala. Potrebe onih grana industrije koje se u nekom razdoblju najbrže razvijaju snažno potiču razvoj tehnologije zaštite od korozije radi postizanja trajnosti proizvoda i opreme. To se ostvaruje pronalaskom novih materijala i zaštitnih postupaka, a njihova primjena omogućuje napredak ne samo onoj grani industrije kojoj je namijenjeno nego i na drugim područjima.

Često se zaštita od korozije smatra preskupom, makar je dokazano da uloženi određeni novac donosi barem istu takvu uštedu, dok često i više od tog. Jedini problem je da rentabilnost takvih procesa nije odmah uočljiva. Tako npr. zamjena ugljičnog čelika mnogo skupljim nehrđajućim čelikom za izradu nekog kotla povećava cijenu nabave ili izrade u vlastitoj "režiji". Poskupljenje će ipak biti manje nego što odgovara omjeru cijena nehrđajućeg i ugljičnog čelika uslijed smanjene težine novog kotla. Njegova debljina može biti manja zbog veće čvrstoće nehrđajućeg čelika, pa će lako moguće za izradu novog kotla trebati i manje vremena. Kada se uz to uzme u obzir i duži vijek trajanja, bolja kvaliteta proizvoda, smanjenje broja i trajanja zastoja, skraćivanje trajanja popravaka itd. onda je očito da se zamjenom materijala, u određenim uvjetima, mogu ostvariti velike uštede. Slična razmatranja vrijede i za primjenu galvanskih prevlaka, zaštitnih premaza, inhibitora korozije, katodne zaštite i drugih zaštitnih postupaka. Da bi zaštita bila što isplativija, u praksi treba evidentirati i proučavati sve pojave korozije te pronalaziti i primjenjivati optimalne zaštitne metode.

Šteta od korozije jednaka je razlici između ukupnih i trenutno neizbježnih gubitaka. Ni u kojem slučaju se ukupni gubici ne smiju izjednačavati sa štetama. Šteta je samo onaj dio gubitaka koji se može izbjeći uz trenutni stupanj razvoja zaštitne tehnologije.

Što se tiče kotlova za energijska postrojenja korozijska oštećenja mogu imati teške posljedice jer u toku dužeg ili kraćeg razdoblja mogu onemogućiti ili otežati opskrbu čitavog grada ili industrijskog kompleksa električnom, odnosno toplinskom energijom. Prekid rada velike elektrane uvjetovan korozijom izaziva vrlo teške poremećaje praćene preopterećenjem dalekovodne mreže. Ako se s druge strane radi o termoelektrani koja je istodobno i toplana, zastoj onemogućuje opskrbu toplom vodom i grijanjem grada, naselja ili poduzeća. [2.]

## **2.2. Ekonomski značaj korozije**

Korozija smanjuje masu metala i njegovu uporabnu vrijednost u obliku sirovine, poluproizvoda ili proizvoda. Skraćuje vijek trajanja proizvoda, poskupljuje održavanje, uzrokuje zastoje u radu, pogoršava kvalitetu proizvoda itd. Zbog korozije postaju neupotrebljive i mnogo veće količine materijala od korodiranih, jer element koji je korodirao može biti vitalni dio nekoga sklopa ili konstrukcije, koji više nije upotrebljiv za rad. Također, za izradu konstrukcija je potrošeno mnogo energije i radnog vremena što znači da su gubici zbog korozije puno veći od korodiranog sirovog materijala. Budući da su svi metali u određenim okolnostima podložni koroziji, u privredi nastaju znatni gubici koje je teško realno odrediti. Najčešći su načini procjene koji uglavnom uzimaju u obzir izravne gubitke, tj. troškove popravaka i zamjene korodirane opreme, nanošenje prevlaka i provođenja drugih zaštitnih mjera te troškove primjene skupljih i postojanijih legura umjesto ugljičnog čelika. Osim toga, neizravni gubici mogu biti i znatno veći jer korozija može biti uzrokom nesreća, zastoja u proizvodnji, gubitka proizvoda, smanjenja efikasnosti, oštećenja okoliša, itd.

U najnovije doba zaoštava se svjetska kriza sirovine i energije, što samo povećava ekonomsko značenje korozije i zaštite od nje. Neprekidno se povećava potrošnja pa prema tome i potražnja metala. [2.]

### 3. VRSTE KOROZIJA PREMA MEHANIZMU PROCESA

Procesi korozije klasificiraju se prema:

- Mehanizmu procesa
- Mediju u kojem se nalazi konstrukcijski materijal
- Materijalu koji korodira
- Industrijskoj grani ili vrsti postrojenja
- Odnosu između korozije i drugih štetnih proces
- Geometrijskom obliku korozijskog razaranja

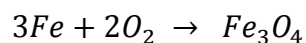
Temeljna podjela je prema mehanizmu procesa i mediju u kojem se nalazi, i to na kemijsku i elektrokemijsku.

#### 3.1. Kemijska korozija

Kemijska korozija metala zbiva se u neelektrolitima, tj. u medijima koji ne provode električnu struju, pri čemu nastaju spojevi metala s nemetalnim elementima (najčešće oksidi i sulfidi). Nastaje u reakciji atoma metala iz kristalne rešetke s molekulama nekog elementa ili spoja iz okoline pri čemu izravno nastaju molekule spoja koji čini korozijski produkt. Najvažniji neelektroliti koji u praksi izazivaju kemijsku koroziju su vrući plinovi i organske tekućine.

Kemijska korozija u vrućim plinovima nastaje pri obradi metala na visokim temperaturama (kovanje, valjanje, kaljenje, zavarivanje), u kotlovskim postrojenjima, u industrijskim pećima, ispušnim cijevima brodskih motora, itd.

Na primjer, pri toplom valjanju čelik na zraku kemijski korodira (oksidira) intenzivno pri temperaturi višoj od 600 °C, pri čemu nastaje okujina (crni željezni oksid).



Organske tekućine mogu izazvati kemijsku koroziju samo ako su bezvodne jer inače dolazi do elektrokemijske korozije. Najvažnije bezvodne tekućine su nafta i njezini derivati (tekuća goriva i maziva) te otapala na bazi ugljikovodika za odmašćivanje i razrjeđivanje boja.

Kemijski afinitet ili kemijska pokretačka sila je sklonost dvaju ili više elemenata ili spojeva da međusobno kemijski reagiraju. Kemijski afinitet mijenja se ovisno o:

- Temperaturi
- Vrsti tvari
- Koncentraciji tvari koje međusobno reagiraju
- Agresivnosti tvari iz okoline.

Iz toga ispada da je i pokretna sila kemijske korozije promjenjiva veličina.

Općenito vrijedi da pokretačku silu imaju samo one reakcije u kojima se oslobađa energija (u kojima je energija produkata manja od energije reaktanata), tj. one koje se mogu zbivati spontano. Prirodna težnja metala je spojiti se s drugim tvarima i oslobađanjem energije vratiti se u stanje niže energije. To smanjivanje slobodne energije je pokretačka sila korozivnih reakcija. Kao mjera za afinitet može se uzeti maksimalna energija koju je potrebno uložiti pri reverzibilnom kemijskom procesu.

Tok i intenzitet kemijske korozije ovise o:

- Metalu koji korodira (sastav, struktura)
- Fizikalnim uvjetima (temperatura, hrapavost površine, naprezanja, brzina gibanja okoline)
- Agresivnoj okolini koja okružuje metal (sastav i koncentracija okoline)
- Korozivnim produktima (fizikalna i kemijska svojstva produkata korozije).

Glatke metalne površine manje korodiraju od hrapavih kod kojih je stvarna veličina mnogo veća od geometrijske, pa je tako korozija kao površinska reakcija ubrzana. Onečišćenja na površini metala (npr. čađa) također onemogućuju nastajanje kvalitetnog zaštitnog sloja.

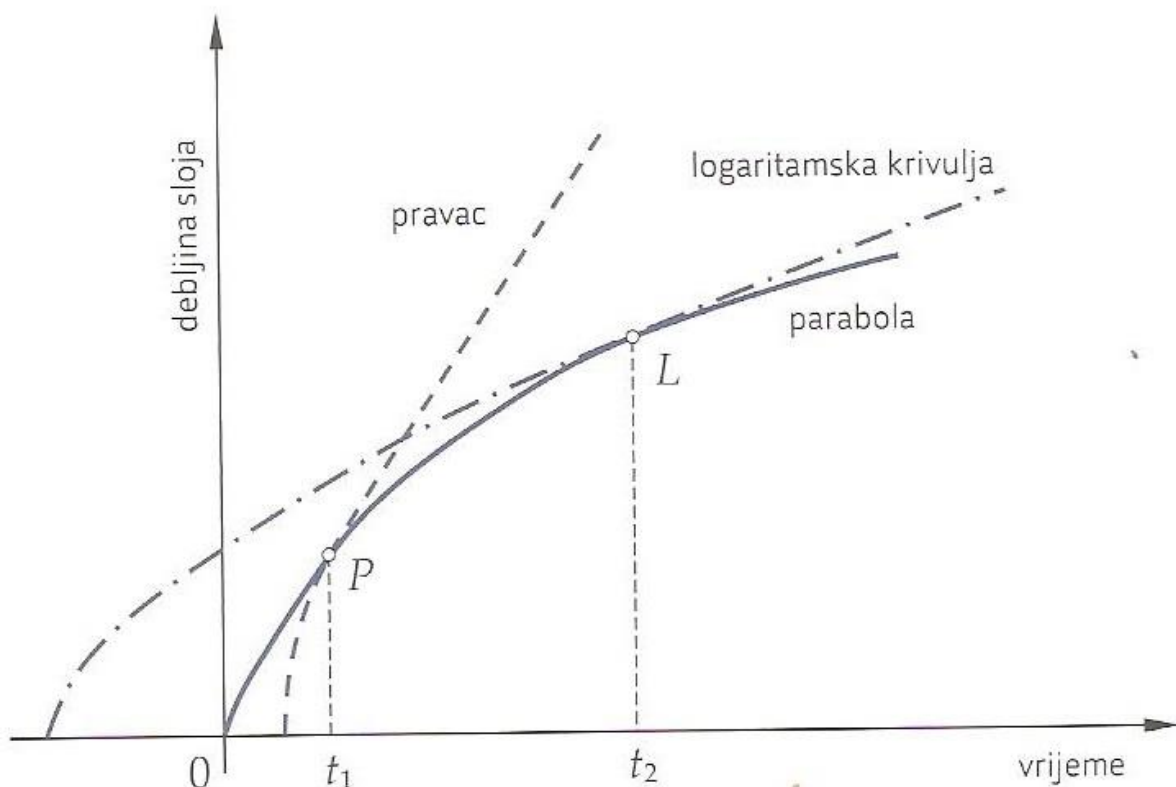
Legirajuće komponente (koje lako oksidiraju) znatno smanjuju brzinu korozije u oksidacijskoj sredini. Naprezanja u metalu ubrzavaju koroziju u početnoj fazi zbog više energijske razine površine i zbog nepovoljnog utjecaja na kvalitetu primarnog sloja korozivnih produkata. Smanjenje brzine djelovanja korozije može se postići i snižavanjem temperature čime se snižava i energetska razina molekula i atoma koji međusobno reagiraju ili stvaranjem korozivnih produkata na površini metala koji ga, u obliku zaštitnog sloja, zaštićuju. Značajne se brzine kemijske korozije metala dostižu tek pri visokim temperaturama (kaljenje, izmjena topline u ložištima kotlova).

Zaštitni sloj smanjuje koroziju uz uvjete:

- Da su korozijski produkti kompaktni i fizikalno – kemijski stabilni (ne otapaju se, ne razgrađuju niti kemijski reagiraju) pod određenim uvjetima
- Da je volumen korozijskih produkata jednak ili veći od volumena metala koji korodira, tj. zaštitni sloj mora potpuno prekriti metalnu površinu.

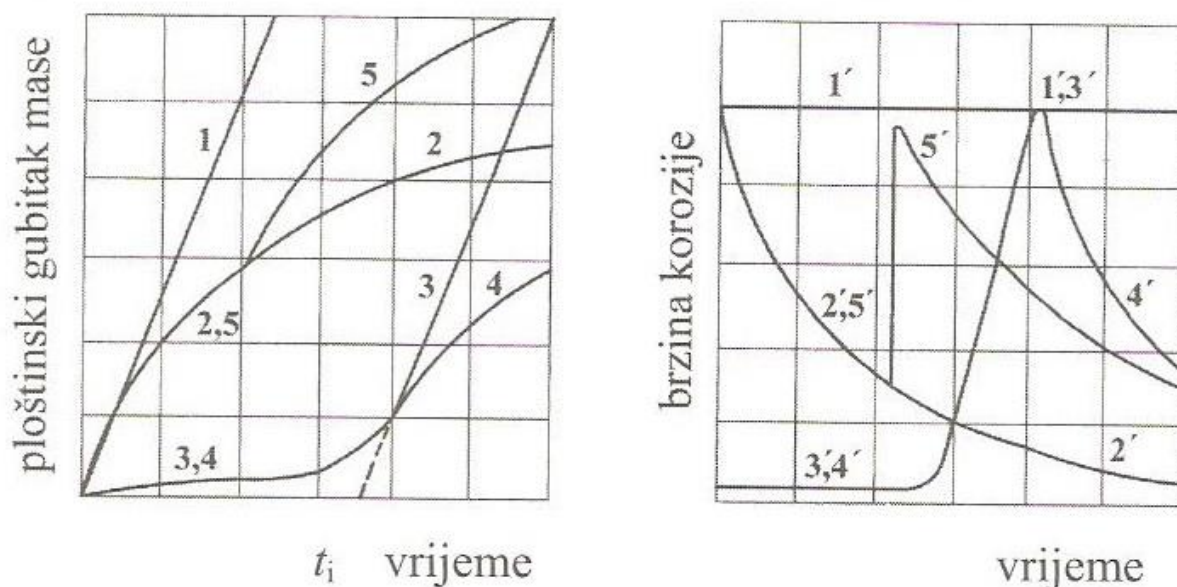
Sloj nastaje obično na onim dijelovima površine metala na kojima agens izravno reagira s metalom. Daljnji prirast debljine usporava proces korozije pa ona teče sporije zbog otežana prodiranja agensa kroz sloj. Za čelik i ljevove na bazi željeza taj sloj je vrlo krhak te pri malim napreznjima puca, što dovodi do vrlo opasnog lokalnog raspada metala.

Empirijski je utvrđeno da se intenzitet odvijanja procesa korozije, odnosno rast oksidnog sloja, najčešće zbiva po logaritamskoj krivulji, a rjeđe linearno ili po paraboličnoj krivulji (slika 3.). Neovisno o kojoj se krivulji proces korozije razvija, on će se povećati povišenjem temperature. [1.]



Slika 3 - Rast oksidnog sloja u funkciji vremena

Produkti kemijske korozije metala (obično oksidi i sulfidi) većinom su u čvrstom stanju, pa mogu tvoriti sve deblji kompaktni sloj koji prijanja na metal i odvaja ga od korozivnog fluida tako da proces poprimi usporeni tijek (slika 4).



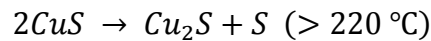
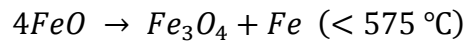
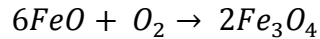
Slika 4 - . Izoterme tijeka i brzine korozije: 1, 1' – linearna; 2, 2' – usporena; 3, 3' – miješana ubrzano linearna; 4, 4' – miješana ubrzano usporena; 5, 5' – diskontinuirana korozija;  $t_i$  – indukcijско razdoblje (inkubacija)

Da bi zaštitni učinak produkata korozije došao do izražaja, mora biti ispunjeno nekoliko uvjeta. Jedan od njih je da volumen produkata bude jednak ili veći od volumena korodiranog metala. Omjer spomenutih volumena, tzv. Pilling – Berdworthov omjer, mora biti barem 1 kako bi produkt mogao pokriti površinu metala. Među oksidima konstrukcijskih metala samo  $MgO$  ima manji volumen od oksidiranog  $Mg$ , i to za 21% što odgovara Pilling – Bedworthovu omjeru 0,79. Ostali oksidi, pa i sulfidi metala veći su po volumenu od korodiranog metala, ali su za neke od njih (npr. za  $V_2O_5$ ,  $WO_3$ ,  $MoO_3$  i  $NiS$ ) Pilling – Bedworthovi omjeri toliko veliki (iznad 2,4) da se u nastalom sloju javljaju prekomjerna tlačna naprezanja koja uzrokuju drobljenje, tj. gubitak zaštitne sposobnosti.

