

# Premazi za zaštitu energetskih transformatora

---

**Radiković, Niki**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:511657>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-07**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Niki Radiković**

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Ivan Stojanović, dipl. ing

Student:

Niki Radiković

Zagreb, 2018

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Ivanu Stojanoviću na strpljenju, razumijevanju i svim korisnim savjetima prilikom odabira teme i pisanja završnog rada.

Također, zahvaljujem se gospođi Heleni Šimunković iz tvrtke Midi d.o.o. na svim potrebnim informacijama i materijalima koji su mi pomogli u izradi ovog rada.

Posebnu zahvalu dugujem svojim roditeljima na strpljenju i potpori koju su mi pružili tijekom svih godina mog školovanja.

Niki Radiković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Niki Radiković**

Mat. br.: 0035197469

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Premazi za zaštitu energetskih transformatora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Protective coatings for power transformers**

Opis zadatka:

Organski premazi su najčešća metoda zaštite od korozije metalnih konstrukcija koje su izložene atmosferskom utjecaju.

U radu je potrebno obraditi zaštitu od korozije premazima, prikazati njihova svojstva, vrste i područje primjene. Potrebno je detaljnije izučiti i prikazati zaštitu premazima energetskih transformatora. U jednoj od hrvatskih tvrtki snimiti i u radu prikazati tehnologiju zaštite dijelova energetskih transformatora.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je na pločice od niskougličnog konstrukcijskog čelika nanijeti premaze za zaštitu vanjskih dijelova kotla energetskog transformatora. Nakon sušenja, u slanoj i vlažnoj komori potrebno je ispitati zaštitna svojstva odabranog sustava premaza. Dati ocjenu učinkovitosti zaštite. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2017.

Rok predaje rada:

1. rok: 23. veljače 2018.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.

3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.


2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.

3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

  
Doc. dr. sc. Ivan Stojanović

Predsjednik Povjerenstva:

  
Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1 Općenito o koroziji.....	2
1.2. Ekonomski značaj korozije .....	3
2. VRSTE KOROZIJE .....	5
2.1. Vrste korozije prema mehanizmu procesa .....	5
2.1.1. Kemijska korozija .....	5
2.1.2. Elektrokemijska korozija.....	6
2.2. Vrste korozije prema geometrijskom obliku razaranja .....	7
2.2.1. Opća korozija.....	7
2.2.2. Lokalna korozija .....	8
3. METODE ZAŠTITE METALA OD KOROZIJE.....	9
3.1. Konstrukcijsko tehnološke mjere .....	9
3.2. Primjena korozijski postojanih materijala .....	11
3.3. Elektrokemijska zaštita .....	11
3.4. Zaštita inhibitorima korozije .....	12
3.5. Zaštita prevlačenjem .....	12
4. PREMAZI .....	13
4.1. Komponente premaza .....	13
4.1.1. Veziva.....	13
4.1.2. Otapala.....	14
4.1.3. Pigmenti.....	14
4.1.4. Punila.....	15
4.1.5. Aditivi.....	15
4.2. Klasifikacija premaza.....	16
5. PRIPREMA POVRŠINE .....	17
5.1. Odmašćivanje .....	17
5.2. Mehanička predobrada.....	18
5.2.1. Ručno mehaničko čišćenje .....	18
5.2.2. Strojno mehaničko čišćenje .....	18
5.2.3. Čišćenje mlazom abraziva .....	19
6. ODABIR SUSTAVA PREMAZA .....	20
6.1. Korozivnost okoliša .....	21
6.2. Sustav premaza .....	23
7. ZAŠTITA ENERGETSKIH KOTLOVA PREMAZIMA .....	24
7.1. Odabir sustava premaza .....	24
7.2. Preporuka proizvođača premaza .....	25
7.3. Priprema površine .....	26
7.4. Nanošenje premaza .....	27
8. EKSPERIMENTALNI DIO.....	29
8.1. Uvod.....	29

---

8.2. Plan ispitivanja .....	30
8.3. Ispitivanje hrapavosti površine .....	32
8.4. Mjerenje debljine premaza .....	33
8.5. Prionjivost premaza .....	34
8.6. Ispitivanje prionjivosti premaza vlačnom metodom.....	38
8.7. Ispitivanje u vlažnoj komori.....	40
8.8. Ispitivanje u slanoj komori.....	42
8.9. Ispitivanje sjaja površine premaza .....	44
9. ZAKLJUČAK .....	46
LITERATURA.....	47
PRILOZI .....	48

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Transformator prije puštanja u pogon	1
Slika 2.	Direktni troškovi korozije [6]	4
Slika 3.	Elektrokemijska korozija u kiseloj otopini [6]	6
Slika 4.	Primjer rupičaste korozije [7]	8
Slika 5.	Primjeri oblikovanja i montaže konstrukcije na pojavu korozije [5]	10
Slika 6.	Vijčani spoj različitih metala s izolacijskim umecima [5]	10
Slika 7.	Podjela prema ulozi u premaznom sustavu [11]	16
Slika 8.	Transformator u eksploataciji [12]	20
Slika 9.	Sustav premaza debljine najčešće od 360 do 600 $\mu\text{m}$ [5]	23
Slika 10.	Kućište transformatora nakon pjeskarenja Midi d.o.o.	26
Slika 11.	Čišćenje površina kućišta stlačenim zrakom	27
Slika 12.	Nanešeni premaz na teško dostupna mjesta prije prskanja	27
Slika 13.	Nanošenje završnog premaza zračnim prskanjem	28
Slika 14.	Kućišta energetskih transformatora nakon nanošenja premaza	28
Slika 15.	Nanošenje završnog premaza na uzorke	30
Slika 16.	Uzorci pripremljeni za ispitivanje	31
Slika 17.	Postupak mjerenja hrapavosti na uzorku 11	32
Slika 18.	Mjerenje debljine suhog filma	33
Slika 19.	Prikaz postupka ispitivanja Cross-cut testom	34
Slika 20.	Ispitivanje vlačne čvrstoće premaza Pull-off testom	38
Slika 21.	Rezultati mjerenja nakon vađenja uzoraka iz slane komore	39
Slika 22.	Uzorci u vlažnoj komori tipa Humidity cabinet model AB6	40
Slika 23.	Uzorci prije vlažne komore	41
Slika 24.	Uzorci nakon ispitivanja u vlažnoj komori	41
Slika 25.	Ispitivanje u slanoj komori	42
Slika 26.	Uzorci prije stavljanja u slanu komoru	43
Slika 27.	Uzorci nakon 480 h u slanoj komori	43
Slika 28.	Mjerenje sjaja površine premaza	44



## POPIS TABLICA

Tablica 1.	Stupnjevi pripreme površine metodom abrazivnog čišćenja	19
Tablica 2.	Kategorije korozivnosti prema standardu ISO 12944 [13]	22
Tablica 3.	Vremenski okviri pri kategoriziranju trajnosti [13]	22
Tablica 4.	Sustavi premaza za niskougljični čelik za korozivnost okoliša C2-C5 [5]	23
Tablica 5.	Zahtjevi za sustav zaštite koje propisuje naručitelj Siemens AG	24
Tablica 6.	Odabrani premazi	24
Tablica 7.	Preporuka proizvođača za sustav premaza	25
Tablica 8.	Sastav odabranih premaza	29
Tablica 9.	Raspored uzoraka za ispitivanje	31
Tablica 10.	Rezultati mjerenja hrapavosti	32
Tablica 11.	Rezultati mjerenja DSF	33
Tablica 12.	Ocjenjivanje prionjivosti premaza prema ISO 2409 [15]	35
Tablica 13.	Rezultati ispitivanja grupe uzoraka od 1-10	36
Tablica 14.	Rezultati ispitivanja grupe uzoraka od 10-20	37
Tablica 15.	Rezultati ispitivanja prionjivosti metodom vlačne čvrstoće	39
Tablica 16.	Izmjerene vrijednosti sjaja - mjerna jedinica GU	45

## **SAŽETAK**

Završni rad sastoji se od teorijskog i eksperimentalnog dijela.

U uvodu teorijskog dijela rada nabrojene su i analizirane vrste korozije i ekonomski značaj korozije, te podjele korozije prema različitim kriterijima, također su prikazane različite metode zaštite metala od korozije. Opisani su premazi, njihove komponente, klasifikacija te priprema površine za njihovo nanošenje. U zasebnom poglavlju govori se o specifičnostima odabira sustava premaza za energetske transformatore. Prikazan je i postupak nanošenja premaza u praksi. Eksperimentalni dio sastoji se od mjerenja debljine prevlake, sjaja prevlake, hrapavosti površine te ispitivanje prionjivosti premaza nakon izlaganja različitim uvjetima. Provedeno je i ispitivanje postojanosti uzoraka na koroziju u slanoj i vlažnoj atmosferi.

Ključne riječi: zaštita od korozije, premazi, energetski transformatori, korozija

## **SUMMARY**

My final project consists of the theoretical and the experimental part. In the introduction of the theoretical part are analyzed the types of corrosion according to different criteria, and various methods of corrosion protection are also presented. Coatings, their components, classification and surface preparation for their application are described. A separate chapter deals with the specificities of the system selection for the energy transformers. The coating application procedure is presented in practice. The experimental part consists of measurement of coating thickness, gloss coating, surface roughness and coating adhesion test after exposure to different conditions. The test of the stability of corrosion samples in salty atmosphere and humid atmosphere was carried out.

Key words: corrosion protection, coatings, energy transformers, corrosion

## 1. UVOD

U današnjem elektrificiranom svijetu, energetske transformatori imaju vrlo važnu ulogu u prijenosu električne energije od izvora to jest elektrana do krajnjih potrošača. Zbog padova napona na dugačkim električnim vodovima, potrebni su transformatori na elektranama koji podižu napon te isto tako na mjestima potrošnje odnosno naseljima u kojima se napon transformira na gradsku mrežu. Ovakav način transporta energije, prakticira se u svim energetske postrojenjima u svijetu, u svim klimatskim područjima. U većini slučajeva smješteni su na otvorenim prostorima te izloženi atmosferskim uvjetima. Kao takvo kućište transformatora najviše podliježe općoj koroziji. Zbog mehaničkih i ekonomskih zahtjeva, kućište se izrađuje od općih konstrukcijskih čelika, koji nezaštićeni i u atmosferskim uvjetima nisu otporni na opću koroziju, stoga se pristupa zaštiti u obliku nanošenja premaza. Zaštita pomoću premaza, za ovakve vrste konstrukcija, najprikladniji je način, u pogledu same jednostavnosti izvedbe kao i zadovoljavajuće dugotrajnosti zaštite. Na slici 1. vidi se primjer transformatora u eksploataciji.