Dva dodatna uvjeta za nastajanje kompaktnih slojeva su njihova fizikalna i kemijska stabilnost. Pod danim okolnostima ne smiju se oksidi ni sulfidi taliti, isparivati (sublimirati) niti kemijski mijenjati. Fizikalno su nestabilni  $V_2O_5$ ,  $WO_3$ ,  $MoO_3$  i  $NiS$  jer im je talište mnogo niže od tališta metala, a  $MoO_3$  je usto sklon sublimaciji. Talište  $V$  je



1720 °C, a talište  $V_2O_5$  samo 690 °C. Oksidi i sulfidi  $Fe$  i  $Cu$  su kemijski nestabilni jer  $Fe$  tvori 2- i 3- valentne spojeve, a  $Cu$  1- i 2- valentne spojeve koji se promjenom valencije lako kemijski mijenjaju, npr. prema jednadžbama:



Dakle, pri taljenju i isparavanju nestaje zaštitni sloj, a pri kemijskim reakcijama mijenja se kristalna struktura, pa se u sloju javljaju velike napetosti koje ga drobe.

Zaštitnom učinku sloja pridonosi i kompatibilnost kristalnih rešetki korozijskog produkta i metala tako da sloj može čvrsto prijanjati i rasti bez pojave velikih napetosti. Povoljno djeluju i dobra mehanička svojstva sloja, mala gustoća defekata njegove rešetke kao i mala razlika između koeficijenata toplinskog rastezanja sloja i metala. Najbolja zaštitna svojstva imaju oksidni slojevi na aluminiju, kromu i nekim legurama  $Fe$ ,  $Ni$  i  $Co$  s  $Cr$ ,  $Al$ ,  $Si$  itd.

Slojevi produkata ne mogu spriječiti daljnju kemijsku koroziju metala jer kroz njih difundiraju atomi ili ioni metala, s jedne strane, i nemetala (najčešće kisika ili sumpora) s druge strane. Brzine difuzije, pa i korozije, razmjerne su difuzijskim koeficijentima koji ovise o tvari kroz koju se odvija difuzija, te o tvarima koje difundiraju, a rastu s povišenjem temperature i s gustoćom defekata rešetke u sloju. [4.]

### 3.2. Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija nastaje na metalima u električki vodljivim sredinama (elektrolitima) kao što su prirodna voda, vodene otopine kiselina, lužina, soli i druge tvari, vlažno tlo te vlažna atmosfera (ugljični čelik korodira pri relativnoj vlazi  $RV > 60$  %). Njezin je uzrok također afinitet, ali on se manifestira kao električni napon (kao tzv. razlika potencijala dva metala) između dva mjesta na površini metala ili između metala i elektrolita.

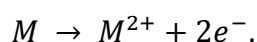
Elektrokemijska korozija metala je kemijski redukcijско – oksidacijski proces, tj. redoks – proces u sustavu metal/elektrolit, u kojemu dolazi do oksidacije (ionizacije,

otpuštanja elektrona) metala u slobodni metalni ion te redukcije (depolarizacije, primanje elektrona) nekog oksidansa, tzv. depolarizatora.

Ta dva parcijalna elektrokemijska procesa daju sumarni redoks proces u kojemu ne sudjeluju električni naboji, što znači da se redukcijom vežu svi elektroni oslobođeni oksidacijom. Broj elektrona koji se oslobađa u anodnoj reakciji mora biti jedna broju elektrona koji se troše u katodnoj reakciji, odnosno anodna struja mora biti jednaka katodnoj struji. Reakcije se moraju zbivati istodobno da bi anodna reakcija stvorila koroziju. U protivnom reakcije postaju reverzibilne i uspostavlja se ravnoteža. Tijekom elektrokemijske korozije na površini metala se uspostavlja korozijski potencijal, pri čemu je brzina anodnog procesa jedna brzini katodnog procesa. [4.]

### 3.2.1. Anodni proces

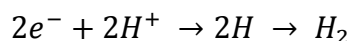
Reakcija ionizacije metala (otapanje) i stvaranje elektrona:



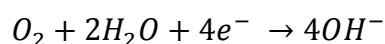
### 3.2.2. Katodni proces

Trošenje elektrona

a) Reakcija vodikove redukcije:

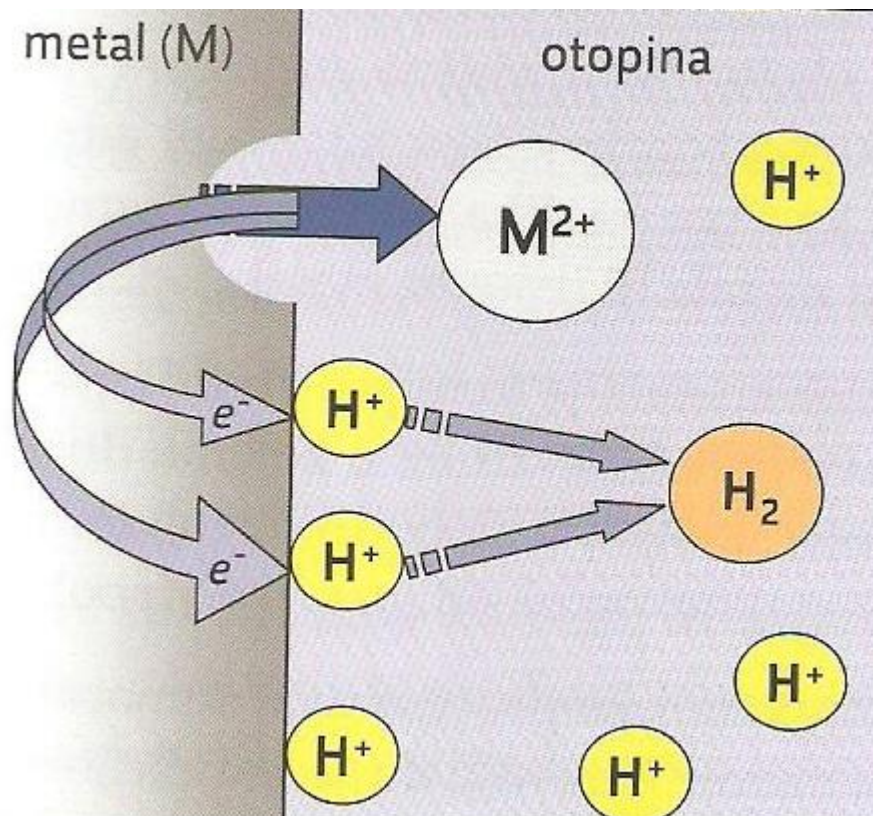


b) Reakcija kisikove redukcije:



### 3.2.3. Vodikova redukcija

Vodikova redukcija je osnovni katodni proces pri koroziji metala u kiselim otopinama bez jakog oksidacijskog djelovanja. Pri toj se katodnoj reakciji reducira lokalna katoda koju su elektroni s anode katodno polarizirali. Elektroni koji dolaze na lokalnu katodu privlače suprotno nabijene vodikove ione, tvoreći vodikove atome koji se dalje vežu u molekulu vodika i izlaze iz otopine u obliku mjehurića. U slabo kiseloj, neutralnoj ili slabo lužnatoj sredini ne može doći do trajne vodikove redukcije jer je koncentracija vodikovih iona preniska. Na slici 5. dan je prikaz korozijskog članka u kiseljoj otopini. [1.]



Slika 5 - Shematski prikaz elektrokemijske otopine u kiseljoj otopini

### 3.2.4. Kisikova redukcija

Do kisikove redukcije najčešće dolazi zato što elektroliti sadržavaju u većoj ili manjoj mjeri otopljen kisik, zbog toga što se nalaze u kontaktu s atmosferom. Razlika te katodne reakcije prema prije opisanoj sastoji se u tome da se vodik ne može odstraniti pod uvjetima koji vladaju jer agresivna tekućina nije dovoljno kisela. Zato kisikova redukcija nastupa kod najvažnijih tehničkih metala (željezo, cink, olovo) u neutralnim, slabo kiselim ili slabo alkalnim otopinama, tj. u kontaktu s prirodnim vodama.

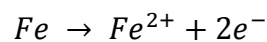
Brzinom korozije upravljaju katodne i anodne reakcije. Prijenos elektrona u takvim reakcijama je struja korozije. Kako struja protječe, anodni i katodni potencijali se pomiču iz svojih ravnotežnih ili povratnih vrijednosti i približavaju se jedan drugome. Taj se proces naziva polarizacija. [1.]

### 3.2.5. Elektrokemijska korozija stvaranjem mikročlanaka

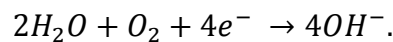
Elektrokemijska korozija nastaje stvaranjem mikročlanaka, odnosno galvanskog članka na metalnoj površini, zbog lokalne razlike potencijala na površini istog metala

kad je metal uronjen u elektrolit. U praksi redovito pojedini dijelovi metalne površine u elektrolitu zbog neravnomjernosti unutrašnjih (stanje površine) ili vanjskih korozivnih parametara (različite koncentracije otopljenog kisika) elektrokemijski toliko različitih da su neki od njih pogodniji za odvijanje ionizacije metala, a drugi za odvijanje redukcije. Stoga se procesi ionizacije metala i redukcije lokalno razdvajaju na metalnoj površini. Metal se, dakle, ionizira neplemenitijim (negativnijim), tj. anodnim dijelovima površine, a redukcija teče na plemenitijim (pozitivnijim), tj. katodnim dijelovima.

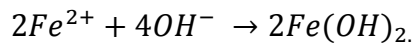
Kod niskolegiranih čelika na feritu se zbiva anodna reakcija prema jednadžbi:



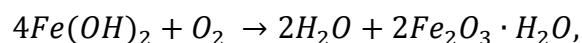
Ako pri tome ima u vodi otopljenog kisika, kemijska jednadžba katodne reakcije zbiva se u cementitu uz kisikovu redukciju prema jednadžbi:



Novonastali hidroksidni ioni reagirat će dalje s prije stvorenim kationima željeza i tvoriti hidrokside prema reakciji:

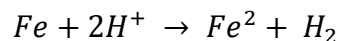


Ako u vodi nije potrošen kisik, tada dolazi do sljedeće reakcije:



a prije nastala hrđa pretvorit će se u crveno – smeđu hrđu.

Ako u vodi nema kisika, tada do procesa korozije može doći samo ako je moguće neposredno razvijati vodik na sljedeći način (uz redukciju vodika):



Pokretna sila elektrokemijske korozije je razlika ravnotežnih potencijala lokalne anode i katode, a naziva se elektromotornom silom galvanskog odnosno korozivnog elementa.

Razlika potencijala može nastati zbog:

- Vanjskih i unutarnjih naprezanja i deformacija
- Kristalografske nehomogenosti metalne površine
- Nehomogenih filmova i prevlaka na metalnoj površini

- Nejednake pristupačnosti kisika koji je otopljen u elektrolitu
- Utjecaja elektrolita nejednolikog sastava, koncentracije, brzine protjecanja i temperature
- Utjecaja mikroorganizama koji u vodi reduciraju, npr. sulfate u sulfide
- Nejednolikog osvjetljenja
- Lutajućih struja na podzemnim i podvodnim cjevovodima

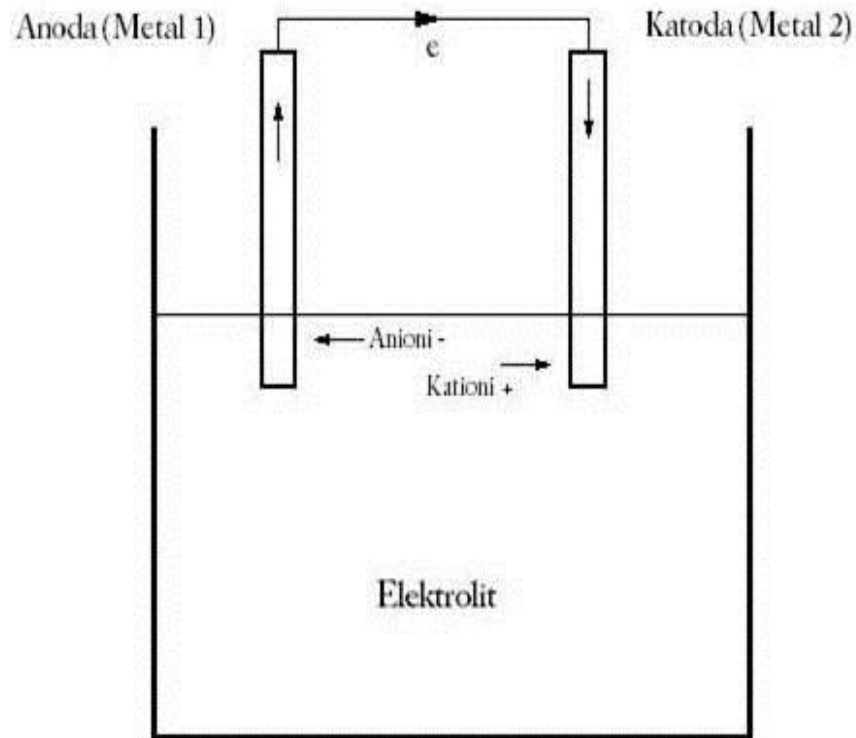
### 3.2.6. Elektrokemijska korozija stvaranjem galvanskog članka

Elektrokemijska korozija nastaje stvaranjem galvanskog članka između dva metala i elektrolita.

Koji će metal u galvanskom članku biti anoda, a koji katoda ovisi upravo o njihovom standardnom elektrodnom potencijalu, odnosno svojstvu pojedinog metala da otpušta elektrone kad je uronjen u neki elektrolit. Aktivniji metal bit će nižeg potencijala, tj. anoda (pozitivna elektroda). On će davati elektrone (oksidirati) i njegovi će ioni izlaziti u otopinu. Anoda je ona koja korodira (troši se). Elektron s anode vanjskom vezom odlazi do katode (negativna elektroda) nastojeći uspostaviti jednakost naboja u sustavu. Na katodi se elektroni vezuju za pozitivne ione elektrolita (katione) čime dolazi do redukcije.

Posljedica takva načina provođenja električne struje su kemijske promjene tvari. Sam elektrolit kao cjelina je neutralan jer je broj aniona i kationa u njemu jednak.

Na slici 6. prikazano je stvaranje galvanskog članka. Ako se u elektrolit urone dva komada metala različitog potencijala (elektrode) i izvana povežu vodičem, dobiva se sustav koji je izvor električne energije. Taj se sustav naziva galvanski članak, a uronjeni se komadi metala nazivaju elektrode. Razlika njihovih potencijala stvorit će napon koji će proizvesti struju elektrona. Aktivniji metal koji lakše daje elektrone biti će anoda te će davati elektrone (oksidirati se) i njegov će pozitivni ioni izlaziti u otopinu (trošiti se). Na katodi se elektroni vezuju za pozitivne ione elektrolita (redukcija). U elektrolitu su ioni nosioci električne struje (negativne ione nazivamo anioni, a pozitivne kationi), a ne elektroni kao kod metala. [6.]



Slika 6 - Elektrokemijska korozija stvaranjem galvanskog članka

### 3.2.7. Tok i intenzitet procesa elektrokemijske korozije

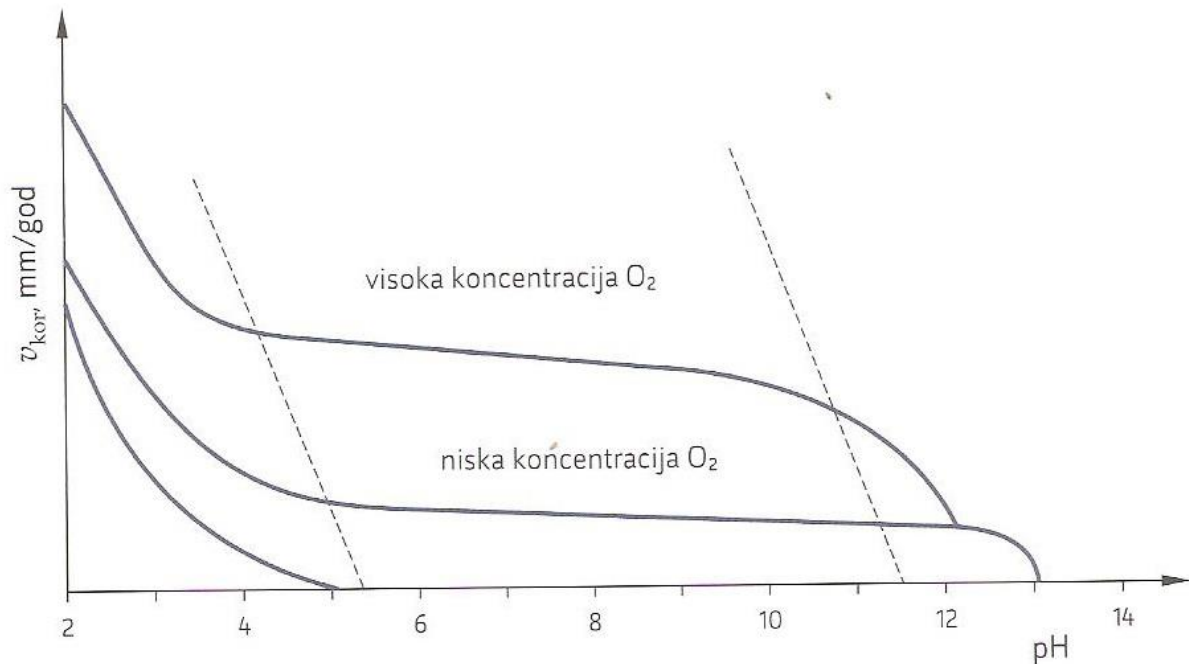
Osnovni parametri za tok i intenzitet elektrokemijske korozije su:

- Sastav, struktura i stanje površinske obrade nekog materijala
- Temperatura
- Koncentracija vodikovih iona i kisika u elektrolitu

Skлонost prema elektrokemijskoj koroziji uvelike ovisi o stupnju hrapavosti površine metala. Hrapaviji dijelovi površine često su skloniji ionizaciji od glađih, zbog čega nastaju korozijski članci u kojima su glađe površine obično katode.