**Slika 1. Transformator prije puštanja u pogon**

## 1.1 Općenito o koroziji

Koroziju se definira kao nepoželjno ili nenamjerno trošenje materijala zato što je korozija spontan proces koji je posljedica težnje povratka metala u spojeve u kojima se nalazi u prirodi (rude i minerali). Da bi se rude ili prirodni spojevi preradili u metal, moraju se podvrgnuti metalurškim procesima koji zahtijevaju unos energije. Pri tomu je metalno stanje ono koje sadržava visoku energiju. Prirodna težnja metala je da reagiraju s drugim tvarima i oslobađanjem energije prelaze u stanja niže energije. To smanjivanje slobodne energije je pokretačka sila procesa korozije [1].

Razaranje metala koje nastaje pri kemijskim i elektrokemijskom djelovanju u vanjskom okruženju sa metalima, najviše je proučavano. Osnovna karakteristika korozije metala je da počinje na površini metala odakle se brže ili sporije širi u dubinu metala pri čemu dolazi do promjene sastava metala i njegovih svojstava. U procesu korozije metal se potpuno ili nepotpuno rastvara ili se pak na površini metala stvara opna od produkata korozije; u izvjesnim slučajevima se uslijed korozije razlaže legura na svoje komponente ili se pak mijenjaju fizičko-mehanička svojstva metala i legura [2].

U današnje je vrijeme potrebno posvetiti puno više pažnje koroziji metala nego ranije zbog [1]:

- povećane upotrebe metala u svim područjima tehnologije
- upotrebe metalnih konstrukcija sve tanjih dimenzija koje ne toleriraju korozijske napade zbog intenziteta kao teške, nekad upotrebljavane konstrukcije
- upotrebe metala za specijalnu primjenu (npr. u području atomske energije) ili upotrebe rijetkih i skupih metala čija zaštita zahtijeva posebne mjere opreza
- pojačane korozivnosti okoline uslijed povećanog zagađenja vode, zraka i tla.

Najzastupljeniji metalni konstrukcijski materijal je čelik. Čelične su konstrukcije izložene tijekom eksploatacije različitim korozijskim sredinama kao: atmosferi, morskoj i slatkoj vodi, industrijskim vodama, raznim kemikalijama, plinovima i dr [1].

## 1.2. Ekonomski značaj korozije

Korozija smanjuje masu i upotrebnu vrijednost materijala u obliku sirovine, poluproizvoda i proizvoda. Ona skraćuje vijek trajanja industrijske i druge opreme te različitih proizvoda, poskupljuje održavanje, uzrokuje zastoje u radu havarije i nesreće, smanjuje proizvodne kapacitete korodirane i s njom povezane opreme, pogoršava kvalitetu proizvoda. Zbog svega toga u pojedinom poduzeću, privrednoj grani ili u privredi nastaju golemi gubici. Oni mogu biti izravni, izazvani većim troškovima zbog ranije zamjene korodirane opreme te zbog održavanja i provođenja zaštite, ili neizravni, povezani sa smanjenjem vrijednosti proizvodnje, a time i s manjim prihodima. Zbog korozije moraju se iz tehničkih razloga rashodovati mnogo veće količine materijala od korodiranih, i to redovito u obliku gotovih konstrukcija. Za izradu tih konstrukcija bilo je potrošeno mnogo energije i radnog vremena pa je jasno da su već izravni gubici od korozije kudikamo veći od cijene korodiranog materijala. Neizravni gubici obično premašuju izravne gubitke jer korozija na jednom stroju često poremećuje cijeli proizvodni proces, tj. rad mnogih strojeva i uređaja. U metaloprerađivačkoj, elektroindustriji te srodnim industrijskim granama također dolazi do velikih korozijskih oštećenja opreme i proizvoda. Korozija teče pri izlaganju proizvoda vlažnoj atmosferi ili čak oborinama, u toku skladištenja, prijevoza i montaže. Velike štete uzrokuje nepotrebno povećanje dimenzija konstrukcija, a predimenzioniranjem se troši mnogo više konstrukcijskog materijala, što ujedno, otežava oblikovanje dijelova, njihovo spajanje (npr. zavarivanje). Racionalnim se dimenzioniranjem često može uštedjeti do 30 % konstrukcijskog materijala. Utvrđeno je, primjerice, da se debljina stijenke podzemnog naftovoda vanjskog promjera 200 mm može smanjiti s 8 mm na 6 mm ako je provedena prikladna zaštita od vanjske korozije (bitumeniziranjem i katodnom zaštitom) [4].

U Republici Hrvatskoj prva procjena štete od korozije provedena je 1954. godine od strane Saveza inženjera i tehničara za zaštitu materijala. Šteta je tada procijenjena na temelju razlike stvarne amortizacijske stope koja iznosi 3 % i amortizacijske stope koja bi se mogla postići racionalnom zaštitom u pojedinim industrijskim granama koja iznosi 1,1 %. Dobivena razlika od 1,9 % uzeta je kao koeficijent štete od korozije. Takvim izračunom, prema stanju privrede iz 1990. godine, šteta od korozije iznosila bi i do 2 milijarde dolara na godinu [4,5].

Prema statistici švedskog Instituta za koroziju, od korozije je tijekom 33 godine propalo 44 % ukupno proizvednog željeza. Nevjerojatan je podatak, još iz 1975., koji kaže da je 40 % proizvodnje čelika u SAD-u trošeno na zamjenu korodiranih dijelova. Slične procjene daju i druge zemlje. Primjerice, procjena gubitaka poradi korozije u britanskoj industriji 1971. godine iznosila oko 3,5 % BDP-a, a već se tada držalo da bi se temeljitijom zaštitom veličina štete mogla smanjiti za najmanje 25 %.

Prema istraživanjima provedenim u SAD-u od 1999. do 2001., godišnji troškovi korozije u 1998. godini iznosili su čak 275,7 milijardi USD, što je oko 3,1 % njihova BDP-a, odnosno 1000 dolara po stanovniku (slika 2.). Studijom je utvrđeno i da se gotovo trećina šteta mogla izbjeći primjenom odgovarajućih metoda zaštite od korozije [5].

Prema istraživanjima 2003. godine u SAD-u

**DIREKTNI TROŠKOVI KOROZIJE IZNOSE:**



Slika 2. Direktni troškovi korozije [6]

## 2. VRSTE KOROZIJE

Procesi korozije klasificiraju se prema [4]:

- mehanizmu procesa
- mediju u kojem se nalazi konstrukcijski metal
- materijalu koji korodira
- industrijskoj grani ili vrsti postrojenja
- odnosu između korozije i drugih štetnih procesa
- geometrijskom obliku korozijskog razaranja.

### 2.1. Vrste korozije prema mehanizmu procesa

Korozija metala prema mehanizmu procesa dijeli se na koroziju u neelektrolitima ili kemijsku koroziju i koroziju u elektrolitima ili elektrokemijsku koroziju.

#### 2.1.1. 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). Najvažniji neelektroliti koji u praksi izazivaju kemijsku koroziju metala svakako su vrući plinovi i organske tekućine.

Kemijska korozija u vrućim plinovima teče samo uz uvjet da su ti plinovi suhi, tj. da zbog visoke temperature na metalu ne mogu nastati ni tekuća voda ni vodena otopina, jer čim dođe do jedne od tih pojava, odvija se elektrokemijska korozija. Najčešće se odvija u vrućem zraku i u sagorjevnim plinovima, i to pri vrućoj obradi metala (kovanjem, zavarivanjem, provlačenjem, valjanjem...), u termoenergijskim postrojenjima, u industrijskim ložištima i pećima, u motorima s unutarnjim sagorijevanjem [4].

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) [5].

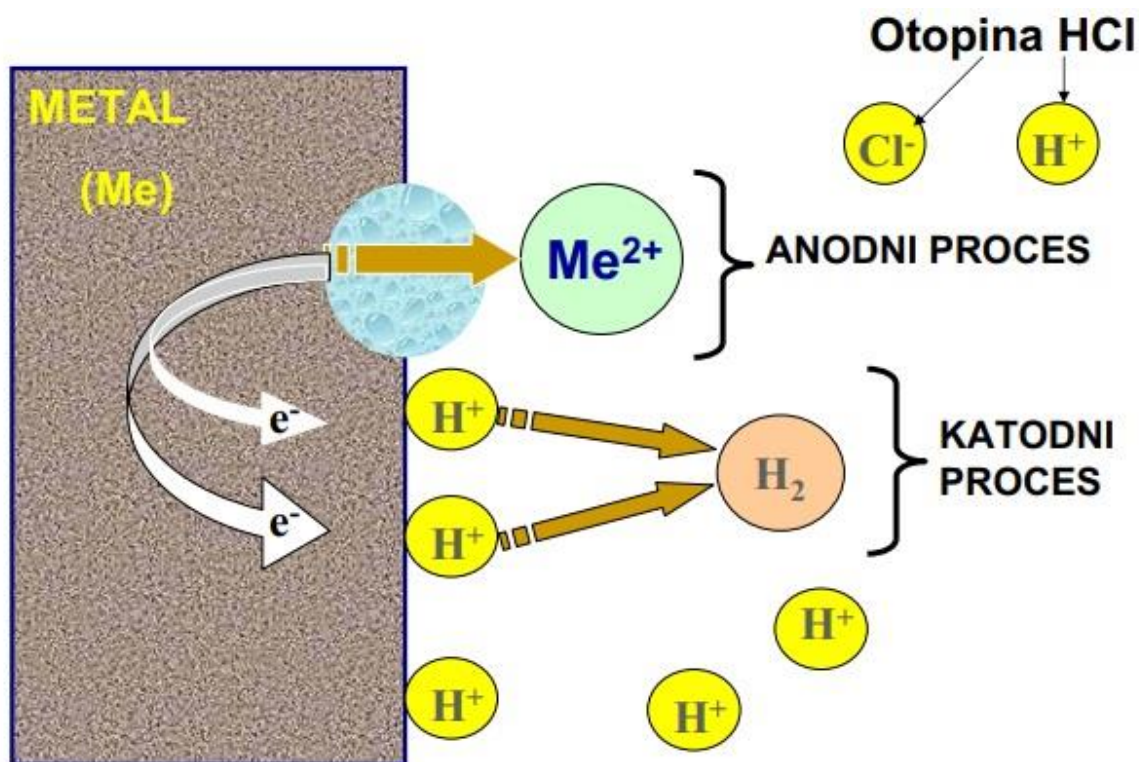


### 2.1.2. Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija nastaje na metalima u električki vodljivim sredinama (elektrolitima) kao što su prirodna i tehnička voda, vodene otopine kiselina, lužina, soli i drugih 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 između 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 (depolarizacija, primanja elektrona) nekog oksidansa, tzv. depolarizatora (slika 3.).