Temperatura različito utječe na prikladnost površine metala za odvijanje procesa ionizacije, pa pri neravnomjernoj raspodjeli temperature nastaju termokorozijski članci u kojima su toplija mjesta obično anode.

Koncentracija vodikovih iona kao i kisika u elektrolitu snažno utječu na intenzitet razvoja procesa elektrokemijske korozije jer što je veća koncentracija kisika, veća je i brzina korozije. Na slici 7. vidi se da brzina korozije naglo raste kad se kiselost otopine povećava (kad pH – vrijednost padne ispod 5). [1.]

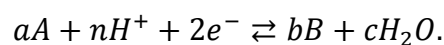


Slika 7 - Brzina korozije ovisno o pH vrijednosti i koncentraciji kisika

### 3.2.8. Pourbaixovi dijagrami (E-ph)

U cilju jednostavnog razumijevanja korozijskih procesa vrlo je važan rad belgijskog znanstvenika M. Pourbaixa i njegovih suradnika koji u E-pH dijagramima (ovisnost ravnotežnog potencijala metala o pH – vrijednosti otopine) prikazuje osnovne termodinamičke odnose između primarnih i sekundarnih elektrodnih reakcija te sekundarnih kemijskih reakcija pri koroziji metala u vodenu mediju.

Reakciju u kojoj oksidirana tvar A prelazi u reduciranu tvar B u vodi, uz prisutnost  $H^+$  iona kao i elektrona može se izraziti jednadžbom:



Potencijali ravnotežnog stanja za danu reakciju izračunati su uz primjenu Nernstove jednadžbe:

$$E = E^\circ + \frac{2,303RT}{zF} \log \frac{[A]^a \cdot [H^+]^n}{[B]^b [H_2O]^d}$$

gdje je:

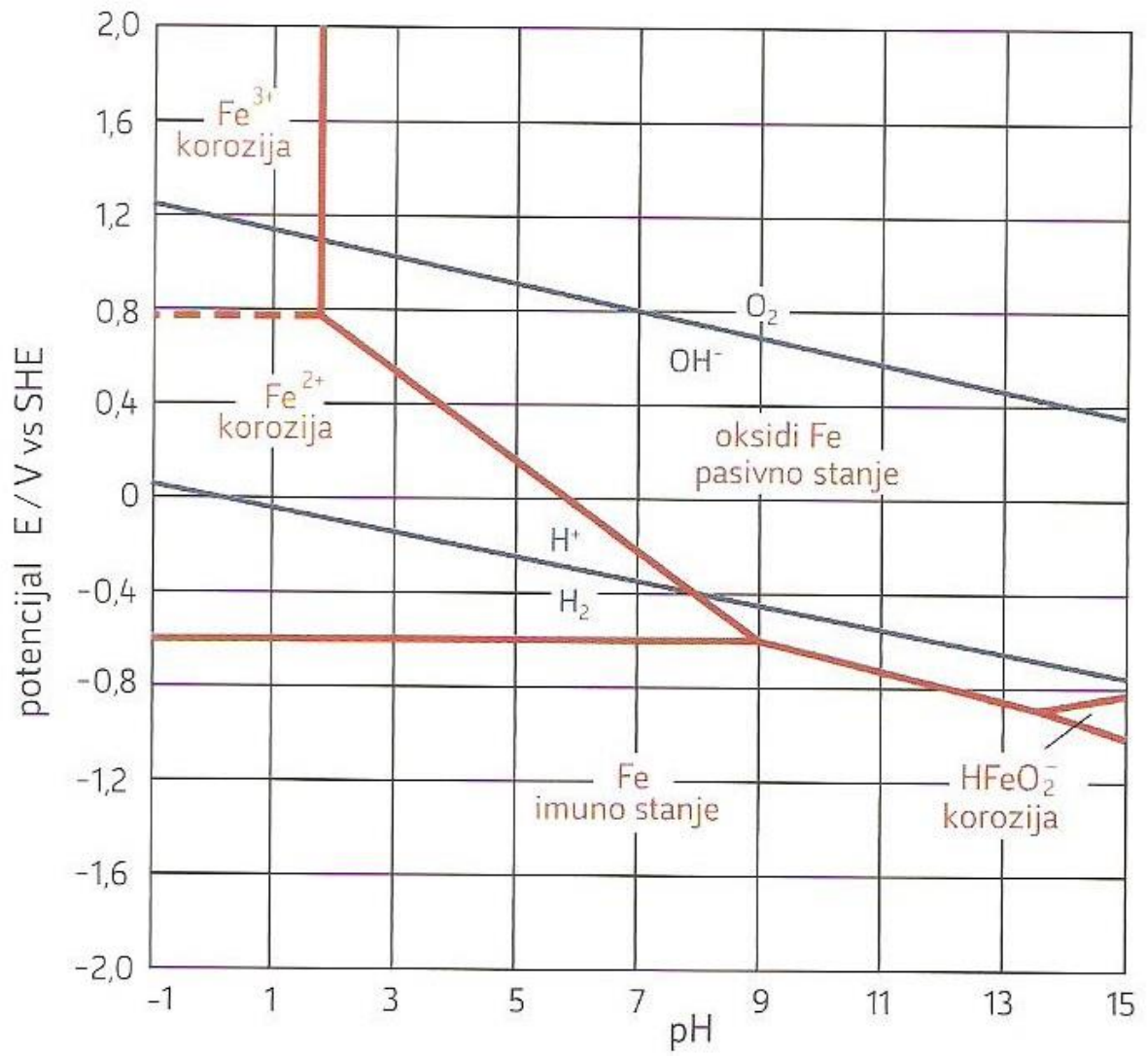
- $E$  ravnotežni elektrodni potencijal u V
- $E^\circ$  standardni elektrodni potencijal u V
- $R$  opća plinska konstanta koja iznosi 8,314 J/kmol

- $T$  temperatura u K
- $F$  Faradayeva konstanta pri 96500 C/mol
- $z$  broj elektrona
- $[A]$  koncentracija reaktanata
- $[B]$  koncentracija produkata
- $[H^+]$  koncentracija vodika
- $[H_2O]$  koncentracija vode.

U Pourbaixovim dijagramima načelno postoje tri područja termodinamičke stabilnosti, i to područje stabilnosti metala (uz niske potencijale), područje stabilnosti iona metala, i područje stabilnosti oksida, hidratnih oksida i hidroksida metala, tj. njegovih spojeva u čvrstom stanju (netopljivih u vodi). U prvom području ne postoji pokretna sila za koroziju pa do nje uopće ne može doći. Metal je tada u imunom stanju. Kada su stabilni ioni metala, on je u aktivnom stanju, tj. postoji pokretna sila za koroziju uz ionizaciju metala. U području stabilnosti čvrstih metalnih spojeva također postoji pokretna sila za koroziju, ali metal korodira samo ako se spomenuti spojevi suspendiraju u vodenoj sredini tvoreći s vodom muljevite smjese. Suprotno tom, ako čvrsti spojevi oblikuju na metalnoj površini filmove ili slojeve koji dobro prijanjaju, korozija prestaje, a metal je u pasivnom stanju. Neka od ograničenja Pourbaixovih dijagrama jesu da su izvedeni samo za određenu temperaturu i tlak, ne govore o kinetici odvijanja korozijskog procesa, razmatraju se čiste tvari a u području stabilnih oksida oni ne moraju nužno imati dobra zaštitna svojstva.

Iz Pourbaixova dijagrama za željezo (slika 8.) vidi se da se područje imunosti čistog i "tehničkog" željeza (tj. ugljičnog čelika i sivog lijeva) nalazi ispod 0,6V za pH – vrijednost od 2 do 9, dok se korozijski (stacionarni) potencijal tih metala uglavnom kreće oko -0,35V. To bi značilo da se katodnom zaštitom potencijal mora sniziti za barem 0,25V. Plavi pravci u dijagramima,  $O_2(H_2O)/OH$  i  $H^+/H_2$ , odgovaraju elektrodnim potencijalima kisikove odnosno vodikove redukcije. Redukcija kisika u  $OH^-$  kao i redukcije  $H^+$  u  $H_2$  moguća je samo ispod tih pravaca. [1.]





Slika 8 - Pourbaixov dijagram za željezo

## 4. GEOMETRIJA KOROZIJSKOG RAZARANJA

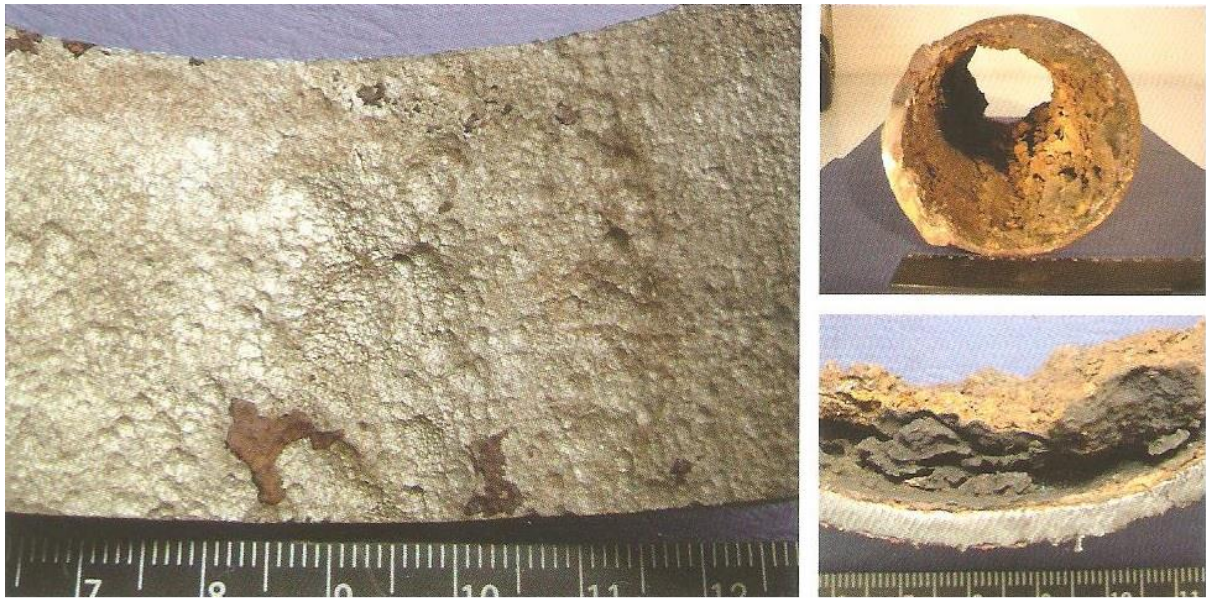
Korozijske pojave klasificiraju se često po svojem obliku i raspodjeli na površini materijala, tj. po geometriji korozijskog razaranja. Uobičajena je podjela na osam pojavnih oblika korozije:

- I. Opća korozija
- II. Galvanska korozija
- III. Korozija u procijepu
- IV. Rupičasta korozija
- V. Interkristalna korozija
- VI. Selektivna korozija
- VII. Erozijska korozija
- VIII. Napetosna korozija

### 4.1. Opća korozija

Opća (jednolika, engl. *Uniform*) korozija najčešći je i najrašireniji, ali i najmanje opasan, oblik korozije jer zahvaća približno jednako čitavu površinu materijala izloženu nekoj agresivnoj sredini. Kod samog projektiranja konstrukcije brzina opće korozije je često mjerodavna veličina za odabir materijala.

Može biti ravnomjerna ili neravnomjerna. Ravnomjerna opća korozija tehnički je najmanje opasna jer se proces može lako pratiti i predvidjeti kada treba određeni dio popraviti ili ga zamijeniti s novim. Neravnomjerna opća korozija je puno opasnija. Do opće korozije dolazi kada je čitava površina materijala izložena agresivnoj sredini pod približno jednakim uvjetima s obzirom na unutrašnje i vanjske faktore korozije. Pri odabiru materijala otpornih na opću koroziju, treba uzeti u obzir okolinu u kojoj će se pojedini metal nalaziti te njegovu podložnost općoj koroziji u predviđenim uvjetima. Ovaj oblik korozije kontrolira se korištenjem organskih ili metalnih prevlaka.



Slika 9 - Opća korozija čeličnog cjevovoda rashladne vode

Iz same slike 9 vidljivo je kako izgleda unutrašnjost cijevi koja je pokrivena koruzijskim produktima. Na lijevoj slici prikazana je neravnomjerna opća koruzija nakon uklanjanja koruzijskih produkata. [1.]

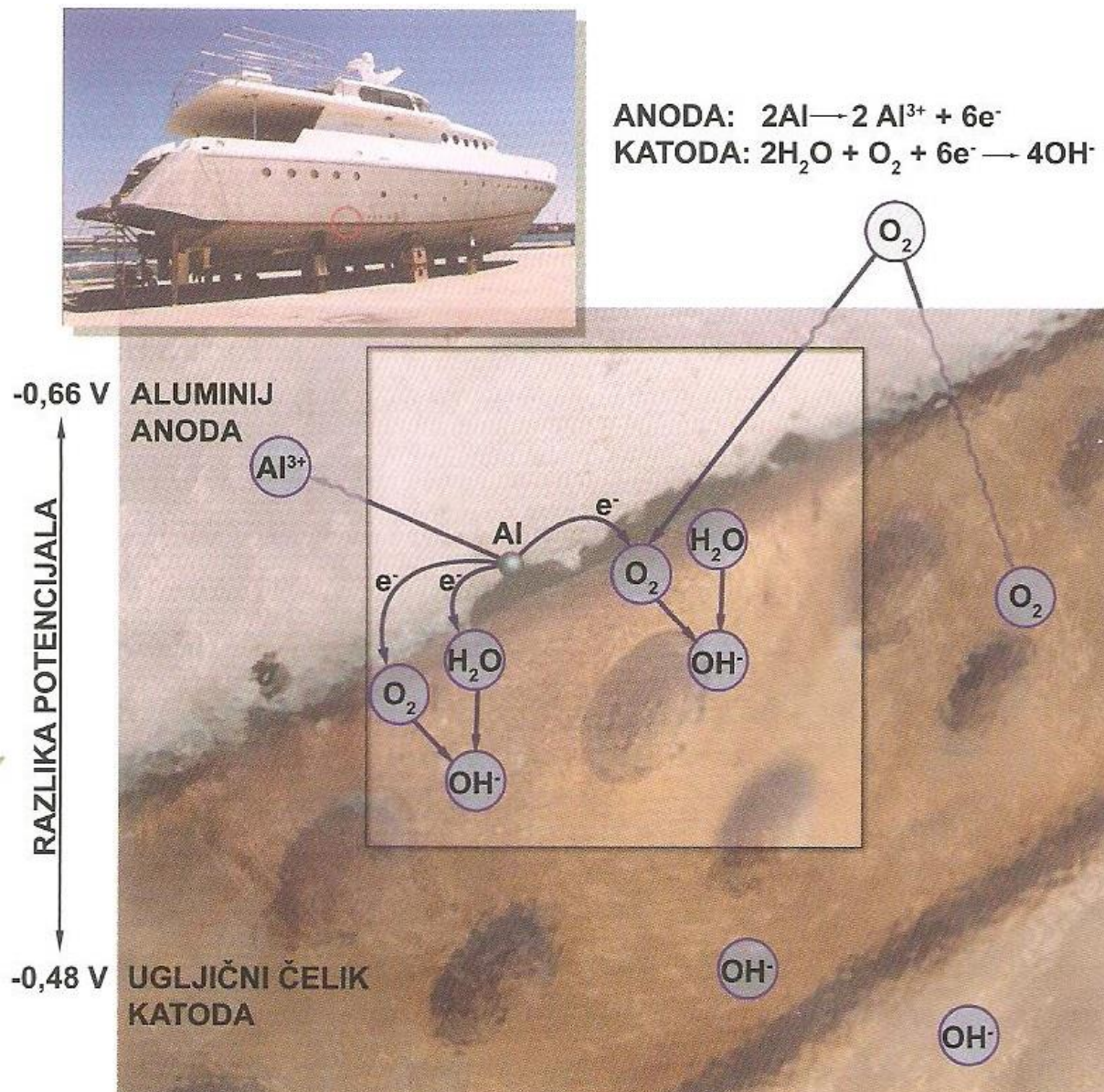
#### 4.2. Galvanska koruzija

Galvanska koruzija nastaje pri spajanju dvaju ili više materijala različitih potencijala u elektrolitu, pri čemu dolazi do koruzije onog metala koji ima niži električni potencijal.

Spajanjem dvaju metala različitog potencijala u elektrolitu dolazi do formiranja galvanskog članka, u kojemu je elektronegativniji metal anoda, a elektropozitivniji metal katoda. Zbog razlike potencijala dolazi do toka električne struje od anode prema katodi i oksidaciji anode.

Na slici 10 dan je shematski prikaz galvanske koruzije aluminijskog trupa broda. Aluminijski trup broda izveden je s čeličnim ojačanjem u podvodnom dijelu i spojen zakovicama. Aluminiij ima niži standardni elektrodni potencijal ionizacije od ugljičnog čelika (tj. neplemenitiji je) i u tako nastalom galvanskom članku dolazi do ubrzane koruzije aluminiija.





Slika 10 - Shematski prikaz galvanske korozije

Svi se metali mogu ponašati kao anoda ili kao katoda, ovisno o njihovom elektrodnom potencijalu u odnosu jednog prema drugome u galvanskom nizu. Metal nižega elektrodnog potencijala ponaša se kao anoda, i on korodira. Galvanski niz upućuje na mogućnost galvanske korozije, ali ne daje informacije o brzini moguće korozijske reakcije.

Galvanska korozija je najveća u blizini površine gdje su dva metala u kontaktu. Smanjenje sklonosti galvanskoj koroziji postiže se odabirom materijala koji imaju relativno bliske korozijske potencijale, izolacijom kontakta različitih metala ili izolacijom anodnog metala od korozivnog okoliša.

### 4.3. Korozija u procijepu

To je naziv za koroziju koja se pojavljuje u uskim površinskim pukotinama ili u procijepima materijala istih korozijskih potencijala. U takvim pukotinama i procijepima dolazi do nakupljanja vode i nečistoća, povećava se kiselost otopine, smanjuje pH-vrijednost te povećava koncentracija agresivnih čimbenika. Unutarnji dio procjepa postaje anodno područje dok se katodna reakcija zbiva na vanjskom dijelu procjepa.

Korozija metala je obično veća na malim zaštićenim mjestima u procjepu gdje se dva metala spajaju. Drugi materijal može biti dio (prirubnice, matice, itd.) istog ili različitog metala, nakupine pijeska, brtve i sl.

Primjer korozije u procijepu zbog neprimjerenog oblikovanja zavarenog spoja između plašta i podnice konstrukcije dan je slikom broj 11. Prva dio slike prikazuje propuštanja zavarenog spoja, dok se na drugom dijelu vidi samo oštećenje u preklopu spoja. Treći dio prikazuje shematski prikaz.



Slika 11 - Korozija u procijepu na spremniku za vodu

Smanjenje sklonosti koroziji u procijepu postiže se izbjegavanjem uskih procjepa pri konstruiranju, izbjegavanjem naslaga, katodnom zaštitom, izbjegavanjem stagnacije medija te osiguravanjem drenaže.

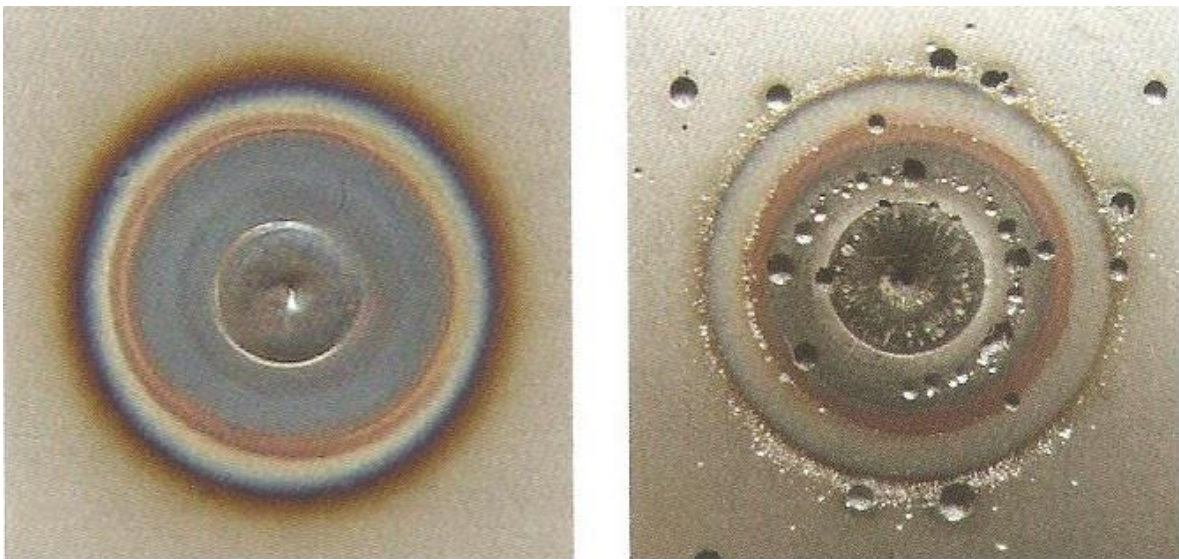
### 4.4. Rupičasta korozija

Rupičasta korozija je usko lokalizirana korozija približno kružnog oblika, pri lemu je dubina prodiranja nakon dovoljno dugog vremena nekoliko puta veća od njezine širine na površini materijala. To je lokalni oblik korozije koji napada samo neke dijelove izložene površine materijala.



Najčešće nastaje na nehrđajućim čelicima kao posljedica zavarivanja. Zbog unosa topline na površini materijala dolazi do tzv. "pobojenosti" uz zavareni spoj, koja u određenim uvjetima dovodi do lakšeg stvaranja korozije. Osim "pobojenosti", stvaranju rupičaste korozije odgovaraju i nečistoće, masti, vlaga, nakupine mikroorganizama, hrapavost površine, soli iz atmosfere.

Sa slike broj 12 vidi se utjecaj "pobojenosti" površine kao posljedica zavarivanja na površini.

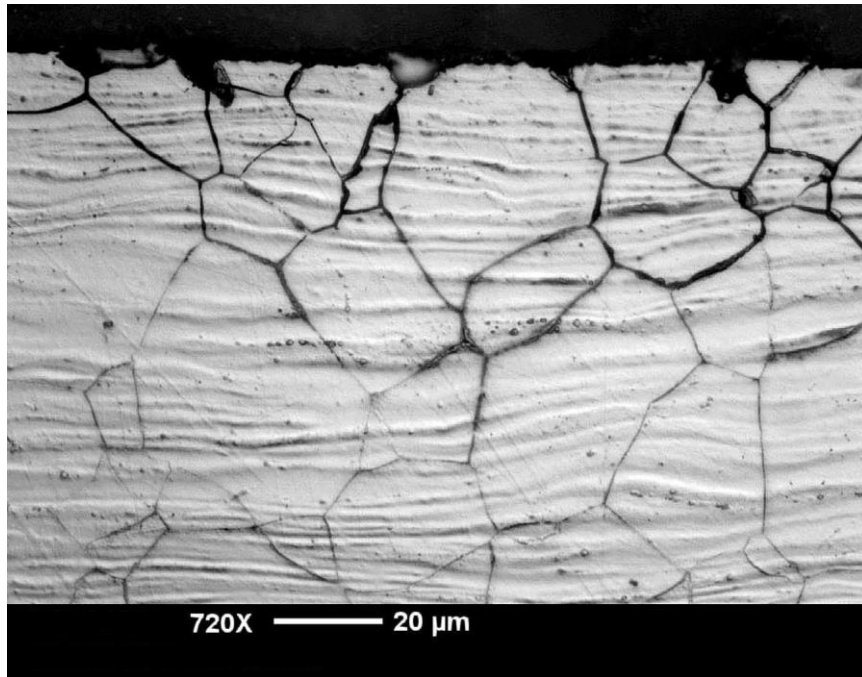


Slika 12 - Utjecaj pobojenosti površine na pojavu rupičaste korozije

Za zaštitu od rupičaste korozije dobro je nakon zavarivanja površinu mehanički, kemijski ili elektrokemijski obraditi kako bi se uklonile nehomogenosti i ponovno uspostavio zaštitni film, smanjiti agresivnost medija (povišenjem pH-vrijednosti i snižavanjem temperature), anodnom zaštitom konstrukcije, dok se preporučuje i upotreba visokolegiranog čelika s malim dodatkom Mo.

#### 4.5. Interkristalna korozija

Interkristalna korozija jako opasan je oblik korozije zato jer dugo može ostati neprimijećena, a da pri tom naglo smanjuje čvrstoću i žilavost materijala. Korozija napreduje duž granica zrna čime izaziva razaranje metalne veze među kristalima u mikrostrukтури čelika i raspadanje čitavog dijela. Najčešće zahvaća nehrđajuće čelike, legure na bazi nikla i aluminija.



Slika 13 - Interkristalna korozija

#### 4.6. Selektivna korozija

Selektivna korozija dosta je rijedak oblik korozije – napada samo jednu (neplemenitiju) fazu ili komponentu višefaznog ili višekomponentnog materijala, različitom brzinom. Pojavljuje se djelomično na površini i širi prema unutrašnjosti gdje se jako teško može uočiti njeno djelovanje. Pretvara čvrst metal u slab i krhak te podložan lomu. Isto tako, kako nema velikih promjena u dimenzijama, može proći neopaženo te izazvati iznenadna oštećenja.



Slika 14 - Selektivna korozija vodovodne cijevi nakon 35 godina u tlu

#### 4.7. Erozijska korozija

Erozijska korozija je primjer istodobnog djelovanja korozije i erozije (kemijskog i fizikalnog oštećivanja) materija. Najjednostavnije bi bilo opisati da nastaje onda kad je metal izložen mehaničkoj abraziji u korozivnoj okolišnoj atmosferi. Erozijska je progresivan gubitak materijala s površine konstrukcije zbog mehaničkog međudjelovanja površine i medija. Pojavljuje se djelovanjem u agresivnom (korozivnom) mediju, najčešće u sustavima za prijenos tekućina. Oštećenja tad nastaju relativno brzo, čak i kad je korozivnost medija vrlo mala.

Kod gibanja tekućina i plinova kroz cijevi, velikom brzinom, stvaraju se vrtlozi koji isto lako stvaraju koroziju. Kod manje brzine tečenja, ili kod mirujućeg fluida, moguće je stvaranje korozije ali puno manjeg intenziteta (sporijeg).

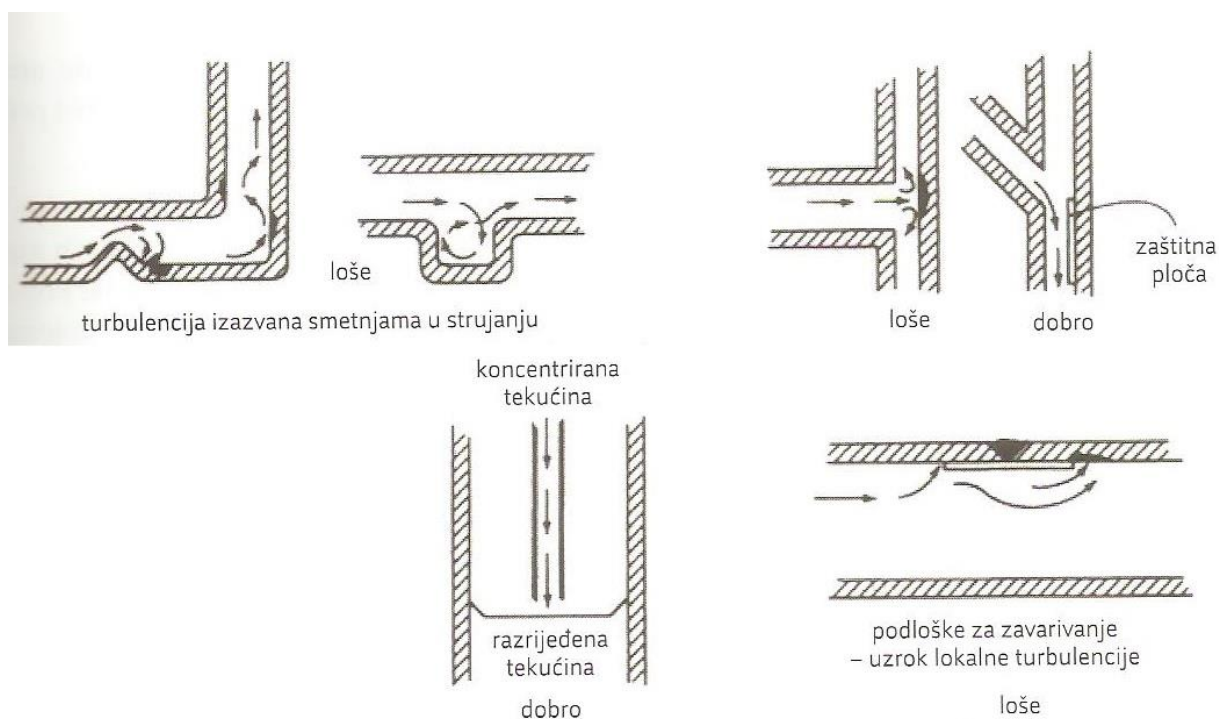
Naravno, najbitnije od svega toga je to kako je sama konstrukcija napravljena – neujednačeni zavari mogu izazvati smetnje kod protoka i uzrokovati nastajanje korozije.

Postoji mnogo načina za sprečavanje erozijske korozije – primjenom materijala veće korozijske i erozijske postojanosti, upotrebom otpornijih materijala, smanjenjem



turbulencija, zaštita nanošenjem prevlaka ili nekim konstrukcijsko tehnološkim rješenjima (npr. povećanjem promjera cijevi zbog smanjenja brzine strujanja fluida).

Neka od konstrukcijskih rješenja sprečavanja erozijske korozije su ugradnja koljena s blažim radijusom zakrivljenosti, blaža sužavanja ili proširenje cjevovoda, uklanjanje lokalnih prepreka strujanja, uklanjanje eventualnih nepravilnosti pri montaži, postavljanje umetaka od kvalitetnijih materijala na kritične lokacije u sustavu (mjesto promjene toka strujanja) i sl. [1.]



Slika 15 - Utjecaj konstrukcijsko tehnoloških mjera na karakter strujanja

#### 4.8. Napetosna korozija

Napetosna korozija (engl. SCC = Stress Corrosion Cracking) je oblik korozije koji nastaje zbog istodobnog djelovanja agresivnog okruženja i vlačnih naprezanja na materijal konstrukcije. Vlačna naprezanja uglavnom su posljedica zaostalih naprezanja zbog hladne deformacije ili zavarivanja. Povišene temperature posebno pogoduju nastanku (agresivni medij), najčešće kod nehrđajućih čelika.



Slika 16 - Čimbenici koji utječu na pojavu napetosne korozije

Napetosnu koroziju je teško predvidjeti zato jer su sami korozijski procesi teško uočljivi, a rezultiraju velikim gubitkom čvrstoće te duktilnih svojstva materijala (često i lomom konstrukcije), a sve to uz mali gubitak mase materijala. Oštećenja koja nastaju zbog te vrste korozije su neočekivana i nerijetko uzrokuju visoke troškove.

Smanjenje sklonosti napetosnoj koroziji može se postići i sniženjem vlačnog naprezanja toplinskom obradom, konstrukcijskim izmjenama, obradom mlazom sačme, korištenjem inhibitora, zamjenom metala i sl. [2]

## 5. ELEKTROKEMIJSKA METODA ZAŠTITE

Temelje elektrokemijske zaštite postavio je Sir Humphry Davy, koji je upotrijebio cink za zaštitu bakrenih oklopa na drvenim trupovima ratnih brodova u morskoj vodi. Danas se elektrokemijska zaštita upotrebljava za zaštitu uronjenih i ukopanih metalnih konstrukcija koje nisu lako pristupačne za održavanje premazima, kao što su npr. cjevovodi, lučka postrojenja, brodovi, spremnici, izmjenjivači topline i armatura u građevinarstvu.