Broj elektrona koji se oslobađa u anodnoj reakciji mora biti jednak broju elektrona koji se troše u katodnoj reakciji. Reakcije se moraju zbivati istodobno da bi anodna reakcija stvorila koroziju [5].



Slika 3. Elektrokemijska korozija u kiseljoj otopini [6]

### Anodni proces

Ionizacija metala (otapanje) i stvaranje elektrona, reakcija (1):



### Katodni proces

Trošenje elektrona

a) Vodikova redukcija, reakcija (2):



b) Kisikova redukcija, reakcija (3):



Elektrokemijska korozija metala je najrasprostranjenija. Hrđanje metalnih konstrukcija u atmosferi, korozija trupova brodova u riječnoj i morskoj vodi, razaranje cijevi u zemlji, predstavljaju samo manji broj primjera elektrokemijske korozije.

## ***2.2. Vrste korozije prema geometrijskom obliku razaranja***

Prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja, tj. prema raspodjeli na materijalu, korozija se dijeli na opću, lokalnu, selektivnu i interkristalnu.

### ***2.2.1. Opća korozija***

**Opća korozija** zahvaća čitavu izloženu površinu materijala, a može biti ravnomjerna ili neravnomjerna. Ravnomjerna opća korozija tehnički je najmanje opasna jer se proces može lako pratiti i predvidjeti kada treba intervenirati.

### 2.2.2. Lokalna korozija

**Lokalna korozija** je najraširenija pojava korozije koja napada samo neke dijelove površine materijala. Dijeli se na [5]:

- **Pjegasta korozija** - ograničena na pojedine veće dijelove površina.
- **Rupičasta korozija** (engl. pitting) - usko lokalizirana na žarišta približno kružnog presjeka, dubina oštećenja nekoliko puta veća od širine. Česta pojava kod nehrđajućih čelika u kloridnim elektrolitima (slika 4.).
- **Potpovršinska korozija** - nastaje kada se u nekim slučajevima žarišta pitinga šire u dubini materijala raslojavajući ga (listanje). Najraširenija je na valjanim metalima u dodiru s morskom vodom i s kiselinama.
- **Galvanska korozija** - pri dodiru dvaju metala različitog potencijala u elektrolitu, pri čemu korodira metal nižeg električnog potencijala.
- **Napetosna korozija** je oblik korozije koji nastaje pri istovremenom djelovanju agresivne okoline i vlačnih naprezanja na metal konstrukcije.
- **Korozija u procijepu** - pri slabijem naližganju obloge na metal nastaje procijep u kojem dolazi do promjene korozijske okoline i intenzivnije korozije.

**Interkristalna** korozija razara materijal na granicama zrna, šireći se na taj način u dubinu.

Ova vrsta korozije je najopasniji oblik jer može dugo ostati neprimijećena, a naglo smanjuje čvrstoću i žilavost materijala.

**Selektivna** korozija - napada samo jednu (ili samo neke) od faza višefaznoga materijala, npr. grafitizacija sivog lijeva, decinkacija mjedi. Može biti opća i lokalna a češća je u elektrolitima nego u neelektrolitima [4,6].



Slika 4. Primjer rupičaste korozije [7]

### 3. METODE ZAŠTITE METALA OD KOROZIJE

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

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

Ova se dva načela mogu tehnički iskoristiti promjenom unutarnjih čimbenika oštećivanja, tj. obilježja konstrukcijskog materijala, promjenom vanjskih čimbenika oštećivanja, tj. obilježja medija i fizikalnih okolnosti (temperature, naprezanja, brzine gibanja, električnog potencijala, itd.) ili odvajanjem konstrukcijskog materijala od medija (nanošenjem prevlake) [5].

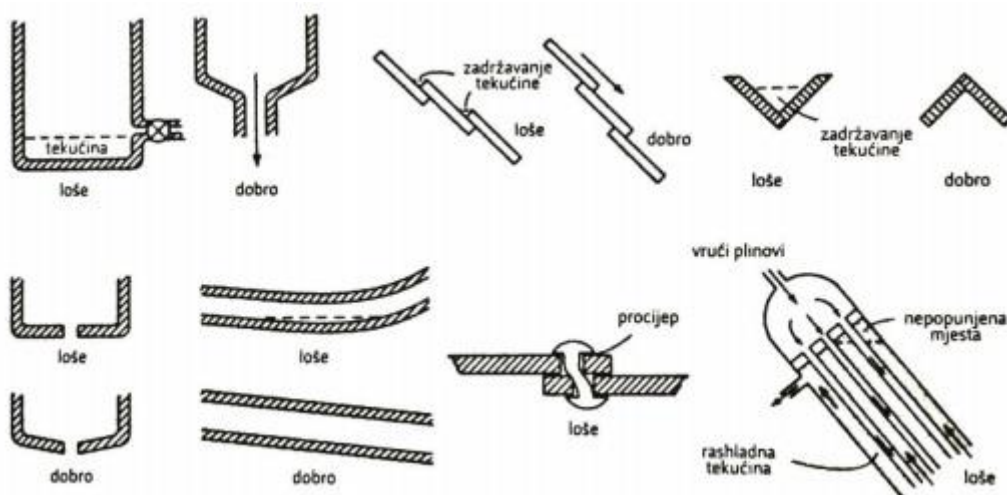
Osnovne metode za zaštitu od korozije jesu:

- konstrukcijsko - tehnološke mjere
- primjena korozijski postojećih materijala
- elektrokemijska zaštita
- zaštita inhibitorima korozije
- zaštita prevlačenjem.

#### 3.1. Konstrukcijsko tehnološke mjere

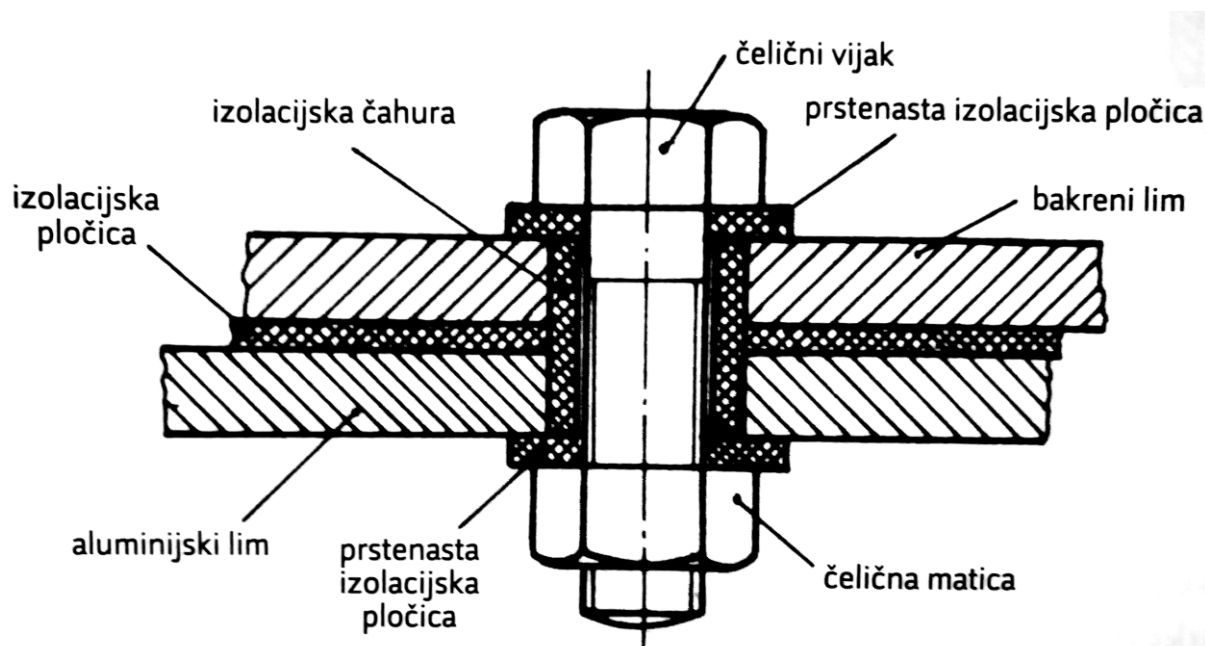
Koroziju je moguće usporiti ili čak spriječiti različitim konstrukcijskim i tehnološkim mjerama. Te se mjere ne mogu sustavno prikazati jer se ne radi o šablonskom poslu nego o kreativnoj primjeni teorijskih temelja zaštite od korozije. Ipak neke od smjernica su [4]:

- pri izboru konstrukcijskog materijala, odnosno kombinacije takvih materijala, obratiti pažnju na korozijsko ponašanje u predviđenim okolnostima
- pri dimenzioniranju elementa uzeti u obzir opće i lokalno smanjenje dimenzija zbog korozije u toku željenog vijeka trajanja
- pri određivanju oblika i položaja pojedinog elementa, odnosno međusobnog položaja i načina spajanja dvaju ili više elemenata, birati rješenja koja bilo lokalno, bilo posvuda smanjuju afinitet za koroziju, povećavaju otpore njegovu djelovanju ili pak olakšavaju provedbu zaštitnih postupaka (slika 5.).
- pri utvrđivanju kvalitete površine predvidjeti što je moguće glađe plohe koje će biti u dodiru s vrlo korozivnim sredinama.



Slika 5. Primjeri oblikovanja i montaže konstrukcije na pojavu korozije [5]

Kad je riječ o odabiru materijala za izradu neke konstrukcije, najčešće se govori o pojavi galvanске korozije koja nastaje zbog dodira dvaju različitih metala i prisutnosti elektrolita. U tom je slučaju potrebno uporabiti materijale koji imaju približno isti potencijal za medij kojemu su izloženi. Ipak, nerijetko je potrebno koristiti se različitim materijalima. Na slici 6. je prikazano kako ispravno, s obzirom na koroziju, vijčano spojiti dva metalna dijela od materijala različitih potencijala.



Slika 6. Vijčani spoj različitih metala s izolacijskim umecima [5]

### **3.2. Primjena korozijski postojanih materijala**

Jedan od najvažnijih, ali i najsloženijih zadataka konstruktora je izbor optimalnoga konstrukcijskog materijala; pri tome valja uzeti u obzir mnoge ekonomske i tehničke kriterije čime se utječe na ukupnu konkurentnost proizvoda. Korozijsko je ponašanje svakako jedan od važnijih kriterija za izbor materijala jer se pravilnim izborom materijala izravno utječe na trajnost i sigurnost konstrukcije u različitim uvjetima eksploatacije.

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.

Zbog svojstva korozijske postojanosti, nehrđajući se čelici danas primjenjuju u gotovo svim područjima ljudskog djelovanja, od nezamjenjive primjene u različitim granama industrije poput kemijske, petrokemijske i farmaceutske, u arhitekturi, brodogradnji, energetici, do primjene u svakodnevnu životu [5].