Ovisno o načinu polarizacije, elektrokemijska zaštita može biti katodna i anodna. Za razliku od katodne zaštite gdje se snižavanjem potencijala metal prevodi u imuno stanje, pri anodnoj zaštiti potencijal metala se povisuje kako bi se doveo u pasivno stanje kada korozijski produkti tvore barijeru i djeluju zaštitno prema mediju u kojemu se nalazi konstrukcija.

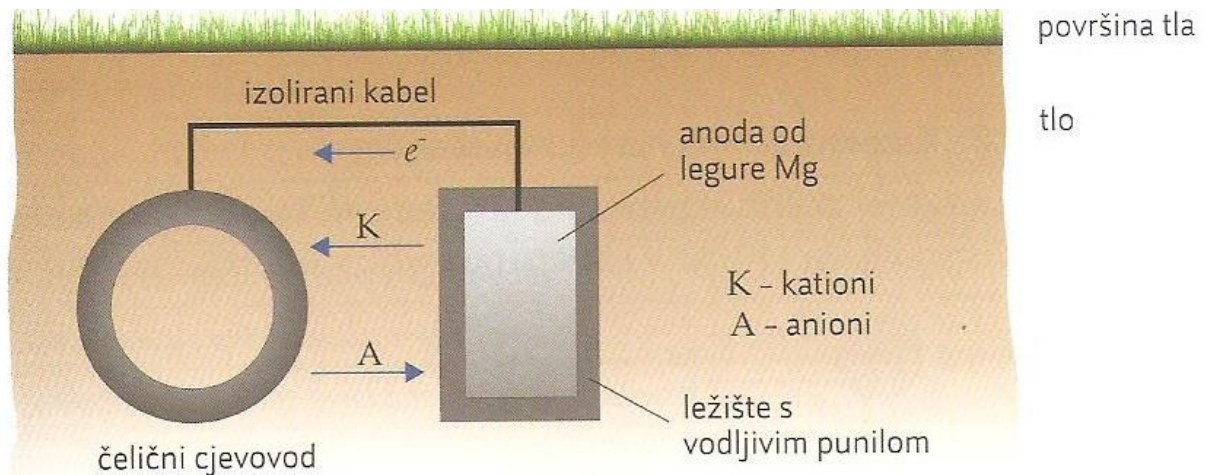
### 5.1. Katodna zaštita

Katodna zaštita je postupak koji se temelji na privođenju elektrona metalu, bilo iz negativnog pola izvora istosmjerne struje (zaštita narintom strujom), bilo iz neplemenitijeg metala (tzv. protektora, protektorska zaštita), sve dok potencijal objekta ne padne niže od zaštitne vrijednosti jednake ravnotežnom potencijalu anode korozijskog članka. Time nestaje afinitet za koroziju, tj. metal postaje imun.

Uz zaštitu premazima, katodna je zaštita najčešća metoda zaštite od korozije ukopanih i uronjenih konstrukcija. Najbolje rezultate daje u kombinaciji sa sustavima premaza u kojima zaštitni sloj prevlake odvaja materijal od okoline, a katodna zaštita mijenja vanjske čimbenike oštećivanja materijala (obilježja okoline) smanjenjem pokretne sile korozijskih procesa.

#### 5.1.1. Protektorska zaštita

Protektorska se zaštita (slika 17) provodi spajanjem konstrukcije s neplemenitijim metalom u galvanski članak u kojemu je protektor anoda. Ona se ionizacijom otapa (korodira) dajući katione i elektrone koji odlaze u šticeu konstrukciju. Protektori se samim time troše te zbog toga nazivaju i žrtvovanim anodama.

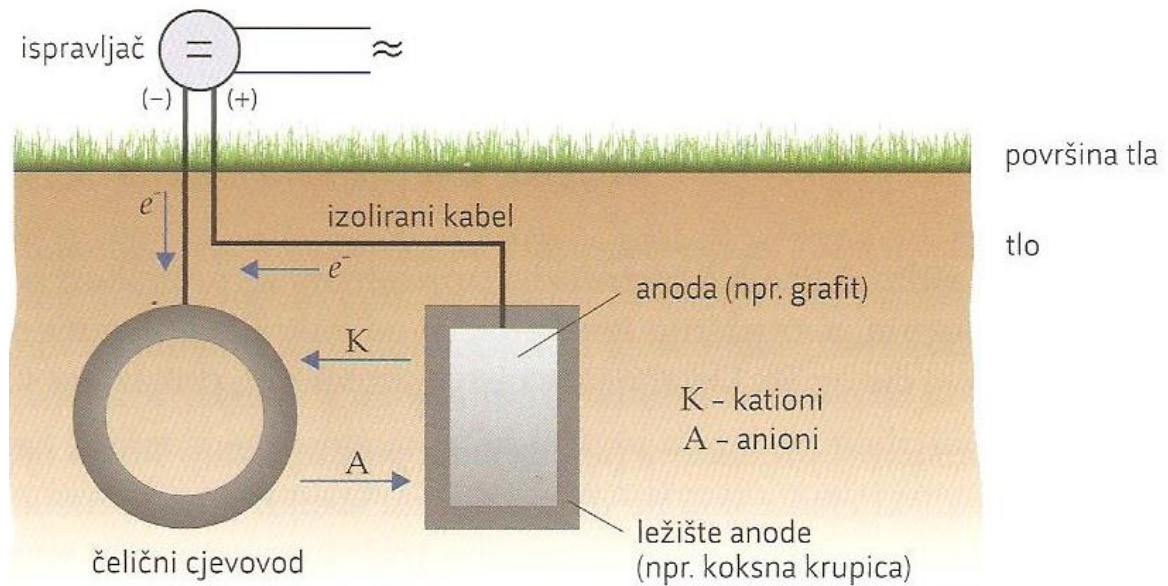


Slika 17 - Protektorska zaštita

Iskoristivost protektora (anode) nije potpuna zato što na njemu djeluju i lokalni korozijski članci koji ne daju zaštitnu struju, a troše metal, te zato što se protektor neravnomjernim otapanjem troši i smanjuje mu se ploština, a povećava električni otpor pri čemu protektor ne daje dovoljnu zaštitnu struju.

### 5.1.2. Katodna zaštita narinutom strujom

Pri katodnoj zaštiti narinutom strujom (slika 18) konstrukcija se preko regulatora / ispravljача (10 – 20 V) spaja na minus pol izvora struje, dok su na plus pol spojene pomoćne anode koje mogu biti trajne i potrošene. Potrošene su najčešće od konstrukcijskog ugljičnog čelika, a trajne se izrađuju od grafita, ugljena, olova, nikla, platiniranog titana, itd.



Slika 18 - Katodna zaštita narinutom strujom

## 5.2. Anodna zaštita

Anodna polarizacija metala u elektrolitu, tj. pomak njegova potencijala u pozitivnom smjeru, ubrzava koroziju ionizacijom u katione jer oduzima metalu elektrone. Međutim, iznad određene vrijednosti potencijala u nekim sustavima metal / elektrolit gustoća korozijske struje opada za nekoliko redova veličine, tj. metal se pasivira, što znači da se može anodno zaštititi. Tada se anodna reakcija ne zbiva jednostavnom ionizacijom nego tvorbom pasivnoga filma i njegovim vrlo sporim otapanjem. Anodno se zaštićuju nehrđajući čelici, Ti i njegove legure, Cr prevlake, Ni, Al i ugljični čelici u otopinama nitrata i sulfata.

U mnogim se primjerima metali uz djelovanje elektrolita i kisika iz zraka samopasiviraju tako da anodna zaštita služi samo za održavanje pasivnoga stanja. Jedan od češćih primjera primjene anodne zaštite je zaštita čeličnog spremnika za čuvanje koncentrirane 93 – 99 postotne sumporne kiseline.

Slično katodnoj, i anodna zaštita metala provodi se pomoću vanjskog izvora istosmjerne struje te katodnim protektorom.

Nedostatak te metode zaštite je visoka cijena opreme, zbog čega se kombinira s emajliranjem kao sekundarna zaštita. [4.]

## 6. ZAŠTITA INHIBITORIMA KOROZIJE

Korozijsko djelovanje agresivnih iona u elektrolitu u praksi se vrlo često smanjuje primjenom inhibitora korozije. Inhibitori korozije se definiraju kao tvari anorganskog ili organskog podrijetla koje u vrlo malim koncentracijama smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti (0,1 mm/god).

Postoji nekoliko mehanizama djelovanja inhibitora, a po pravilu se radi o stvaranju barijere (tankoga filma ili sloja korozijskih produkata) između okoline i metala ili pak o promjeni okoline (smanjenje korozivnosti) materijala koji se štiti. Inhibitori najčešće koče koroziju u elektrolitima, ali se rabe i u zaštiti od atmosferske korozije.

### 6.1. Podjela inhibitora

Prema načinu djelovanja inhibitori se dijele na anodne, katodne i miješane (anodno – katodne), prema tome koče li ionizaciju metala (anodnu reakciju), redukciju oksidansa (katodnu reakciju) ili oba ta procesa.

#### 6.1.1. Anodni inhibitori

Anodni inhibitori koče ionizaciju metala. Najvažniji su tzv. pasivatori, tj. topljive soli oksidativnih aniona kakvi su kromati ( $CrO_4^{2-}$ ), nitriti ( $NO_2^-$ ), molibdati ( $MoO_4^{2-}$ ), volframati ( $WO_4^{2-}$ ) i vanadati ( $VO_3^-$ ) koji u otopinama pH 5 – 9 prevode *Fe*, *Ni*, *Co* i njihove legure u pasivno stanje (snažno kočenje procesa korozije = spora korozija). Takvi se inhibitori često nazivaju "opasnima" jer uz nedovoljnu koncentraciju ne pasiviraju čitavu metalnu površinu te pri tom smanjujući anodnu i povećavajući katodnu površinu, mogu izazvati rupičastu koroziju.

#### 6.1.2. Katodni inhibitori

Katodni inhibitori izravno koče katodnu reakciju (redukciju vodika ili kisika) ili djeluju kao taložni inhibitori, tvoreći na lokalnim katodama natopljive produkte. Za razliku od anodnih, katodni inhibitori dodani u bilo kojoj količini smanjuju brzinu korozije i nisu opasni.

### 6.1.3. Mješoviti inhibitori

Mješoviti inhibitori imaju dvostruko djelovanje – i anodno i katodno (usporavaju anodnu i katodnu reakciju). To su najčešće organski spojevi koji se adsorbiraju na metalnu površinu, tvoreći spojeve u obliku zaštitnih monomolekulskih filmova, pa se često nazivaju i adsorpcijski inhibitori. Najpoznatiji su želatina, agar – agar, škrob, tanin, derivati acetilena, soli organskih kiselina, spojevi s dušikom i njihove soli, spojevi s sumporom, sulfidi.

### 6.2. Primjena inhibitora

Primjena se inhibitora potvrdila na mnogim tehničkim područjima gdje se druge metode zaštite od korozije nisu pokazale uspješnima. Primjenjuje se u sustavima za grijanje i hlađenje, u parnim kotlovima, pri dobivanju i preradi nafte i plina, u kemijskoj industriji, pri hlađenju i podmazivanju tijekom obrade rezanjem, za zaštitu čelične armature u betonu itd., čime se postižu velike uštede i omogućuje kvalitetniji rad. Inhibitori služe i za sprečavanje nastajanja pukotina zbog napetosne korozije, vodikove bolesti metala i korozijskog umora.

Inhibitori korozije dodaju se i u temeljne zaštitne premaze kako bi spriječili iniciranje korozijskih procesa sprječavajući ionizaciju metala. Njihova se primjena danas posebno ističe u vodorazrjedivim premazima. Primjena vode kao otapala u boji može prouzročiti koroziju metalne površine. Inhibitori korozije štite površinu sve dok voda pri sušenju ne ispari iz premaza.

Slika 19 prikazuje primjenu inhibitora korozije za zaštitu spoje električnog kabla.





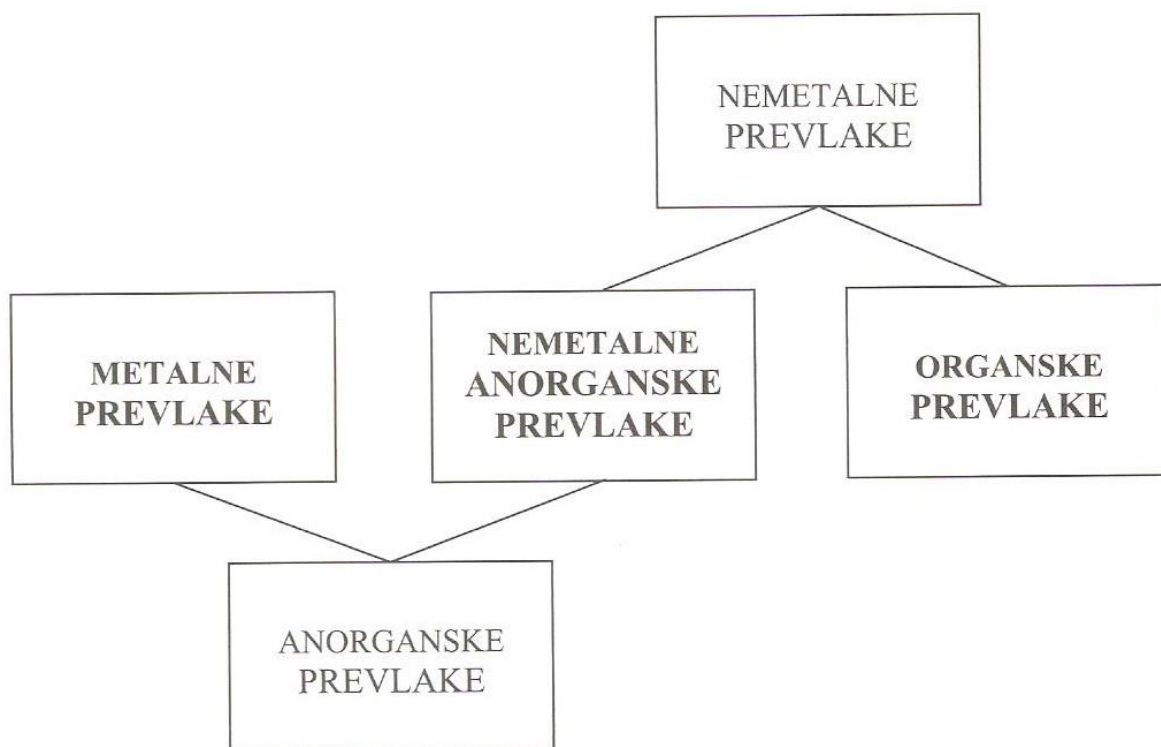
Slika 19 - Zaštita električnih kontakata



## 7. ZAŠTITNO PREVLACHENJE

Ako se zna da odabrani konstrukcijski materijal neće biti dovoljno postojan po predviđenim uvjetima, treba promijeniti uvjete ili nanijeti zaštitnu prevlaku. Nanošenje prevlaka na površinu proizvoda najraširenija je metoda zaštite od korozije i nekih drugih vrsta oštećivanja materijala (npr. od trošenja trenjem). Pri tome treba osigurati dovoljnu postojanost same prevlake jer se na drugačiji način ne može postići trajnost i pouzdanost prevučenog proizvoda.

Prevlake se prema karakteru tvari koja čini povezani sloj (opnu) na površini podloge dijele s jedne strane na metalne i nemetalne, dok s druge strane na organske i anorganske, prikazano na shemi sa slike 20.



Slika 20 - Podjela prevlaka

Osim za zaštitu od korozije, prevlake se često rabe i za zaštitu od mehaničkog trošenja, zbog estetskih razloga ili za regeneraciju istrošenih predmeta (odnosno reparaturu loše izrađenih predmeta). U tim primjerima zbog trajnosti sustava podloga – prevlaka poprilično važan je zaštitni utjecaj prevlake.

Svojstva površinskih slojeva konstrukcijskih metala često još određuju i njihovu vrijednost jer imaju jako bitan utjecaj na trajnost proizvoda tokom upotrebe, a time i

na ekonomičnost primjene. Najčešće o samoj površini proizvoda ovisi i kvaliteta istog.

Zaštitno djelovanje ovisi o vrsti i o debljini prevlake – prevlake veće debljine često se nazivaju oblogama, a tanke prevlake filmovima, o stupnju njezine kompaktnosti i o čvrstoći prijanjanja.

S obzirom na to, na kvalitetu znatno utječe postupak nanošenja koji uključuje pred-obrađu metalne površine za prevlačenje, nanošenje (u užem smislu) i završnu obradu prevlake, koja nije potrebna u svim postupcima prevlačenja. Pri izboru postupaka mora se voditi računa i o veličini i obliku proizvoda koji se prevlači.