### **3.3. Elektrokemijska zaštita**

Elektrokemijska zaštita se upotrebljava kao zaštita metalnih konstrukcija u elektrolitima koje nisu lako pristupačne za održavanje zaštite premazima kao što su npr. cjevovodi (vodovodi i naftovodi), kabeli, lučka postrojenja, brodovi, rezervoari, kondenzatori, izmjenjivači topline i različiti uređaji u kemijskoj industriji i rudarstvu. Ovisno o načinu polarizacije, elektrokemijska zaštita može biti katodna i anodna.

Katodna zaštita je jedna od najznačajnijih metoda zaštite od korozije u elektrolitima. Temelji se na usporavanju korozije katodnom polarizacijom metala, tj. pomakom elektrokemijskog potencijala metala u negativnom smjeru. U praksi se upotrebljavaju dva načina katodne zaštite [1]:

- katodna zaštita u kojoj je zaštićeni predmet katodno polariziran djelovanjem vanjskog izvora istosmjerne struje
- katodna zaštita u kojoj se katodna polarizacija ostvaruje kontaktom zaštićenog metala s neplemenitijim metalom - žrtvenom anodom (protektorom).

Anodnom polarizacijom metala koji se mogu pasivirati postiže se njihova zaštita od korozije, tzv. anodna zaštita. Slično katodnoj zaštiti i anodna se zaštita metala provodi na dva načina [1]:

- izvorom istosmjerne struje (spajanjem s pozitivnim polom istosmjerne struje)
- protektorom (spajanjem s elektropozitivnijim metalom).

### **3.4. Zaštita inhibitorima korozije**

Korozijsko djelovanje agresivnih komponenata u elektrolitu u praksi se često smanjuje primjenom inhibitora korozije. Inhibitori korozije se definiraju kao tvari anorganskog ili organskog porijekla koje u vrlo malim koncentracijama smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti (0,1 mm/god). Nekoliko je mehanizama djelovanja inhibitora, a u pravilu se radi o stvaranju barijere (tankog 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 koriste i u zaštiti od atmosfere korozije. Inhibitori mogu biti anodni, katodni, mješoviti ili hlapivi inhibitori korozije [5].

### **3.5. Zaštita prevlačenjem**

U najvećem udjelu (prema nekim podacima i preko 80 %) nastali tehnički problemi očuvanja različitih konstrukcija od korozije rješava se odvajanjem osnovnog materijala koji ima dobra mehanička svojstva od korozivnog okoliša koji ga okružuje nanošenjem površinskog sloja, tj. zaštitnih prevlaka koje mogu biti [8]:

- metalne (npr. prevlake nikla, zlata, cinka, itd.),
- nemetalne anorganske (npr. konverzijske prevlake, anodizacijske prevlake, keramičke prevlake i prevlake emajla, itd.) i
- organske (npr. premazi, tj. boje i lakovi, polimerne prevlake, itd.).

## 4. PREMAZI

### 4.1. Komponente premaza

Zaštita metala premazima jedan je od najrasprostranjenijih postupaka zaštite u tehnici, čak  $\frac{3}{4}$  metalnih površina zaštićeno je premazima. Jedan od osnovnih razloga tome je relativno niska cijena premaza u odnosu na druge metode zaštite od korozije. Premazi se, osim u zaštitne svrhe, nanose i zbog poboljšanja estetskog izgleda metalne površine (dekorativni premazi) pa tako postoje bezbojni i različito obojeni premazi, zatim mutni, sjajni i mat premazi, a moguće je postići i dojam sjajnog ili kovanog metala. Organske prevlake - premazi sastoje se od pet osnovnih komponenti: veziva, otapala, pigmenata, punila i aditiva [8].

#### 4.1.1. Veziva

Primarne funkcije veziva su osigurati da čestice pigmenta budu vezane zajedno i da osiguraju pravilnu adheziju na podlogu. U velikoj mjeri vezivo određuje svojstva boje. U većini vrsta boja vezivo je organski materijal. U nekim slučajevima vezivo može biti anorgansko, kao silikati i cement. Vezivo određuje proces formiranja filma na površini koja se premazuje. Tako se razlikuju [9]:

- fizikalno sušenje, to jest sušenje isparavanjem otapala
- kemijsko otvrdnjivanje boje, reakcijom dviju komponente koje reagiraju jedna s drugom, a miješaju se neporedno prije primjene.

Neka od osnovnih tipova veziva su sušiva ulja, alkidne smole, poliesterske smole, epoksidne smole, poliuretani, vinilne smole, akrilatna veziva, fenoplasti i aminoplasti, silikonske smole, etilsilikati, klorkaučuk.



### 4.1.2. Otapala

Otapala (razrjeđivači) su organski spojevi u kojima se vezivo otapa, ali pri tome ne dolazi do kemijskih promjena. Upotrebljavaju se za postizanje određene viskoznosti zaštitnih sredstava, tako da se ona mogu lako nanijeti na metalnu površinu.

Dijelimo ih na tri osnovne skupine [10]:

- ugljikovodici,
- derivati ugljikovodika sa kisikom,
- klorirani ugljikovodici.

Otapala sadrže za ljudsko zdravlje štetne hlapive organske spojeve koji prilikom sušenja boje, isparavaju i predstavljaju opasnost za neposredne izvršitelje. Propisi za zaštitu okoliša svakim danom sve više vrše pritisak na sve sudionike u industriji premaza kako bi se smanjio štetan utjecaj na okolinu. Zbog uredbe, koje je donijela Vlada Republike Hrvatske, za mnoga otapala danas vrijedi potpuna ili djelomična restrikcija upotrebe od strane agencija za zaštitu okoliša. Restrikcije postoje i prema vrsti i prema maksimalnom sadržaju organskih otapala (VOC) u pojedinim proizvodima. Nametnuta ograničenja predstavljaju velike probleme proizvođačima boja kod formulacija i razvoja novih proizvoda, jer je za postizanje traženih tehničkih svojstava boja potrebno uložiti jako mnogo truda i vremena u istraživanja [10].

### 4.1.3. Pigmenti

Pigmentni daju obojenje premazima. Pored toga apsorbiraju UV zrake čime štite veziva.

Pigmenti mogu biti inertni ili pružati aktivnu korozijsku zaštitu. Aktivni se uglavnom koriste u temeljnim premazima. Zaštitno djelovanje pigmenata može biti pasivirajuće, inhibitorско, neutralizirajuće i djelovanje katodnom zaštitom.

*Pasivirajuće* djelovanje na metal imaju pigmenti oksidirajućih svojstava koji na metalnoj površini stvaraju pasivni oksidni sloj. Takvo djelovanje na željezo imaju olovni minij ( $Pb_3O_4$ ) i olovni kromat ( $PbCrO_4$ ).

*Inhibitorsko* djelovanje se temelji na reakciji između pigmenata i veziva ili između pigmenata i okoline pri čemu nastaje inhibitor korozije.

*Neutralizirajuće* djelovanje se temelji na lužnatim svojstvima pigmenta koji neutralizira kiselinu iz okoline.

*Katodnu zaštitu* omogućuju samo metalni pigmenti čiji je elektrodni potencijal negativniji od potencijala metala koji se štiti. [14]

#### **4.1.4. Punila**

Punila su anorganski mineralne tvari koja se dodaju u fino usitnjenom stanju u premaz. Poboljšavaju mehanička svojstva premaza, imaju niski indeks refrakcije pa štite premaz od ultraljubičastog zračenja. U premaz se dodaju i zbog poboljšanja svojstva barijere filma, tj. zbog otpornosti filma prema difuziji vode i agresivnih plinova. Dobivaju se ili iz prirodnih minerala ili sintetskim taloženjem iz vodenih otopina. Prema kemijskom sastavu razvrstavaju se na sulfate, karbonate, okside i silikate. Nazivaju se još i jeftini pigmenti zato što smanjuju finalnu cijenu premaza [9,10].

#### **4.1.5. Aditivi**

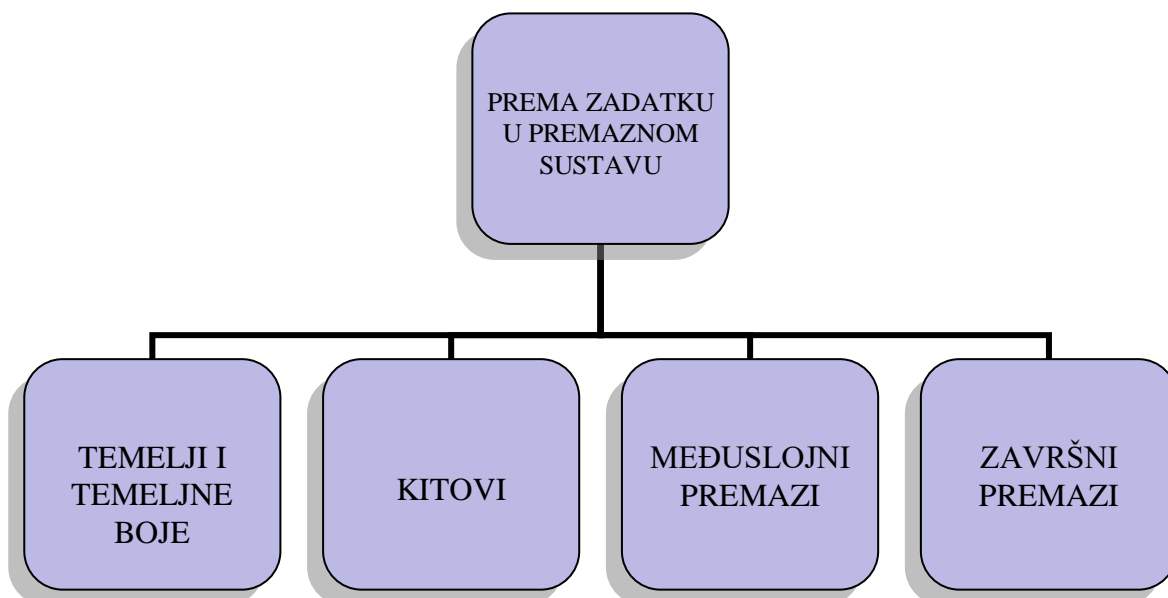
Aditivima smatramo one tvari uključene u formulaciju premaza koji unatoč neznatnom udjelu imaju značajan utjecaj na svojstva. Dodaju se kako bi se spriječili nedostaci u premazima (npr. pjena, loše razlijevanje, sedimentacija) ili da daju specifična svojstva (npr. klizavost, vatrousparenje, svjetlostabilnost i sl.) koja se inače teško postižu. S obzirom na obveznu kakvoću i zahtjeve u pogledu zaštite okoliša u proizvodnji i primjeni premaza u svim su premazima aditivi nezaobilazne komponente, a specifične tehnologije (vodeni sustavi, praškasti sustavi i sl.) zahtjevaju razvoj specifičnih aditiva. Pooštrenje zakonskih regulativa (smanjenje udjela aromatskih otapala, organskih otapala općenito) također zahtjeva nove aditive. Prema nedostatku na kojeg djeluju, dijelimo ih na sljedeće skupine [11]:

- okvašivači i disperzanti
- reološki aditivi
- aditivi protiv pjenjenja
- aditivi za poboljšanje izgleda površine
- sušila i katalizatori
- konzervansi
- svjetlosni stabilizatori
- korozijski inhibitori.

## 4.2. Klasifikacija premaza

Glavni načini podjele premaznih sredstava jesu [5]:

- prema sastavu, pri čemu se podjela obično zasniva na vrsti veziva, ali katkad i na vrsti pigmenta, odnosno razrjeđivača otapala
- prema osnovnoj namjeni (sredstva za zaštitu od korozije, od mehaničkog oštećivanja, od požara, od biološkog obraštanja, sredstva za dekoraciju, za električnu izolaciju itd.)
- prema izgledu (bezbojna i različito obojena, mutna i sjajna)
- prema podlogama na koje se nanose (crni i obojeni metali, beton, drvo itd.)
- prema broju sastojaka koji se miješaju prije nanošenja (jednokomponentna, dvokomponentna, višekomponentna premazna sredstva)
- prema ulozi u premaznu sustavu (slika 7.): temeljna, međuslojna i pokrivna premazna sredstva, kitovi itd.
- prema mehanizmu sušenja (fizikalno isparavanje razrjeđivača/otapala, odnosno kemijsko otvrdnjivanje reakcijama u vezivu ili s vezivom).



Slika 7. Podjela prema ulozi u premaznom sustavu [11]

## 5. PRIPREMA POVRŠINE

Ako su čelici prije završnog bojanja izloženi na otvorenom bez zaštite, korozijski produkti će se tijekom vremena razviti na površini. Prije nanošenja bilo kojeg premaza potrebno je ukloniti hrđu i tretirati površinu kako bi se postigla ispravna adhezija. Zagađivači poput masti, voska, ulja, čađe, prašine, pijeska ili tla, tj. sve što se obično naziva prljavštinom, mora biti uklonjeno. Isto vrijedi i za soli topljive u vodi (kloridi, sulfati) i kondenzaciji u obliku kiselih ili alkalnih spojeva. Posebno u agresivnim korozivnom okruženjima, pripremanje između površine i premaza igra važnu ulogu. Vrlo je teško, u industrijskim uvjetima potpuno očistiti površinu. Trošak bi bio pretjeran. Međutim, brojni praktični testovi pokazali su da je popravak zbog loše pripremljene površine značajno skuplja varijanta. Za kvalitetnu pripremu, prije samog nanošenja premaza, potrebno je nekoliko operacija [9].

### 5.1. Odmašćivanje

Odmašćivanjem se s površine materijala uklanjaju čvrste i tekuće masne tvari mineralnoga ili biološkoga porijekla te njima srodna organska onečišćenja. Mineralne masne tvari dobivaju se destilacijom nafte, a sastoje se od smjese ugljikovodika. Biološke masne tvari mogu biti biljnoga (vegetabilnog), životinjskog (animalnog) i ljudskog (humanog) porijekla. Postoje mnoge vrste metoda odmašćivanja, ali sve se mogu podijeliti u dvije skupine [9]:

- odmašćivanje u otapalima ili u otapalu koja raspršuje mast
- odmašćivanje kemikalijama topivih u vodi koje razgrađuju ili emulgiraju mast.

Prije bojanja i lakiranja za odmašćivanje upotrebljavaju se razrjeđivači, tj. smjese organskih otapala (ugljikovodika, alkohola, ketona, estera itd.) koje inače služe za smanjenje viskoznosti premaznih sredstava. Otapala za odmašćivanje moraju imati prije svega veliku moć otapanja masnih tvari mineralnoga i biološkoga porijekla, a također je poželjno da ne budu zapaljiva ni otrovna, da su kemijski postojana i neagresivna prema materijalima koji se odmašćuju.

Odmašćivanje organskim otapalima provodi se trljanjem pamučnjakom, spužvama, krpama ili četkama namočenima u otapalo, uranjanjem u hladno, toplo ili vrelo otapalo, po mogućnosti uz pokretanje uronjenih predmeta, prskanjem mlazom hladnoga ili toploga otapala ili izlaganjem hladnih predmeta vrućim parama otapala koje se kondenziraju nakon čega kondenzat otkapava zajedno s otopljenim masnim tvarima.

Također sposobnost odmašćivanja imaju i vodeni mediji poput lužnatih otopina, otopina površinskih aktivnih tvari (sredstva za kvašenje) i kisele otopine jakih oksidansa. Obrada lužnatim otopinama i otopinama sredstava za kvašenje često se na različite načine kombinira s odmašćivanjem organskim otapalima koje se obično obavlja prije toga. Nakon primjene bilo kojeg postupka odmašćivanja vodenim otopinama predmeti se temeljito ispiru vodom, i to uranjanjem ili prskanjem. Nanošenje prevlaka iz vodenih otopina obavlja se neposredno poslije toga, bez međufaznog sušenja [3].

## **5.2. Mehanička predobrada**

Mehaničkom se preobradom osnovnog materijala, prije svega, nastoji postići najpovoljnija kvaliteta površine obloge, tj. smanjiti ili rjeđe, povećati stupanj hrapavosti, da bi se omogućilo nanošenje kvalitetnih prevlaka. Mehanička predobrada u praksi obično služi i za uklanjanje produkata korozije (npr. hrđe, okujine i patine), a eventualno i drugih onečišćenja s površine materijala [3].

### **5.2.1. Ručno mehaničko čišćenje**

Ručno mehaničko čišćenje se koristi samo za uklanjanje boje, hrđe ili kamenca koji labavo prijanjaju na podlogu. Primarno se zbog svoje sporosti ta metoda koristi za čišćenja na određenim manjim mjestima i nije prikladna za veće plohe. Pod ručnim alatom se podrazumijevaju strugala, žičane četke, dljetla, abrazivi na raznim podlogama, čekići za lomljenje i sl. Za čišćenje nelegiranih i niskolegiranih čelika koriste se četke od ugljičnog čelika, a za visokolegirane čelike služe četke od nehrđajućeg čelika [10].

### **5.2.2. Strojno mehaničko čišćenje**

Strojnim mehaničkim čišćenjem podrazumijevamo alate za brušenje i poliranje koji su pričvršćeni na pneumatske ili električne prenosive strojeve, što je osobito prikladno za obradu velikih predmeta. Ovakvi strojevi često su opremljeni uređajima za hlađenje uljem, vodom ili vodenim emulzijama i otopinama. Obrada takvim uređajima često se izvodi čeonom, tj. plosnatom stranom kolutova, a ne obodom. Brušenjem se poboljšava kvaliteta površine materijala, uklanjaju se produkti korozije, metalne kapi od zavarivanja, nadvišenje zavara, zaobljuju rubovi te čiste ulegnuća i druge nepravilnosti [10].

### 5.2.3. Čišćenje mlazom abraziva

Čišćenje i mijenjanje hrapavosti površine moguće je provesti suhim ili mokrim mlazom čestica čija se kinetička energija u trenutku sudara s predmetima djelomično pretvara u mehanički učinak. Te čestice mogu biti tvrđe ili mekše od obrađivanog materijala. U oba slučaja one mehanički uklanjaju rahla onečišćenja s površine i utiskuju materijal uz otvrdnjavanje. Među zrcima abraziva najjeftiniji je kremenij pijesak koji se međutim brzo troši mrvljenjem dajući prašinu veličine  $<5 \mu\text{m}$ , opasnu jer izaziva tešku plućnu bolest, tzv. silikozu. Obrada mlazom kremenoga pijeska naziva se pjeskarenjem, a taj se naziv često, ali pogrešno primjenjuje i za takvu obradu drugim sredstvima koja su u tehničku praksu uvedena kasnije.

Metalne čestice, obično od lijevanog željeza ili ugljičnog čelika, za razliku od drugih abraziva, u tijeku upotrebe drobe se sporije pa su prikladnije za neke postupke obrade mlazom. One mogu biti oble (sačma) ili oštrobrične (krupica, lomljevina). Sačma od tvrdog (bijelog) lijeva s  $\sim 3\%$  C otprilike pet puta duže traje od kremenog pijeska, ona od temper lijeva još je nešto trajnija, a sačma od visokougljičnog čeličnog lijeva ima čak 30 do 40 puta duži vijek trajanja nego pijesak [10].

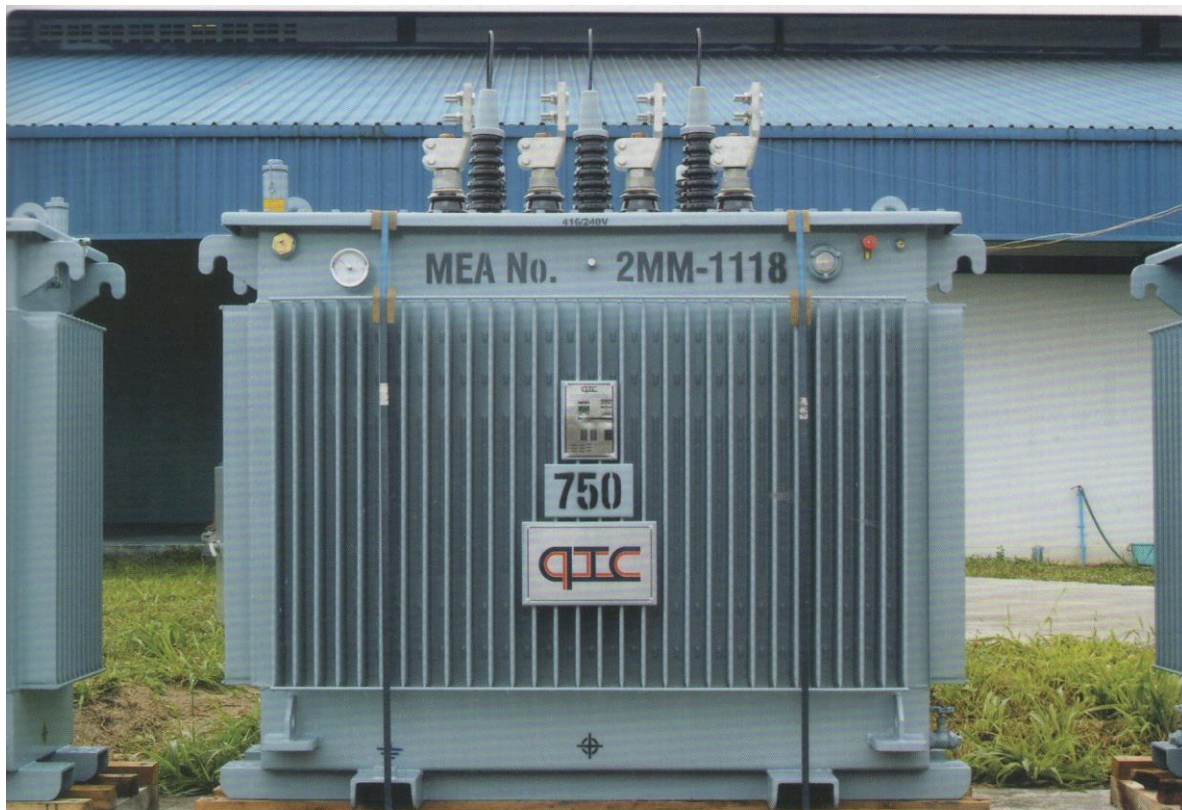
U tablici 1. prikazani su stupnjevi pripreme površine prema standardu ISO 8501-1.