Prevlake veće debljine često se nazivaju oblogama, dok se tanke prevlake nazivaju filmovima (opnama). Premda svaka prevlaka mora štiti podlogu, glavna svrha prevlačenja može biti različita. Prema tom kriteriju razlikuju se:

- *Zaštitne prevlake* u užem smislu riječi
- *Dekoratívne prevlake*
- *Funkcionalne prevlake*
- *Reparaturne prevlake*

Pri izboru prevlake s gledišta zaštitnog učinka vrijede načela za izbor konstrukcijskog materijala. Pri tom treba uzeti u obzir različita moguća vrsta oštećivanja, a za dekorativne, funkcionalne i reparaturne prevlake i posebne zahtjeve koje nameće svrha prevlačenja. Kakvoća prevlaka također ovisi o njihovoj debljini i kompaktnosti, o čvrstoći prijanjanja (prionjivosti, adheziji) na podlogu, o stupnju hrapavosti podloge i prevlake itd. Budući da na ova svojstva prevlaka bitno utječe tehnologija nanošenja, treba pažljivo odabrati i postupak nanošenja koji se sastoji od pripreme podloge (pred-obrađu osnovnog materijala), od prevlačenja u užem smislu i od eventualne naknadne obrade prevlaka. Pri izboru postupka mora se voditi računa i o veličini i obliku proizvoda koji se prevlači.

### **7.1. Priprema podloge za prevlačenje**

Priprema površine metala glavni je preduvjet za kvalitetno prevlačenje – provodi se u cilju čišćenja površine kako bi se postiglo što čvršće prijanjanje prevlake. Čišćenjem se uklanjaju s podloge sva onečišćenja kao što su masne tvari, većina korozivnih

produkata, oštećene prevlake, prašina itd. dok se s druge strane stvara i poželjna kakvoća površine podloge, tj. tražena hrapavost (glatkoća).

Za kvalitetnu pred-obrađu podloge redovito je potrebno nekoliko operacija. Njihov izbor i redoslijed znatno variraju ovisno o vrsti osnovnog materijala, o prethodnom stanju njegove površine i o stanju koje treba postići. Pred-obrađu obično čine operacije odmašćivanja te mehaničke i kemijske pripreme podloge.

### **7.1.1. Odmašćivanje**

Odmašćivanje služi za odstranjivanje bioloških i mineralnih masnih tvari s površine metala i neophodno je u pripremi površine za nanošenje prevlaka kako bi prevlaka dobro prijanjala na metalnu površinu. Te tvari potječu od sredstava za hlađenje i podmazivanje pri mehaničkom oblikovanju obradaka odvajanjem čestica ili plastičnom deformacijom, od masnih prevlaka za privremenu zaštitu ali i od rukovanja golim rukama.

### **7.1.2. Mehaničko čišćenje**

Ručno mehaničko čišćenje primjenjuje se samo za uklanjanje boje, hrđe ili kamenca koji labavo prijanjaju za podlogu. Primarno se ta metoda, zbog sporog učinka, primjenjuje za čišćenja na određenim mjestima i nije prikladna za veće površine.

Strojnim mehaničkim čišćenjem postiže se veća produktivnost. Provodi se korištenjem električnih ili pneumatskih uređaja na koje se montiraju mehanički alati.

Čišćenje površine moguće je provesti i suhim ili mokrim mlazom čestica čija se kinetička energija u trenutku sudara pretvara u mehanički učinak. Čestice mehanički uklanjaju rahla onečišćenja s površine i utiskuju materijal uz otvrdnjivanje. Učinak mlaza ovisi o tvrdoći čestice, brzini radnog medija, upadnom kutu mlaza te o obliku i veličini čestica. Tvrd abraziv je krhak i brzo se troši dok mekši abraziv apsorbira puno više energije. [4.]

## **7.2. Sustav premaza**

U višeslojnom sustavu (slika 21) premazi se prema namjeni dijele na:

- Temeljne premaze – osiguravaju adheziju na podlogu i sprječavaju koroziju

- Međupremaze – daju neprozirnost, povećavaju debljinu filma i poboljšavaju zaštitni učinak sustava
- Završne premaze – zadovoljavaju zahtjeve u vezi s nijansom boje, sjajem, lakoćom čišćenja, otporom na abraziju te štite prethodne premaze od utjecaja okoline (vode, onečišćene atmosfere, itd.) [1.]



Slika 21 - Peteroslojni sustav premaza, ukupne debljine najčešće od 360 do 600  $\mu\text{m}$

### 7.2.1. Temeljni premazi

Temeljni premazi nanose se izravno na metalnu površinu, pri čemu moraju osigurati dobru prionjivost na podlogu i zaštitu od korozije. Zaštita se ostvaruje *pasivno* kao film koji odvaja konstrukcijski metal od korozivnog medija i *aktivno* kočeći ionizaciju metala podloge, i to *inhibicijom*, *neutralizacijom* agresivnih sastojaka medija ili *katodnom zaštitom*. [1.]

Značajke temeljnog premaza su:

- Prionjivost – jaka veza s podlogom
- Kohezija – velika čvrstoća sloja
- Inertnost – jaka otpornost na koroziju i kemikalije
- Vezivanje s međupremazom
- Elastičnost – prati promjene na podlozi

### 7.2.2. Međupremaz

Međupremaz se može sastojati od jednog ili više slojeva, a čini vezu između temeljnog i završnog premaza. Mora dobro prijanjati na temeljni premaz a jednako tako činiti dobru osnovu za prijanjanje završnog premaza. Zaštitno svojstvo ostvaruje se uglavnom preko listićavih pigmenata koji se slažu paralelno s površinom i otežavaju prodor vlage i kisika do podloge.

Glavna svrha međupremaza je osigurati:

- Potrebnu debljinu sustava premaza
- Jaku kemijsku otpornost
- Nepropusnost na vlagu
- Povećani električni otpor
- Jaku koheziju
- Jaku vezu između temeljnog i završnog sloja

### 7.2.3. Završni premaz

Završni premaz nanosi se na prije nanesene slojeve i daje tražene karakteristike površine kao što su nijansa boje, stupanj sjaja, izgled i otpornost na vanjske utjecaje. Manje je debljine od međupremaza, ali zbog visokog udjela veziva ima veću gustoću i tvori čvrsti sloj. Osim zaštitne funkcije, može imati i posebnu namjenu kao što je sprječavanje obraštanja konstrukcija, širenja požara ili onemogućavanja sklizanja.  
[1.]

Glavne funkcije završnog premaza jesu:

- Osigurati otpornost sustava premaza
- Tvoriti prvu barijeru prema utjecajima okoline
- Osigurati otpornost na kemikalije, vodu i različite vremenske uvjete
- Osigurati otpornost na trošenje
- Osigurati lijep izgled

### 7.3. Odabir sustava premaza

Odabir sustava premaza je najvažniji i stručno najzahtjevniji dio posla u procesu bojenja. Pri odabiru je potrebno uzeti u obzir izloženost (radno okruženje) konstrukcije koja se zaštićuje, funkciju, predviđeni rok trajanja zaštitnoga premaza i mogućnost održavanja svakoga sustava. Cijena samog premaza mora se razmotriti s obzirom na očekivani rok trajanja, stupanj kvalitete, brzinu zaštićivanja ali i opseg i učestalost održavanja.

Prilikom odabira premaznog sustava potrebno je razmotriti pitanja kao što su:

- Eksploatacijski uvjeti kojima će premaz biti izložen
- Vrijeme trajanja zaštite
- Način pripreme površine
- Okolišni uvjeti prilikom nanošenja premaza
- Može li se odabrati premaz koji je manje opasan za čovjeka i okoliš
- Cijena premaza po kvadratnom metru površine koja se zaštićuje

### 7.4. Određivanje debljine premaza

Debljina premaza neposredno utječe na poroznost, postojanost kao i kvalitetu njegova zaštitnog djelovanja. Većini premaza korozijska otpornost raste s povećanjem debljine, ali također rastu i proizvodni troškovi, pa je kontrola debljine premaza potrebna i iz ekonomskih razloga. Prevelika debljina može za posljedicu imati i duže vrijeme sušenja i samo pucanje premaza.

Na debljinu premaza utječu:

- Tehnika nanošenja – kist, valjak, zračno i bez-zračno prskanje
- Vrsta premaza koji se nanosi na površinu
- Uvjeti pri kojima se nanošenje premaza izvodi – atmosferski utjecaji, vjetar, pristup površini
- Ljudski faktor – vještina ličioca
- Profil i kvaliteta pripremljene površine na koji se premaz nanosi

Kontrola debljine filma premaza provodi se sukladno normi HRN EN ISO 2808:2008, a obuhvaća:

- Kontrolu debljine mokrog filma premaza, DMF
- Kontrolu debljine suhog filma premaza, DSF

#### 7.4.1. Mjerenje debljine mokrog filma premaza

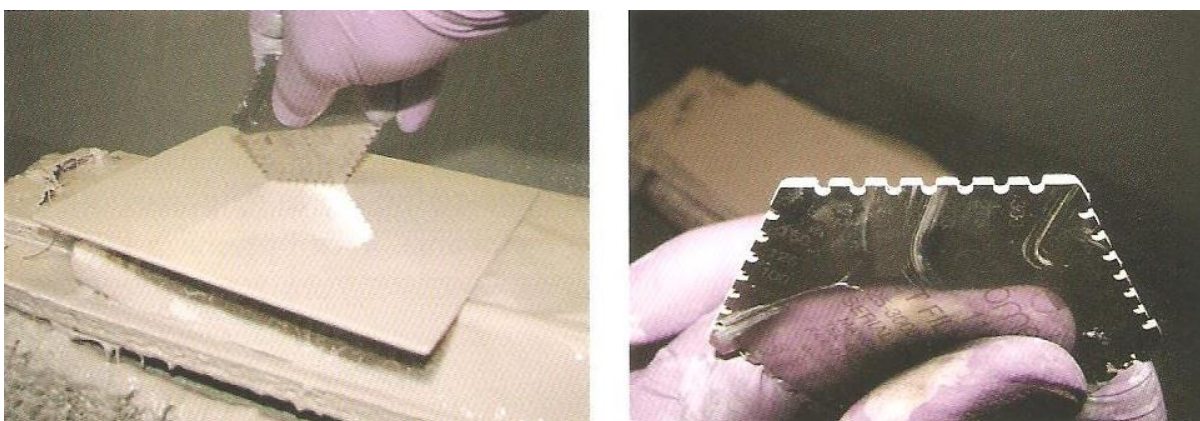
Debljina mokroga filma (DMF) premaza je debljina premaza neposredno nakon nanošenja na metalnu površinu. Potrebno ju je kontrolirati jer je ona preduvjet za postizanje minimalne debljine suhog filma. Odnos debljine suhog i mokrog filma premaza ovisi o količini otapala koje hlapi prilikom sušenja, točnije o volumenu suhe tvari (VS).

Debljinu mokrog filma moguće je izračunati prema izrazu:

$$DMF (\mu m) = \frac{DSF (\mu m) \cdot 100}{VS (\%)}$$

Kontrolom debljine mokroga filma premaza izvođač kontrolira svoju tehniku nanošenja. Tako npr. ako se mjerenjem utvrdi da je nanoseno previše mokrog filma boje, pristupa se promjeni tehnike rada tako da se smanji broj prolaza pri prskanju ili ubrza sam rad.

Za kontrolu DMF bje primjenjuje se instrument "češalj" koji po stranicama ima redove zubaca s rastućim razmacima od zamišljene površine. Sa zupca na kojem je vidljiv otisak boje nakon pritiska instrumenta u svjež premaz, očita se visina razmaka koja označuje debljinu mokrog filma boje (slika 22). [1.]



Slika 22 - Mjerenje debljine mokroga filma premaza (DMF) "češljem"

#### **7.4.2. Mjerenje debljine suhog filma premaza**

Za mjerenje debljine suhog filma premaza najčešće se koriste uređaji koji rade na principu magnetizma ili vrtložnih struja, a odabir uređaja ovisi o magnetičnosti podloge na koju je premaz nanesen. Te vrste mjerenja spadaju u nerazorne metode.

Magnetski uređaji za mjerenje debljine premaza rade na principu vlačnih sila između magneta i magnetične metalne podloge, koje su obrnuto proporcionalne s udaljenošću među njima.



## 8. EKSPERIMENTALNI DIO - PRIPREMA POVRŠINE, NANOŠENJE PREMAZA I KONTROLA IZVEDENIH RADOVA KOD IZRADE TRANSFORMATORSKOG KOTLA "EGIPAT 167/10" – KOMET D.O.O. PRELOG

### 8.1. Priprema površine

Profil površine ima velik utjecaj na kvalitetu površinske zaštite. Visina profila (mjereno od najniže udoline do najvišeg vrha) određuje parametre, kao što su prianjanje, pokrivenost i potrošnja zaštitnog premaza. Ako je profil površine prevelik, za zadovoljivu pokrivenost se troši više boje i javlja se opasnost da vrhovi ostanu nepokriveni, što će prouzročiti pojavu hrđe oko tih vrhova. Ako je profil premalen, to može biti jedan od uzroka za slabo prianjanje boje, što opet prouzroči ljuštenje, pucanje ili otpadanje prevlake. Odgovarajuća priprema površine osigurava optimalna svojstva površinske zaštite i optimizira potrošnju materijala. [5.]



Slika 23 - Komparator za određivanje profila površine

## 8.2. Priprema i čišćenje NOVIH pocinčanih površina prije nanošenja premaza

U prvom stadiju izvodi se visokotlačno pranje površine čistom vodom, ako je moguće u kombinaciji s deterdžentom ili industrijskim odmašćivačem. Za slučaj da je korišten industrijski odmašćivač ili deterdžent, površinom se prođe čistom vodom kako bi nestali tragovi čišćenja. Odmašćivanje površine se izvrši uz "pomoć" nekog sintetskog razrjeđivača, npr. benzina. Po površini predmeta počinje se "pranje" pijeskom (sweep blasting) ili "hrapavljenje" cijele površine brusnim papirom br. 80 – 100. te se sve lagano ispuše da nestanu tragovi. Nakon tog se nanosi temeljni sloj (temeljni premaz) po cijeloj površini. Prije nanošenja završnog sloja obavezno se moraju "flekati" sva kritična mjesta temeljnim premazom (varovi, vijčani spojevi, rubovi, teško dostupna mjesta), te se to isto radi i za međusloj. Na slikama 24 i 25 prikazano je flekanje u kojem zaposlenici firme Komet d.o.o. to isto vrše po svim gore navedenim / potrebnim mjestima.



Slika 24 - "Flekanje" u Komet d.o.o. Prelog



Slika 25 - "Flekanje"

Sam završni sloj, ali i međusloj, nanose se ovisno o zahtijevanom vijeku trajanja sustava zaštite. Nanošenje završnog sloja je uvijek na međuslojni premaz. Za sve radnje potrebno se pridržavati uputa iz Tehničkih informacija o proizvodima.

### **8.3. Priprema i čišćenje STARIH pocinčanih površina prije nanošenja premaza**

U prvom stadiju izvodi se pranje površine čistom vodom, po mogućnosti toplom, u kombinaciji s deterdžentom ili industrijskim odmašćivačem. Ako je korišten deterdžent ili industrijski odmašćivač ispiru se sve čistom vodom. Starenjem cink ispušta svoje soli na površinu koje uzrokuje lošu ili nikakvu prionjivost bilo kojeg premaza, pa se zato mora izvršiti pranje čistom vodom. Razrjeđivači ne otapaju soli. Isto tako, odmašćivanje se vrši uz neki sintetski razrjeđivač ali moguće je i benzinom. Korodirane površine se pjeskare ili mehanički očiste brusnim papirom, broj 80 do 100, do metalnog sjaja, te se prema potrebi izvede odprašivanje i odmašćivanje površine (prema normi HRN EN ISO 12944-4). Nakon što je očišćena površina, uz sve popratne radnje, nanosi se odgovarajući temeljni premaz (duž cijele površine). Prije nanošenja završnog sloja obavezno je flekati sva kritična mjesta temeljnim premazom (varovi, vijčani spojevi, rubovi, teško dostupna mjesta). Ako se nanosi



međusloj, također je potrebno izvršiti flekanje istim. Završni sloj se nanosi na međuslojni premaz. Uz sve to, potrebno se pridržavati uputa iz Tehničkih informacija o proizvodima.



Slika 26 - Nepripremljena i pripremljena površina



Slika 27 - Pripremljena površina - obrušeno

Bilo da se radi priprema novih ili stari površina, prije svakog nanošenja premaza površina mora biti čista, suha, bez masnoća i ostalih nečistoća.