Tablica 1. Stupnjevi pripreme površine metodom abrazivnog čišćenja [13]

Standardni stupnjevi primarne pripreme površine metodom abrazivnog čišćenja	
<b>Sa 3</b>	<b>Čišćenje mlazom abraziva do vizualno čistog čelika</b> Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe, premaza i stranih tijela. <sup>1</sup> Površina mora imati ujednačenu metalnu boju.
<b>Sa 2 ½</b>	<b>Vrlo temeljito čišćenje mlazom abraziva</b> Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe, premaza i stranih tijela. <sup>1</sup> Bilo koji ostaci onečišćenja smiju biti prisutni samo u vidu laganih mrlja nalik na točkice ili pruge.
<b>Sa 2</b>	<b>Temeljito čišćenje mlazom abraziva</b> Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe premaza i stranih tijela. <sup>1</sup> Bilo koji ostaci onečišćenja moraju dobro prijanjati. (Vidi napomenu <sup>1</sup> , dolje).
<b>Sa 1</b>	<b>Lagano čišćenje mlazom abraziva</b> Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, i slabo prijanjajuće okujine, hrđe premaza i stranih tijela. <sup>1</sup>

## 6. ODABIR SUSTAVA PREMAZA

Transformatori su zaštićeni sustavima premaza koji primarno daju prihvatljivu zaštitu od korozije i koji su bez utjecaja na električna svojstva transformatora. Danas osim estetskog tu su i zahtjevi za očuvanje okoliša, dugi vijek trajanja, sigurnost proizvoda. Sigurnost proizvoda odnosi se na premaze koji imaju kontakt s uljem, da ga ne kontaminiraju i time ne smanje energetske efikasnosti i vijek trajanja jezgre [15]. Slika 8. prikazuje transformator u elektromreži.



Slika 8. Transformator u eksploataciji [15]

### 6.1. Korozivnost okoliša

Prilikom odabira sustava premaza od presudne je važnosti da se razrade uvjeti u kojima će konstrukcija, objekt ili instalacija raditi. Kako bi se ustanovio učinak korozivnosti okoliša, potrebno je uzeti u obzir sljedeće čimbenike [14]:

- vlažnost i temperaturu (temperaturu u eksploataciji i temperaturne gradijente)
- prisustvo UV zračenja
- kemijska izloženost (npr. izloženost određenim kemikalijama u industrijskim tvornicama)
- mehanička oštećenja (udar, abrazija, itd.).

Kad se radi o vodenom okolišu, bitno je utvrditi vrstu vode i njezin kemijski sastav.

Korozivna agresivnost okoliša utjecat će na:

- vrstu boje koja se koristi za zaštitu
- ukupnu debljinu sustava premaza
- potrebnu pripremu površine
- minimalne i maksimalne međupremazne intervale.

Treba imati na umu da što je okoliš korozivniji, to će tražena priprema površine biti zahtjevnija. Također treba pomno ispoštovati međupremazne intervale. Drugi dio standarda ISO 12944 daje klasifikaciju korozije za atmosferske uvjete, tlo i vodu (tablica 2.). Taj standard predstavlja vrlo uopćenu procjenu vremena korodiranja za ugljični čelik i cink [13].



Tablica 2. Kategorije korozivnosti prema standardu ISO 12944 [13]

Kategorija korozivnosti	Primjeri okoliša	
	Vanjski	Unutarnji
<b>C1</b> jako niska	-	Grijane zgrade sa čistom atmosferom, poput ureda, dućana, škola, hotela
<b>C2</b> niska	Lagano onečišćena atmosfera, uglavnom ruralna područja	Negrijane zgrade u kojima može doći do pojave kondenzacije, npr. spremišta, sportske dvorane
<b>C3</b> srednja	Industrijska i urbana atmosfera s prosječnom razinom onečišćenja sumpornim oksidom (IV). Priobalna područja niskog saliniteta.	Proizvodni objekti s visokom vlažnošću i određenim stupnjem onečišćenja zraka, npr. tvornice hrane, praonice, pivovare, mljekare
<b>C4</b> visoka	Industrijska i priobalna područja srednjeg saliniteta	Kemijske tvornice, bazeni, remontna brodogradilišta
<b>C5-I</b> jako visoka (industrijska)	Industrijska područja s vrlo visokom vlažnošću i agresivnom atmosferom	Zgrade i površine sa gotovo konstantnom kondenzacijom i visokom razinom onečišćenja
<b>C5-M</b> jako visoka (morski okoliš)	Priobalje i pučina s visokom razinom saliniteta	Zgrade i površine sa gotovo konstantnom kondenzacijom i visokom razinom onečišćenja

Norma 12944-5 definira i životni, tj. eksploatacijski vijek sustava premaza, prema tablici 3.

Tablica 3. Vremenski okviri pri kategoriziranju trajnosti [13]

Trajanje zaštite prema normi DIN EN ISO 12944-5	kratkotrajni	2 do 5 godina
	srednjetrojajni	5 do 15 godina
	dugotrajni	preko 15 godina

Samo zaštita protiv opće korozije može se opisati i planirati u "klimatsku zonu" u skladu s normom. U tablici 4. prikazane su debljine sloja potrebne u odgovarajućoj kategoriji korozivnosti za određeni objekt u određenom trajanju zaštite analogno DIN EN ISO 12944 [13].

Tablica 4. Sustavi premaza za niskouglični čelik za korozivnost okoliša C2-C5 [5]

Temeljni premazi				Pokrivni premazi		Sustav premaza		Očekivana trajnost sustava														
Vezivo	Pigment	Broj slojeva	DSF, $\mu\text{m}$	Vezivo	Broj slojeva	DSF, $\mu\text{m}$	C2	C3	C4	C5-I			C5-M									
										L	M	H	L	M	H	L	M	H				
AK, AY	Misc.	1-2	100	–	1-2	100	█															
AK	Misc.	1-2	80	AK	2-4	160	█	█														
EP	Misc.	1	160	AY	2	200	█	█	█													
EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60	AY, CR, PVC	2-3	160	█	█	█	█												
AK, AY, CR, PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	3-5	200	█	█	█	█												
EP, PUR	Misc.	1-2	120	AY, CR, PVC	3-4	200	█	█	█				█									
EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60	AY, CR, PVC	2-4	200	█	█	█	█												
EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60	AY, CR, PVC	4-5	320	█	█	█	█	█											
EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	2-3	120	█	█	█													
EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	3-5	200	█	█	█	█												
EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60	EP, PUR	3-4	200	█	█	█	█												
EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60	EP, PUR	3-4	240	█	█	█	█					█							
EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	3-5	280	█	█	█	█												
EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60	EP, PUR	3-4	320	█	█	█	█	█											
EP, PUR	Misc.	1-2	80	EP, PUR	3-4	320	█	█	█	█	█											

AK – alkid, AY – akril, EP – epoksi, PUR – poliuretan, ESI – etil silikat, CR – klorkaučuk, PVC – polivinilklorid, Misc. – ostali pigmenti, Zn (R) – pigment cinkov prah, DSF – debljina suhog filma,  $\mu\text{m}$ ,

## 6.2. Sustav premaza

U višeslojnu sustavu (slika 9.) premazi se prema dijele prema namjeni na [5]:

- temeljni premaz - osigurava adheziju na podlogu i sprečavaju koroziju
- međupremaz - daje neprozirnost, povećavaju debljinu filma i poboljšavaju zaštitni učinak sustava
- završni premaz - zadovoljava zahtjeve u vezi s nijansom boje, sjajem, lakoćom čišćenja, otporom na abraziju te štite prethodne premaze od utjecaja okoline (vode, onečišćene atmosfere, itd.).

Slika 9. Sustav premaza debljine najčešće od 360 do 600  $\mu\text{m}$  [5]

## 7. ZAŠTITA ENERGETSKIH KOTLOVA PREMAZIMA

### 7.1. 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) transformatora, predviđeni rok trajanja, eventualna mogućnost izvedbe popravka i sl. U tablici 5. prikazani su zahtjevi kojima odabrani sustav zaštite mora udovoljiti.

**Tablica 5. Zahtjevi za sustav zaštite koje propisuje naručitelj Siemens AG**

Korozivnost okoline	C4
Trajnost sustava premaza	iznad 15 godina
Stupanj pripreme površine (hrapavost)	Sa 2 <sup>1/2</sup>
Temeljni premaz	80 µm
Međupremaz	80 µm
Završni premaz	80 µm
Minimalna ukupna debljina suhog filma	240 µm

Prema navedenim značajkama koje sustav zaštite premazima treba ispuniti, odabrani su premazi prikazani u tablici 6.:

**Tablica 6. Odabrani premazi**

Temeljni premaz	CHING EMC 182 weiss K-DB
Međupremaz	CHING EMD 30 grau TR
Završni premaz	CHING ADD 43 RAL 270 40 40

Ovaj sustav premaza i zahtjevi poput stupnja pripreme površine, debljine slojeva i ukupne debljine odnose se samo na vanjske stijenke kućišta transformatora, koje su izložene atmosferskim uvjetima.

## 7.2. Preporuka proizvođača premaza

Između pregršt izbora vrsta boja i lakova na tržištu, kao i proizvođača, jedan od načina izbora kombinacije i broja slojeva premaza, jest da se prvo odabire proizvođač specijaliziran za proizvodnju premaza za transformatorske kotlove, ili neke druge metalne konstrukcije koja se izrađuje i prema preporukama proizvođača, a u skladu s zahtjevima naručitelja odabirati sustav premaza. Jedan od takvih primjera nalazi se u tablici 7.

Tablica 7. Preporuka proizvođača za sustav premaza [15]

Temeljni premaz	Međupremaz	Završni premaz	Ukupne debljine
Epoksidna smola	Epoksidna smola	Poliuretan	
EMC 182 weiss K DB 80 -100 $\mu\text{m}$	EMD 30 grau TR 80 -140 $\mu\text{m}$	ADD 43/47 40 – 80 $\mu\text{m}$	80 $\mu\text{m}$ 200 $\mu\text{m}$ 280 $\mu\text{m}$

Sustav zaštite pomoću ova 3 premaza sastoji se od konvencionalnog premaza na osnovi epoksi smole i otapala za temeljni i međupremaz, te poliuretanskog završnog premaza. Trajanje zaštite je iznad 15 godina u okolišu C4 i do 15 godina u okolišu C5, prema normi DIN EN ISO 12944. Temeljni premaz na osnovi epoksidne smole EMC 182 K DB može se koristiti za unutarnje i vanjske stijenke spremnika, otporan je na mineralna ulja, esterska ulja i silikonska ulja. Budući da se unutarnja i vanjska prevlaka mogu primijeniti u jednoj operaciji, taj se premaz pokazuje kao ekonomično rješenje zato što se cijelo kućište može bojati u jednoj operaciji. Svi premazi su prikladni za bezračno prskanje, međutim mogu se aplicirati također i zračnim prskanjem. Sve spomenute debljine slojeva mogu se postići u jednoj operaciji [13].

### 7.3. Priprema površine

Stupanj pripreme površine prema zahtjevima za nanošenje prije odabranog premaza treba biti Sa 2<sup>1/2</sup> sukladno normi ISO 8501-1.

Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe, premaza i stranih tijela. Bilo koji ostaci onečišćenja smiju biti prisutni samo u vidu laganih mrlja nalik na točkice ili pruge [12].

Nakon bravarskih radova, kućište je pjeskareno do Sa 2<sup>1/2</sup> (slika 10.).



**Slika 10. Kućište transformatora nakon pjeskarenja u tvrtci Midi d.o.o.**

#### 7.4. Nanošenje premaza

Nakon pjeskarenja dijelova kućišta, ona se stlačenim zrakom očiste, zbog zaostalih zrnaca abraziva na površinama, nakon pjeskarenja (slika 11.). Prije samog prskanja, teško dostupni dijelovi se ručno bojaju valjcima i četkama, kako bi nakon prskanja dobili jednolične debljine suhog filma, kao što je prikazano na slici 12.



Slika 11. Čišćenje površina kućišta stlačenim zrakom



Slika 12. Nanešeni premaz na teško dostupna mjesta prije prskanja

Nakon sveobuhvatne pripreme površine, zaštite dijelova koji nisu predviđeni za lakiranje (razne rupe, provrti za navoje, čeonu dijelovi prirubnica, vanjski navoji...), premazivanja teško dostupnih mjesta, slijedi zračno prskanje ostalih površina, što je prikazano na slici 13. Tlak potreban za pravilno izvođenje prskanjem je 4-5 bar. Odabrani premazi mogu se nanositi pri temperaturama od 10 °C do 35 °C, samo pri tome treba voditi računa da razlika temperature površine i temperature rosišta zraka nije veća od 3 °C. Slika 14. prikazuje kućište energetskih transformatora nakon prskanja.



**Slika 13. Nanošenje završnog premaza zračnim prskanjem**



**Slika 14. Kućišta energetskih transformatora nakon nanošenja premaza**

## 8. EKSPERIMENTALNI DIO

### 8.1. Uvod

Eksperimentalni dio ovog rada sastoji se od ocjenjivanja kvalitete zaštite premazima ubrzanim korozivskim ispitivanjima u vlažnoj i slanoj komori. Prije ispitivanja u komorama, određena je hrapavost uzoraka, debljina prevlake, i svojstva kao što su prionjivost pomoću „Cross-cut“ i „Pull-off“ testa, kao i mjerenje sjaja završnog premaza. Nakon određenog vremenskog perioda u slanoj i vlažnoj komori ponovljena su ispitivanja prionjivosti.

Priprema uzoraka, provedena je u tvrtci Midi d.o.o. u Ivanovcu, a laboratorijska ispitivanja provedena su u Laboratoriju za zaštitu materijala Fakulteta strojarstva i brodogradnje.

Zadatak ispitivanja bio je utvrditi korozivsku postojanost uzoraka i fizikalna svojstva za zadane uvjete eksploatacije energetskog transformatora na prvih 10 uzoraka, te usporedba utjecaja pripreme površine na prionjivost i vlačnu čvrstoću premaza na drugih 10 uzoraka.

Sveukupno je bilo testirano 20 uzoraka, napravljenih od S235JRG2 čelika, od kojeg se izrađuju transformatori.

U tablici 8. prikazan je sastav odabranih premaza.

**Tablica 8. Sastav odabranih premaza [15]**

	TVORNIČKI NAZIV	VEZIVO	PIGMENT	OTAPALO	DEBJINA
<b>Temeljni premaz</b>	EMC 182 weiss K-DB	epoksid	cink-fosfati	alkohol, aromatski ugljikovodici	80 μm
<b>Medupremaz</b>	EMD 30 grau TR	epoksid	željezov oksid	aromati, glikoleter	80 μm
<b>Završni premaz</b>	ADD 43	poliuretan	željezov oksid	aromatski ugljikovodici	80 μm
					<b>Ukupno 240 μm</b>



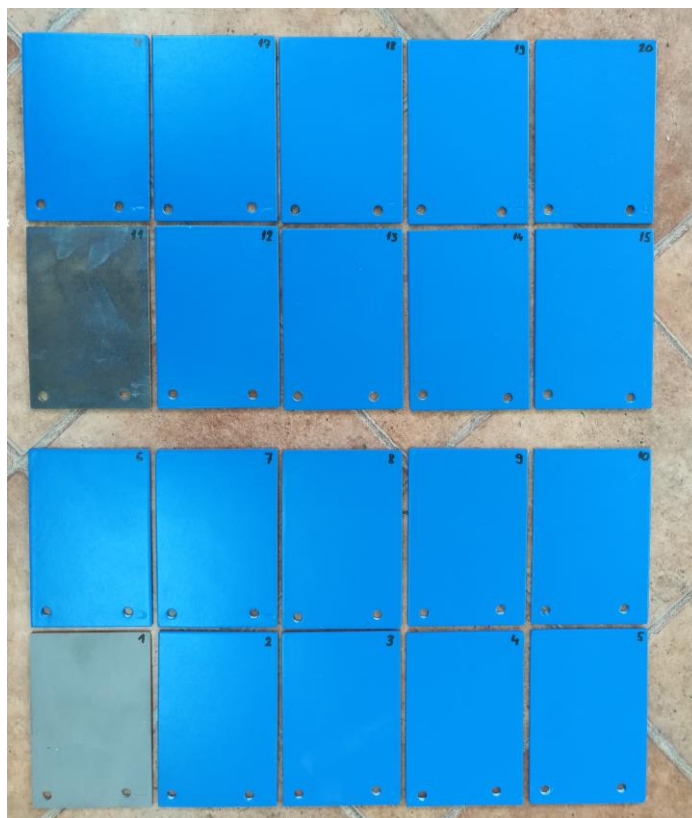
## 8.2. Plan ispitivanja

Dvadeset uzoraka u obliku pločica 100 x 150 mm debljine 4 mm prije rezanja na plazmi pušteno je kroz protočnu sačmaru u kojoj se koristi okrugla sačma. Zatim je prvih deset uzoraka pjeskareno do Sa 2<sup>1/2</sup> sukladno normi ISO 8501-1. Nakon toga nanešen je troslojni sustav premaza. Drugih deset uzoraka nakon protočne sačmare, odmašćeno je i fosfatirano sredstvom „PressurePro Phosphating Agent RM 48“ i zaštićeno nakon 7 dana, bez prethodnog čišćenja, da bi se utvrdila važnost kvalitetne pripreme površine. Na dva uzorka nije nanesen premaz zbog ispitivanja hrapavosti površine. Slika 15. prikazuje nanošenje završnog premaza na uzorke.



Slika 15. Nanošenje završnog premaza na uzorke, Midi d.o.o.

Slika 16. prikazuje numerirane uzorke prije ispitivanja fizikalnih svojstava i stavljanja u vlažnu, odnosno slanu komoru.



**Slika 16. Uzorci pripremljeni za ispitivanje**

Tablica 9. prikazuje raspored uzoraka za ispitivanje. Uzorci su grupirani prema prosječnim debljinama premaza.

**Tablica 9. Raspored uzoraka za ispitivanje**

Ispitivanje	Broj uzorka
Hrapavost površine	1, 11
Debljina premaza	svi uzorci
Prionjivost premaza - Cross cut test	svi iz vlažne i slane komore, i 6 i 12
Vlačna čvrstoća – Pull off test	svi iz vlažne i slane komore, i 6 i 12
Vlažna komora	2, 4, 8, 15, 19, 20
Slana komora	3, 5, 7, 13, 16, 17
Sjaj premaza	9, 13, 18

### 8.3. Ispitivanje hrapavosti površine

Ispitivanje hrapavosti površine provedeno je na uzorcima 1 i 11. Uzorak 1 je najprije sačmaren i zatim pjeskaren do Sa 2<sup>1/2</sup> prema ISO 8501-1. Uzorak 11 je sačmaren, zatim fosfatiran sredstvom „PressurePro Phosphating Agent RM 48“. Ispitivanje je provedeno uređajem Elcometer 224. Postupak je prikazan na slici 17., a rezultati mjerenja u tablici 10.



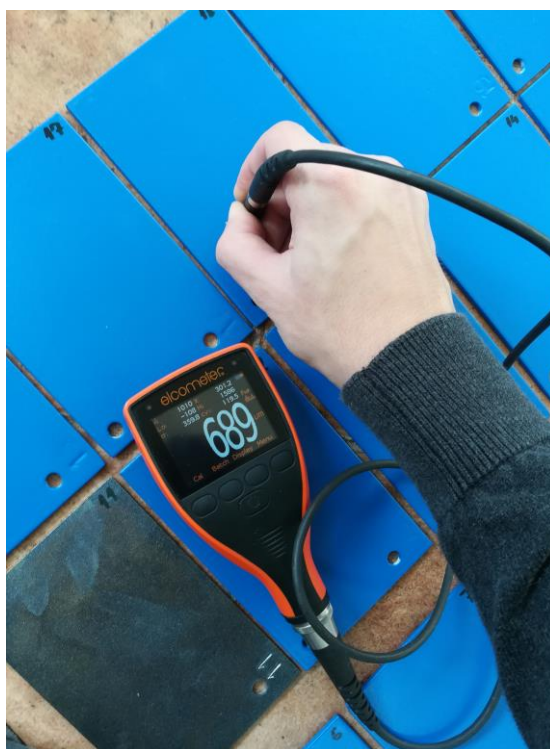
Slika 17. Postupak mjerenja hrapavosti na uzorku 11

Tablica 10. Rezultati mjerenja hrapavosti

broj mjerenja	uzorak 1	uzorak 11
1.	61	71
2.	50	58
3.	66	44
4.	86	25
5.	51	41
6.	44	58
7.	47	88
8.	41	68
9.	75	59
10.	39	72
srednja vrijednost:	56 μm	58 μm

#### 8.4. Mjerenje debljine premaza

Kontrola debljine filma premaza provodi se sukladno normi ISO 2808. Ispitivanje je provedeno na uređaju Elcometer 456 na svih 18 obojenih uzoraka (slika 18.). Prije korištenja uređaj je umjeren pomoću kontrolne pločice. Mjerenje je ponovljeno deset puta na jednom uzorku, a prosječne vrijednosti prikazane su u tablici 11.