#### **8.4. Mehanička obrada čelika i nanošenje premaza**

Mehanička obrada čelika odvija se sukladno HRN EN ISO 12944-3 (brušenje oštih rubova i odvojenog djela metala, zavarivanje, brušenje zavara – uklanjanje šljake i prskotina). Visokotlačnim pranjem čistom vodom, po mogućnosti u kombinaciji s deterdžentom ili industrijskim odmašćivačem nastoje se maknuti sve nečistoće s površine. Nakon tog slijedi ispiranje površine čistom vodom, te otklanjanje zaostalih masnoća nekim organskim razrjeđivačem (sintetski razrjeđivač). Prema standardu HRN EN ISO 8501-1 odvija se pjeskarenje ili sačmarenje površine do stupnja Sa 2½ ili mehanička priprema do St3. Hrapavost pjeskarene površine mora biti 40 – 50  $\mu\text{m}$  (slika 28).



Slika 28 - Pjeskarena površina čelika

Abraziv se usisava te se sve na grubo otpuhuje. Ako je potrebno, nastavlja se s detaljnom mehaničkom obradom površine – brušenje oštih rubova, raslojena metala, zavarivanje i brušenje zavara. Površina se cijela ispuše ponovno, te postaje spremna za nanošenje temeljnog premaza. Ručno se boje ("flekaju") varovi i teško dostupna mjesta. Na temeljni premaz dolazi gore međuslojni premaz. Po potrebi se brusnim papirom uklanjaju eventualne greške, te opet izvodi odprašivanje i odmaščivanje. Na međusloj dolazi temeljni premaz.

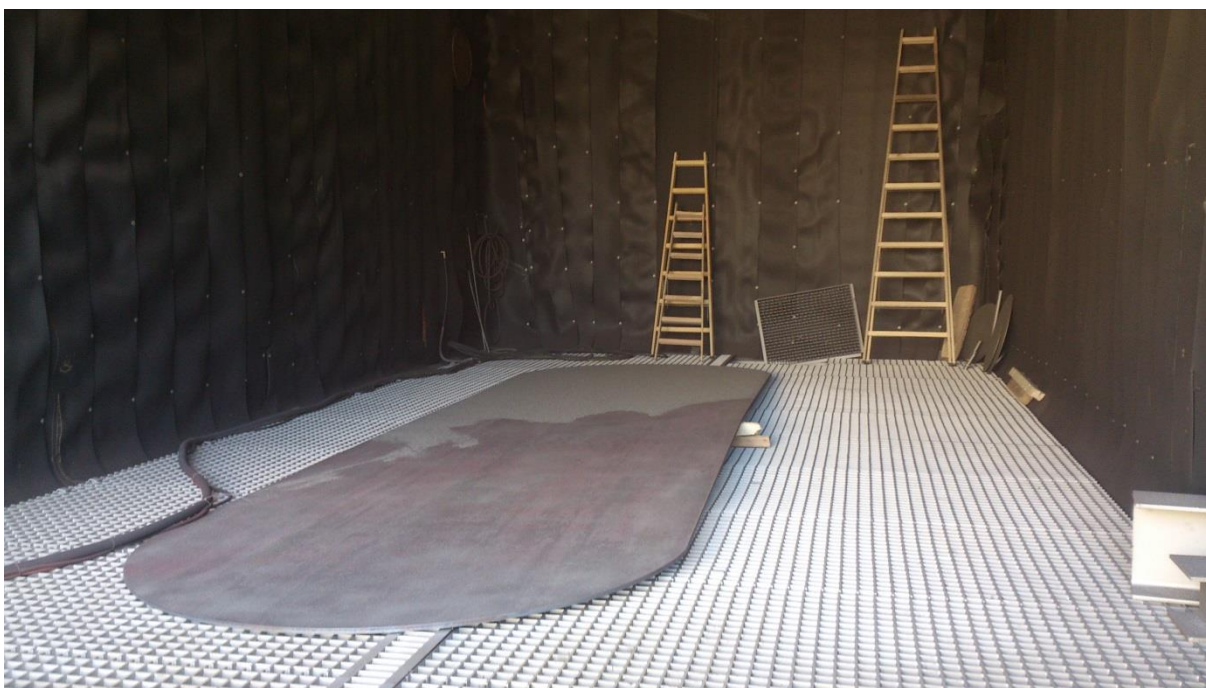
#### **8.5. Pjeskarenje ili sačmarenje po HRN EN ISO 8501-1 do stupnja ISO-SA 2½**

- Detaljno čišćenje površine mlazom abraziva - pijesak ili sačma pod pritiskom (slike 29 i 30)





Slika 29 - Pištolj i zaštitna maska za pjeskarenje



Slika 30 - Komora za pjeskarenje

- Površina mora biti potpuno očišćena od ulja, masnoća, okujine (*cunder*), korozije, premaza i ostalih nečistoća
- Površina mora imati jednoličan hrapav srebrnkast izgled

- Zaostala onečišćenja mogu biti na vrlo maloj površini samo u obliku malih točkastih "fleka"
- Nakon pjeskarenja površina se mora očistiti od zaostale prašine i krhotina



Slika 31 - Pjeskareni čelik do stupnja Sa 2½ prema HRN EN ISO 8501-1





Slika 32 - Sačmareni čelik do stupnja Sa 2½ prema HRN EN ISO 8501-1

### **8.6. Mehaničko čišćenje prema HRN EN ISO 8501-1 do stupnja čistoće ST3**

- Detaljno čišćenje površine izvodi se ručnim i strojnim alatima (struganje, brusni papir broj 80, brusni diskovi)
- Površina mora biti potpuno očišćena od ulja, masnoća, slabo prijanjajuće okujine (cunder), korozije, premaza i ostalih nečistoća
- Isto tako površina mora imati jednoličan hrapav metalni sjaj



Slika 33 - Početna neobrađena korozija čeličnog lima



Slika 34 - Mehanički očišćeni čelični lim do stupnja St3 prema HRN EN ISO 8501-1 (brusni papir br. 80)

### 8.7. Stari premazi

Pomoću testova utvrđuje se tip postojećeg premaza. Nakon tog se visokotlačnim pranjem površine čistom vodom, u kombinaciji s industrijskim odmaščivačem ili deterdžentom nastoje ukloniti nedostaci i počistiti površina. Površine se mora ispirati čistom vodom, te izvršiti odmaščivanje (ako je potrebno). Nakon sušenja izvodi se "pranje pijeskom" ili aktiviranje površine brusnim papirom (br. 80 – 120), te odprašivanje.



Slika 35 - Nebrušena / neaktivirana premazana površina





Slika 36 - Brušena / Aktivirana premazana površina (brusni papir br. 120)



Slika 37 - Razlika između brušene i nebrušene metalne površine

Aktiviranje same površine izvodi se "pranjem" pijeskom (*sweep blasting* – zrcima špičastog, nejednolikog oblika) sa mjestimičnim pjeskarenjem (*spot blasting* – sačma je u obliku kuglica). Na slici 38. prikazan je oblik zrnca za "pranje" pijeskom.



Slika 38 - Zrnca za "pranje" pijeskom (sweep blasting)



Slika 39 - Prostor za sakupljanje zrnaca te obradu za ponovno korištenje

## 8.8. Mješanje premaza / boje prije nanošenja

### 8.8.1. Jednokomponentni premazi

Boju je potrebno dobro promiješati strojnim alatom – "mixer" / miješalica. Na slici 40 prikazan je alat za miješanje.





Slika 40 - "Mixer" nakon upotrebe

Razrjeđivač se dodaje nakon miješanja boje, te je potrebno ponovno promiješati dok se ne postigne homogena smjesa. Ostatak boje se zatvara, pogotovo u toplijim vremenskim uvjetima, površinskog "koženja" zbog visokih temperatura (moguća pojava kod brzosušećih premaza). Kod naknadnog miješanja treba obratiti pozornost na nastalu pojavu te je ukloniti.

### 8.8.2. Dvokomponentni premazi

Prvo je potrebno dobro promiješati bazu (komponenta A – boja, pigmenti) strojnim alatom ("mixer" / miješalica). Nakon miješanja baze dodaje se odgovarajuća komponenta B. Druga komponenta kod premaza je "otvrđivač" – služi da se boja ne bi posušila i postala "gnjecasta". Miješanje se nastavlja dok se ne postigne homogena smjesa. Razrjeđivač se dodaje nakon miješanja komponenti A i B te se sve skupa promiješa. Miješa se onoliko boje koliko je potrebno za nanošenje. Kod nekih premaza nakon miješanja mora se pričekati određeno vrijeme prije nanošenja zbog reakcije komponenti, ali sve se može vidjeti u tehničkim informacijama proizvoda.



Slika 41 - Komponente A i B

Sva miješanja se moraju izvršiti strojnim alatom. Pretakanje iz kante u kantu ili korištenje pomoćnih alata (komadi drva, metalne šipke i slično) ne smatra se pravilnim miješanjem boje jer se u većini slučajeva sadržaj komponenti dobro ne

izhomogenizira (pogotovo kod gušćih i tiksotropnijih boja – boja prelazi u gušću želatinastu komponentu) pa mogu nastati problemi u sušenju i izgledu nijanse koja je bitna kod završnih premaza. Time se dovode u pitanje i sva ostala svojstva i kvaliteta nanesenog premaza.

Uz sve to potrebno je izmjeriti viskozitet boje prije i nakon dodatka razrjeđivača da bi se utvrdila optimalna viskoznost premaza za primjenu.

Na slici 42 prikazano je pravilno miješanje premaza.



Slika 42 - Pravilno miješanje premaza

### **8.9. Određivanje (mjerjenje) uvjeta prije nanošenja premaza**

Prije nanošenja svakog premaza potrebno je izmjeriti vanjske (okolišne) uvjete koji utječu na kvalitetu nanesenog premaza:

- Temperaturu zraka



- Temperaturu podloge (od 10 do +40 °C iznad točke rosišta – što se isčita iz tehničke dokumentacije premaza)
- Relativnu vlagu (ovisno o tipu premaza – maksimalno do 85%)
- Točku rosišta

### 8.10. Nanošenje premaza

Obavezno se mora koristiti odgovarajuća oprema (slika 44.) sa propisanim diznama. Neispravna oprema može uzrokovati probleme prilikom nanošenja – lošu atomizaciju, neujednačene debljine, curenje.



Slika 43 - Dio opreme za nanošenje premaza

Isto tako treba se pridržavati tehničkih uputa od proizvođača.

Zbog postizanja optimalnih debljina koristi se pomoćni instrument – "češalj" koji služi za mjerenje debljine mokrog filma (slika 44).



Slika 44 - Mjerač debljine mokrog filma – "češalj"

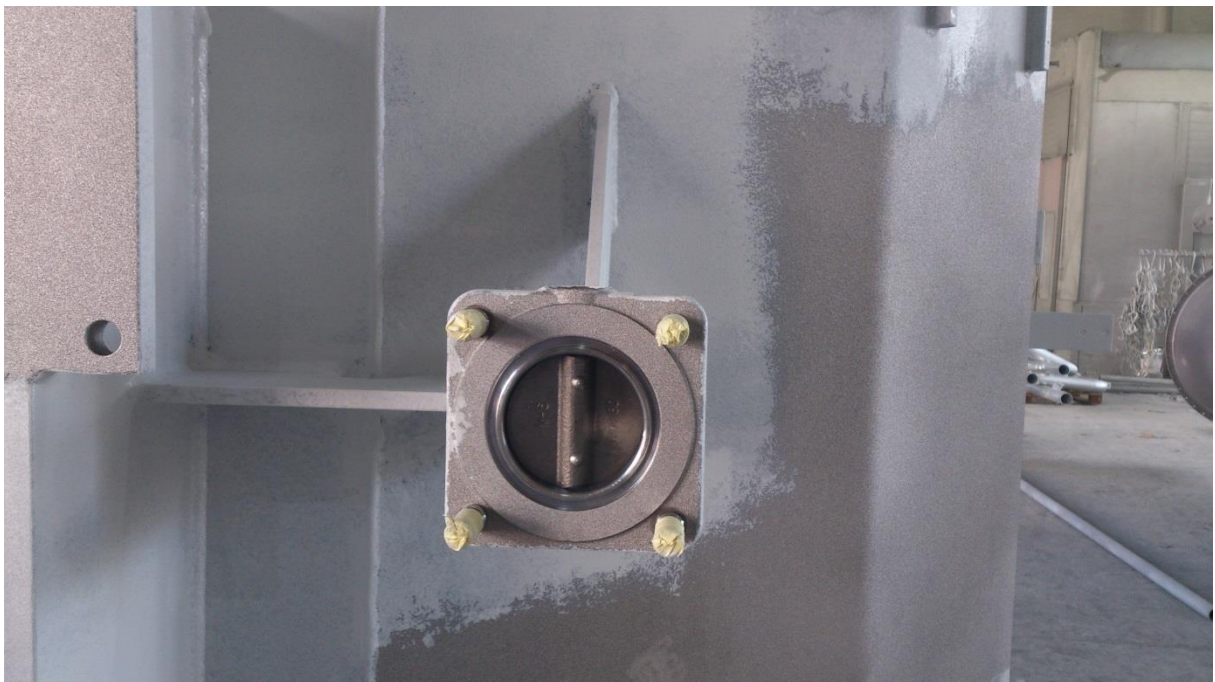
Potrebno se pridržavati međupremaznih intervala. U prosjeku to iznosi po 24h nakon nanošenja premaza za svaki sloj (temeljni sloj, međusloj i završni sloj), i zbog vanjskih utjecaja, i zbog sušenja, ali i zbog same pripreme premaza. Na slici 46. prikazana je "sušara" u kojoj se suši kotao, nakon obrade, približno 2h na 60 °C.





Slika 45 - "Sušara"

Na sljedećih nekoliko slika prikazano je nanošenje premaza, u različitim oblicima, po različitim dijelovima površina.



Slika 46 - "Flekanje" teško dostupnih mjesta – varovi



Slika 47 - "Flekanje" teško dostupnih mjesta – prorezi



Slika 48 - Nanošenje premaza – špricanje



### 8.11. Kontrola debljine suhog filma premaza i prionjivosti

Kontrola debljine suhog filma premaza vrši se prema HRN EN ISO 2808 (više premaza u sustavu).

Mjerni instrument: Elcometar 107 Cross Hatch Cutter – zarezivač koji omogućuje točnu ocjenu kvalitete prianjanja boje na podlozi. Može se koristiti za tanke, srednje i debele premaze, na svim površinama. Sječiva omogućuju provjeru prianjanja na svim prevlakama (1mm, 2mm, 3mm).



Slika 49 - Elcometar 107 - Zarezivač za provjeravanje prianjanja premaza

Kontrola prionjivosti vrši se prema HRN EN ISO 2409:

- 1 mm razmak noževa je za debljine do 60  $\mu\text{m}$  suhog filma
- 2 mm razmak noževa je za debljine od 61 do 120  $\mu\text{m}$  suhog filma
- 3 mm razmak noževa je za debljine od 121 do 250  $\mu\text{m}$  suhog filma



Slika 50 - Primjer loše prionjivosti

Vizualna ocjena nanesenog premaza:

- Površina mora biti bez nanosa nastalih procurivanjem
- Na površinama ne smiju postojati nebojani dijelovi
- Površina mora biti bez pojave mjehurića (kipljenja)
- Površina mora biti bez raspuklina filma
- Premazani film ne smije se ljuštiti ili guliti od podloge (ili od prethodnog premaza)

## **9. ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA TRANSFORMATORSKOG KOTLA "EGIPAT 167/10" (PROIZVEDENO I PREKONTROLIRANO U KOMET D.O.O. PRELOG)**

### **9.1. Područje primjene**

Ove smjernice primjenjuju se za zaštitu od korozije unutarnjih i vanjskih površina transformatorskog kotla i opreme. Uključuje pripremu površine, premaze kao i postupak odgovarajuće antikorozivne zaštite skladno klimatskom mjestu ugradnje i prirodnom okolišu, intenzitetu utjecaja štetnih tvari te trajanju zaštite.

Ovaj sustav zaštite premazom zadovoljava visoku trajnost antikorozivne zaštite (H) – dužu od 15 godina za C4 stupanj korozivnosti u skladu s normom EN ISO 12944-5.

### **9.2. Priprema površine**

Metalne površine na koje se nanose premazi moraju biti pripremljene u skladu s sljedećim zahtjevima:

- Nepravilnosti, oštri rubovi i tvrdi površinski slojevi (npr. oni koji su nastali rezanjem) moraju biti uklonjeni brušenjem prije konačnog čišćenja
- Sve površine koje će se bojati moraju biti mehanički očišćene (pjeskarene ili sačmarene) te moraju ispuniti zahtjeve u skladu s normom ISO 8501-1 – Stupanj čistoće Sa 2½

Zahtjevi za pripremu kvalitete zavara, rubova i ostalih površina s nepravilnostima mora biti u skladu s normom ISO 8501-3:

- Priprema kvalitete zavara, rubova, kutova i ostalih površina s nepravilnostima mora biti minimalno P2, posebice za prskanje površine uslijed zavarivanja, zareza i završnih kratera.

Prije bojanja sve površine moraju biti očišćene od masnoća, ulja, soli, prašine i drugih nečistoća.

Prije postupaka bojanja izvršit će se testovi za procjenu čistoće površine:

- Prašina, sačma i abraziv moraju biti uklonjeni s površine tako da količina i veličina čestica ne prelazi stopu 2 u skladu s normom ISO 8502-3

Svojstva hrapavosti čelične površine očišćene mlazom abraziva moraju biti:

- Minimalni profil abrazivno očišćene površine mora biti profil G, prosječno ili jednako od 50 do 85  $\mu\text{m}$ , u skladu s normom ISO 8503-2
- *Sweep blasting* za nehrđajući čelik je od 25 do 45  $\mu\text{m}$

Tamo gdje nije moguće mehaničko čišćenje, površine moraju biti pripremljene odmaščivanjem pomoću otapala ili lužina.

### 9.3. Aplikacija sustava

Metoda nanošenja premaza mora se izvoditi u skladu s proizvođačevim preporukama, posebno za svaki sloj koji se aplicira.

Svaki sloj mora biti ravnomjerno nanošen preko površine. Treba izbjegavati staze, prekide, kaplje i nabore. Svaki sloj mora biti bez rupica, mjehurića i bubrenja. Treba izbjegavati onečišćenja obojenih površina između slojeva, a svako (eventualno) onečišćenje potrebno je ukloniti.

Apliciranje sustava premaza ne smije se izvoditi ukoliko je relativna vlažnost zraka veća od 85% ili ukoliko je temperatura površine čelika manje od 3 °C iznad točke rosišta.

### 9.4. Sustav premaza

Ukupna debljina suhog sloja:

- ✓  $\geq 240 \mu\text{m}$

Proizvođač:

- ✓ CHING – ERLAGEN, NJEMAČKA

#### Temeljni sloj:

<b>Naziv proizvoda:</b>	CHING – EP – EMD 156 + M 026 otvrđivač
<b>Osnova:</b>	Dvokomponentna epoksidna smola, otvrđivač



<b>Pigmenti:</b>	Cink fostat, pigmenti i punila
<b>Otapala:</b>	EM 01 (aromati i alkoholi)
<b>Debljina sloja:</b>	≥ 80 μm
<b>Broj slojeva:</b>	1
<b>Boja:</b>	Siva

**Međusloj:**

<b>Naziv proizvoda:</b>	CHING – EP – EMD 30 sivo TR + M 037 otvrđivač
<b>Osnova:</b>	Dvokomponentna epoksidna smola, otvrđivač
<b>Pigmenti:</b>	Lističavi željezni oksid i pigmenti boje
<b>Otapala:</b>	EM 01 (aromatski ugljikovodici, alkoholi i esteri)
<b>Debljina sloja:</b>	≥ 80 μm
<b>Broj slojeva:</b>	1
<b>Boja:</b>	Siva

**Završni sloj:**

<b>Naziv proizvoda:</b>	CHING – PUR – ADD 43 + D 103 otvrđivač
<b>Osnova:</b>	Poliuretan (akrilat), izocijanatni otvrđivač
<b>Pigmenti:</b>	Lističavi željezni oksid i pigmenti boje
<b>Otapala:</b>	DD 01 (aromati i alkoholi)
<b>Debljina sloja:</b>	≥ 80 μm

<b>Broj slojeva:</b>	1
<b>Boja:</b>	RAL 7033

### 9.5. Kriterij kvalitete, zapisi i izvješća

Sve zahtjevane rezultate mjerenja potrebno je zapisati, i ti zapisi moraju osigurati sljedivost sa pridruženim dijelovima. Osobe koje izvode radove vode i održavaju dnevnik rada.

Sljedeći podaci moraju biti zabilježeni tijekom rada:

- Čistoća površine prije nanošenja boje
- Uvjeti okoline – mjerenja je potrebno provoditi prije rada i dva puta tokom dana
- Debljina filma – mjerenje debljine suhog filma provodi se u skladu s normom ISO 19840. Izvješće mora sadržavati sljedeće podatke: minimalna izmjerena debljina, maksimalna izmjerena debljina, broj mjerenja. Na slikama 51 i 52 prikazan je uređaj s kojim se vršilo mjerenje debljine suhog filma – Elcometer 456



Slika 51 - Elcometer 456 – Digitalni mjerač debljine suhog filma



Slika 52 - Elcometer 456

- Aritmetička sredina svih pojedinačnih debljina suhog filma mora biti jednaka ili veća od nominalne debljine suhog filma (NDFT = *Nominal Dry Film Thickness*). Maksimalna debljina sloja ne smije prelaziti dvostruku nominalnu debljinu sloja. Minimalna debljina suhog filma određuje se prema pravilu "80:20", osim ako po specifikacijama nije drugačije definirano. Pravilo "80:20" znači da ne smije biti više od 20% od ukupnog broja mjerenja ispod specificirane debljine suhog filma, te nijedno mjerenje ne smije biti ispod 80% od zadane debljine suhog filma.

Ako izmjerena debljina boje odstupa od kriterija prihvatljivosti područje mora biti obilježeno trakom, a nakon popravka boje i sušenja debljina će biti ponovno mjerena.

- Nijanse boje i izgled: - Izgled premaza mora biti bez oštećenja, bora, varijacija svjetline, mjehurića, pukotina, prskotina. Boja i izgled moraju biti u skladu s definiranim normama. Potrebno je napraviti vizualni pregled svakog sloja. Ukoliko je uočeno jedno od gore spomenutih oštećenja, potrebno je izvršiti popravak i ponoviti pregled popravljenog mjesta.



Slika 53 - Prikaz transformatorskog kotla (spremnog za dostavu) nakon i prije obrade



## 10. ZAKLJUČAK

Zaštita metalnih površina prevlakama jedan je od najraširenijih postupaka u tehnici. Čak  $\frac{3}{4}$  ukupnih metalnih površina zaštićeno je organskim prevlakama i za veliku većinu površina to je nezamjenjiv način zaštite.

Kod odabira antikorozivne zaštite samih transformatorskih kotlova najveći utjecaj imaju sami kupci i oni postavljaju uvjete u vidu boje, trajnosti, mjestom upotrebe i okolinom u kojoj će se kotao koristiti. Naravno, ključan faktor u svemu tome je ljudski rad i pažnja koja se pridaje kod svih metoda višefaznih premaza, ali i same izrade gotovog proizvoda. U početku do izražaja dolazi samo vanjski dio jer unutarnji faktori nisu vidljivi.

Naravno, za sve to, ako se ne napravi kvalitetna priprema površine, ni najskuplji i najkvalitetniji sustavi premaza neće postići očekivane rezultate zaštite. Nanese li se premaz na vlažnu konstrukciju, sloj vode zadržat će se između premaza i površine metala, odnosno uzastopnih slojeva premaza, i izazvati ljuštenje premaza. Pravilo je da se boja nanosi pri relativnoj vlažnosti manjoj od 85% i temperaturi podloge minimalno 3 °C iznad točke rosišta.

Uspješnu te dovoljno trajnu i pouzdanu površinsku zaštitu moguće je ostvariti jedino na temelju rezultata raznovrsnih ispitivanja koja moraju pratiti zaštitne postupke i mjere u svim fazama njihove realizacije, tj. od projektiranja preko izvođenja zaštite do održavanja zaštićenog objekta.

U Varaždinu,

Listopad 2016. godine

UNIVERSITÄT  
SIEVER

Sveučilište  
Sjever



SVEUČILIŠTE  
SIEVER

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, EDUARD OVČAR (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom ZAŠTITA STROJARSKIH KONSTRUKCIJA OD KOROZIJSKIH PROCESA NA PRIMJERU TRANSFORMATORSKOG KOTLA "EGIPAT 167/10" (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(*upisati ime i prezime*)

*E. Ovčar*

(vlastoručni potpis)

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

Ja, EDUARD OVČAR (*ime i prezime*) neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom ZAŠTITA STROJARSKIH KONSTRUKCIJA OD KOROZIJSKIH PROCESA NA PRIMJERU TRANSFORMATORSKOG KOTLA "EGIPAT 167/10" (*upisati naslov*) čiji sam autor

Student/ica:  
(*upisati ime i prezime*)

*E. Ovčar*

(vlastoručni potpis)


## 11. LITERATURA


- [1] Ivan Juraga, Vesna Alar, Ivan Stojanović: "Korozija i zaštita premazima", Denona d.o.o., Zagreb, 2014.
- [2] Ivan Esih, Zvonimir Dugi: "Tehnologija zaštite od korozije I", Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [3] Ivan Esih, Zvonimir Dugi: "Tehnologija zaštite od korozije I", Sveučilišna tiskara d.o.o., Zagreb, 1992.
- [4] Ivan Esih: "Osnove površinske zaštite", Denona d.o.o., Zagreb, 2007.
- [5] [http://pjeskarenje.hr/proizvodi/mjerni\\_instrumenti\\_elcometer/](http://pjeskarenje.hr/proizvodi/mjerni_instrumenti_elcometer/) - 15.09.2016.
- [6] [www.pfst.unist.hr/uploads/KZMpredavanje\\_3.ppt](http://www.pfst.unist.hr/uploads/KZMpredavanje_3.ppt) - 17.09.2016.

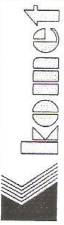


## **12. PRILOG**

- [1] Kontrolni list antikorozivne zaštite metala – za kotao Egipat 167/10

 <b>Kupac / Customer</b> <b>Transformers</b> <b>ZAGREB</b>		<b>KONTRolni LIST ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE METALA</b> <b>CHECK LIST CORROSION PROTECTION</b>		Broj / Number : <b>KP-AKZ.</b>		List / Page 1 od 3	
Naziv proizvoda / Product Broj crteža / Drawing No.		Tvornički broj / Fabrication No. : <b>030N150525.10</b>		Ugovor broj/Order No. : 9550229650			
Unutrašnje površine / Internal surfaces Datum / Date		Vanjske površine / External surfaces Datum / Date		Završetak / Ending Datum / Date		Radni nalog / Working no. : 56100	
Sačmarenje Shot blasting		Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Završetak / Ending Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Nesukladnost / Incompliance	
Stupanj sačmarjenja Shot blasting grade		Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Završetak / Ending Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Nesukladnost / Incompliance	
Otkisavanje Galvanizing		Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Završetak / Ending Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Nesukladnost / Incompliance	
Vruće cinkanje Hot galvanizing		Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Završetak / Ending Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Nesukladnost / Incompliance	
Debljina cinka – min. Zinc thickness-min.		Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Završetak / Ending Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Nesukladnost / Incompliance	
Debljina cinka – prosječno / Zinc thickness- on an average		Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Završetak / Ending Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Nesukladnost / Incompliance	
Cinkanje Paint spraying		Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Završetak / Ending Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Nesukladnost / Incompliance	
Debljina cinka – min. Zinc thickness- on an average		Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Završetak / Ending Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Nesukladnost / Incompliance	
Debljina cinka – prosječno / Zinc thickness- on an average		Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Završetak / Ending Datum / Date 19.9.2016 Sačmarenje sa 2 1/2		Nesukladnost / Incompliance	
Ime i prezime / Name and surname Eduard Ovcar Petar Posavec		Datum / Date 22.9.2016 22.9.2016		Datum / Date 22.9.2016 22.9.2016		Potpis / Sig. / Signature of the responsible person	
Izradio / Operator :		Datum / Date 22.9.2016		Datum / Date 22.9.2016		Potpis / Sig. / Signature of the responsible person	
Odobrio / Approve :		Datum / Date 22.9.2016		Datum / Date 22.9.2016		Potpis / Sig. / Signature of the responsible person	

		<b>KONTROLNI LIST ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE METALA</b> <b>CHECK LIST CORROSION PROTECTION</b>				Broj / Number : <b>KP.AKZ.</b>		List / Page 2 od 3	
		Naziv proizvoda / Product : <b>Egipat 167/10</b>		Tvornički broj / Fabrication No : <b>030N150525.10</b>		Ugovor broj / Order No : <b>9550229650</b>		Radni nalog / Working no : <b>56100</b>	
Kupac / Customer <b>KONČAR –Power Transformers ZAGREB</b>		Broj crteža / Drawing No :		Unutrašnje površine / Internal surfaces		Vanjske površine / External surfaces		Nesudbinost / Incompatibility	
Boja / Color	1. temeljni stoj / 1.basic coat	2. temeljni stoj / 2.basic coat	Završna boja / last coat	1. pokriveni sloj / 1.cover coat	2. pokriveni sloj / 2.cover coat	Završna boja / last coat			
Proizvođač boje / Manufacturer	CHING					CHING			
Naziv-oznaka boje / Name-mark of color	EMD 182 K-09 grund besch EP + Harter R028			EMD 156 Grau grund besch EP + Harter MQ26		EMD 30 grau TR+Harter EM037	PUR.ADD 43 +HARTER D103		
Naziv-oznaka razrjeđivača / Name-mark of diluent	EM 01			EM 01		EM 01	DD 01		
Bojanje / Painting	9010						7033		
Početak / Start	19.9.2016			19.9.2016		20.9.2016	21.9.2016		
Kraj / End									
Nacin nanošenja / Way of infliction	Polijevanje / Asperion	Polijevanje / Asperion	Polijevanje / Asperion	Polijevanje / Asperion	Polijevanje / Asperion	Polijevanje / Asperion	Polijevanje / Asperion	Polijevanje / Asperion	Polijevanje / Asperion
	Uranjanje / Dip	Uranjanje / Dip	Uranjanje / Dip	Uranjanje / Dip	Uranjanje / Dip	Uranjanje / Dip	Uranjanje / Dip	Uranjanje / Dip	Uranjanje / Dip
	Spricanje / Sprinkle	Spricanje / Sprinkle	Spricanje / Sprinkle	Spricanje / Sprinkle	Spricanje / Sprinkle	Spricanje / Sprinkle	Spricanje / Sprinkle	Spricanje / Sprinkle	Spricanje / Sprinkle
	Četka / valjak / Brush/roller	Četka / valjak / Brush/roller	Četka / valjak / Brush/roller	Četka / valjak / Brush/roller	Četka / valjak / Brush/roller	Četka / valjak / Brush/roller	Četka / valjak / Brush/roller	Četka / valjak / Brush/roller	Četka / valjak / Brush/roller
Temperatura okoline / Environment temperature	21°C			21°C		21°C	22°C		
Relativna vlažnost / Air humidity	66%			66%		66%	66%		
Viskozitet / Viscosity	22			22		22	22		
Ime i prezime / Name and surname		Datum / Date		Datum / Date		Datum / Date		Datum / Date	
Izradio / Operator :		22.9.2016		22.9.2016		22.9.2016		22.9.2016	
Odobrio / Approve :		Eduard Ovčar		Petar Posavec		Potpis i žig / Signature of the responsible person			

		KONTROLNI LIST ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE METALA										List / Page	
		CHECK LIST CORROSION PROTECTION										3 od 3	
Kupac / Customer <b>KONČAR –Power Transformers ZAGREB</b>		Naziv proizvoda / Product : Ekipat 167/10		Tvornički broj / Fabrication No : 030N150525.10		Broj crteža / Drawing No :		Ugovor broj / Order No : 9550229650		Broj / Number : <b>KP.AKZ.</b>		Radni nalog / Working no : 56100	
Sušenje / Wipe		Na zraku Outdoors U peći Into a heater		Na zraku Outdoors U peći Into a heater		Na zraku Outdoors U peći Into a heater		Na zraku Outdoors U peći Into a heater		Na zraku Outdoors U peći Into a heater		U peći Into a heater	
Početak / Start		Datum / Date		Datum / Date		Datum / Date		Datum / Date		Datum / Date		Datum / Date	
Kraj / End		19.9.2016		19.9.2016		20.9.2016		20.9.2016		21.9.2016		21.9.2016	
Temperatura Temperature		21°C		21°C		21°C		21°C		21°C		22°C	
Vlažnost Humidity		66%		66%		64%		64%		64%		64%	
Debljina filma Film thickness		45±162µm		82±126µm		161±321µm		161±321µm		161±321µm		161±321µm	
Prionjivost Adhesiveness													
Ukupna debljina filma / Total film thickness		(40µm)		(240µm)									
Prionjivost Adhesiveness													
Izradio / Operator :		Eduard Ovčar		Eduard Ovčar		Eduard Ovčar		Eduard Ovčar		Eduard Ovčar		Eduard Ovčar	
Odobrio / Approve :		Petar Posavec		Petar Posavec		Petar Posavec		Petar Posavec		Petar Posavec		Petar Posavec	
Ime i prezime / Name and surname		Datum / Date		Datum / Date		Datum / Date		Datum / Date		Datum / Date		Datum / Date	
Potpis i žig / Signature of the responsible person		22.9.2016		22.9.2016		22.9.2016		22.9.2016		22.9.2016		22.9.2016	