Slika 18. Mjerenje debljine suhog filma (DSF)

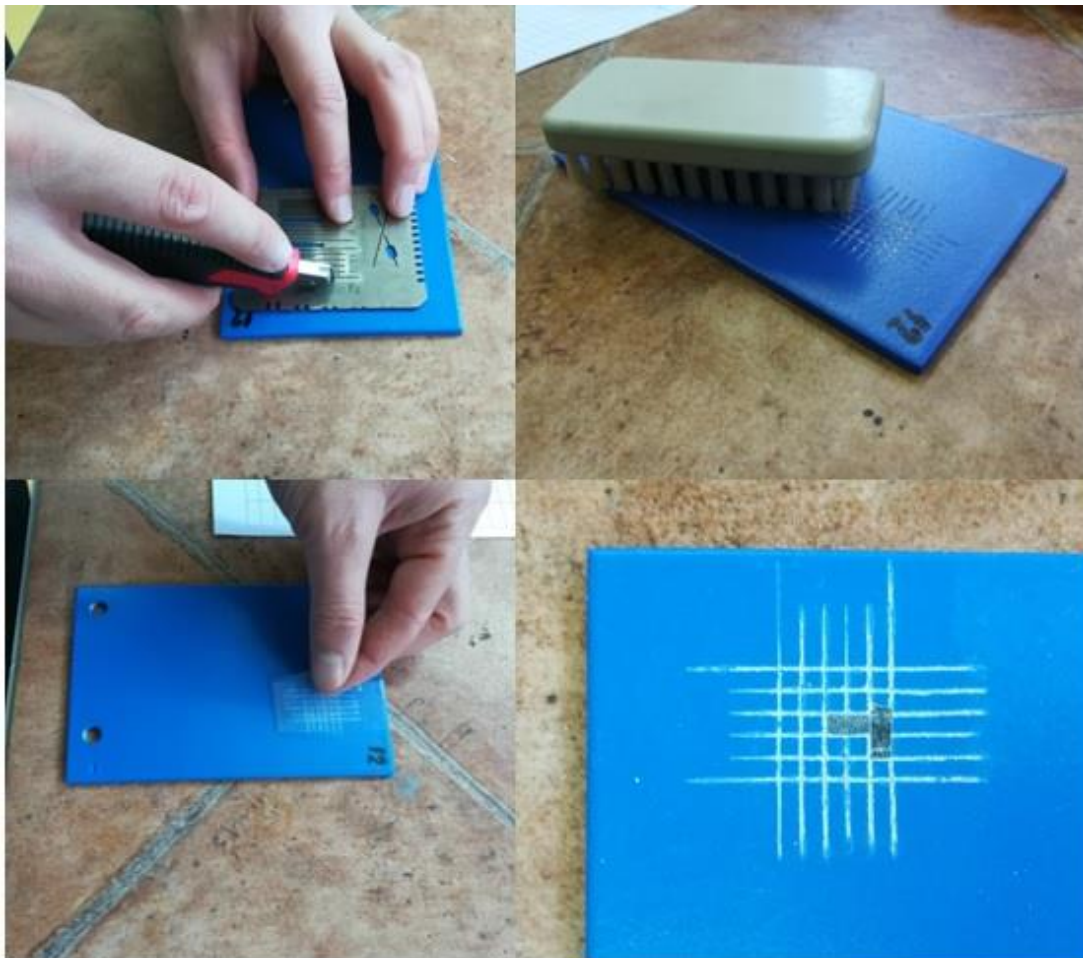
Tablica 11. Rezultati mjerenja DSF

Uzorak br.	DSF ( $\mu\text{m}$ )	Uzorak br.	DSF ( $\mu\text{m}$ )
2	469	12	435
3	494	13	496
4	477	14	428
5	484	15	447
6	505	16	490
7	500	17	472
8	483	18	444
9	543	19	462
10	510	20	454

### 8.5. Prionjivost premaza

Prionjivost premaza izravno utječe na kvalitetu njegova zaštitnog djelovanja na površini koju je nanesen kao i na vijek trajanja premaza. Prionjivost se određuje urezivanjem mrežice sukladno normi ISO 2409. Pomoću skalpela ureže se u premaz 2 x 6 ureza pod pravim kutom, čime se formira mrežica od 25 kvadratića. Urezivanje se obavlja jednolikom brzinom i urez mora doći do podloge. Urezi moraju biti jednoliki, a udaljenost između njih ovisi o debljini premaza [5].

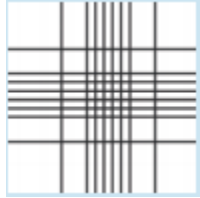
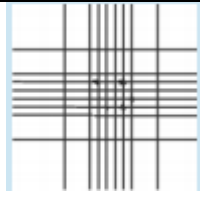
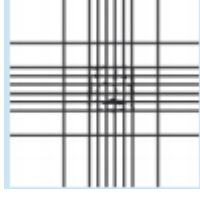
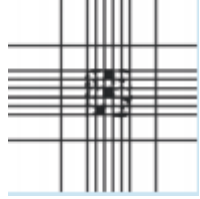
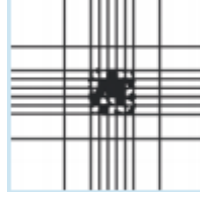
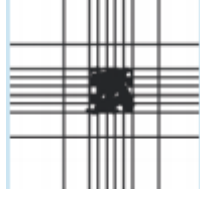
Nakon formirane mrežice, četkom se očiste čestice premaza nastale urezivanjem, zatim se zaljepi ljepljiva traka, i naglo približno pod kutem od 60° u odnosu na podlogu odljepi. Prikaz postupka dan je na slici 19. Za izvođenje postupka koristi se višenamjenski set Zehntner ZMG 2151.



Slika 19. Prikaz postupka ispitivanja Cross-cut testom

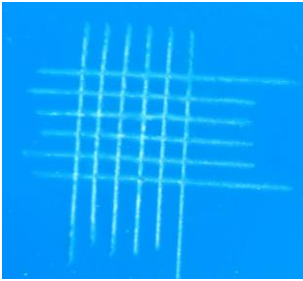
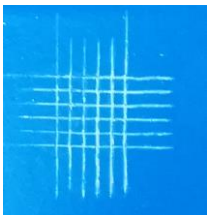
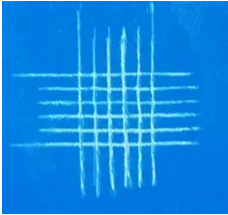
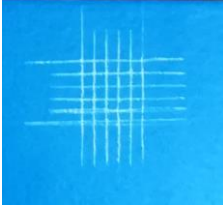
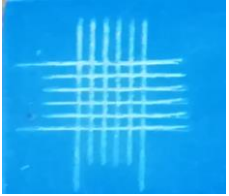
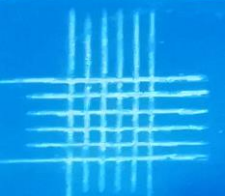
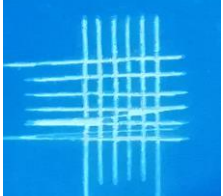
Kontrola prionjivosti vrši se na način, tako da se uspoređuje površina odvojenih čestica premaza s podlogama, u normi ISO 2409 (tablica 12.).

**Tablica 12. Ocjenjivanje prionjivosti premaza premaza ISO 2409 [15]**

Ocjena prionjivosti	Opis	Primjer
0	tragovi rezova su postupno glatki, nijedan kvadratić mrežice nije otkinut	
1	nešto premaza je oljušteno na sjecištima u mrežici, manje od 5 % površine je oštećeno	
2	dio premaza je oljušten na rubovima i sjecištima u mrežici 5 do 15 % površine je oštećeno	
3	premaz je oljušten duž rubova i unutar kvadratića mrežice, 15 do 35 % površine je oštećeno	
4	premaz je oljušten duž rubova cijelog reza, neki kvadratići su potpuno oljušteni, 35 do 65 % površine je oštećeno	
5	više od 65 % površine je oljušteno	

Ispitivanja grupe uzoraka koji su bili pripremljeni sačmarenjem i pjeskarenjem prikazana je u tablici 13.

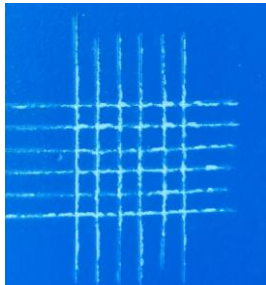
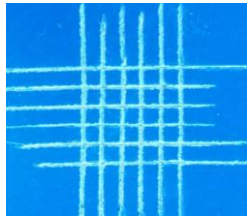
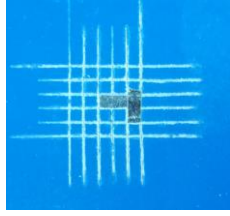
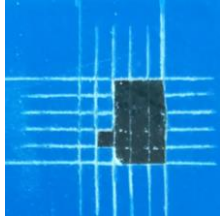
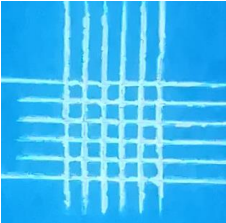
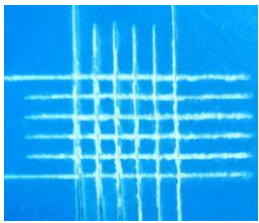
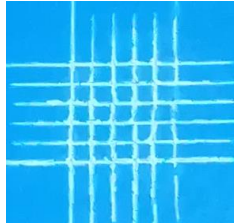
**Tablica 13. Rezultati ispitivanja grupe uzoraka od 1-10**

	Grupa uzorka od 1-10			Ocjena		
Etalonski uzorak 6				0		
Uzorci iz vlažne komore	2	4	8	2	4	8
				0	0	0
Uzorci iz slane komore	3	5	7	3	5	7
				0	1	1

Svi uzorci ove grupe imali su kvalitetnu pripremu površine, tako da je nakon ispitivanja u slanoj i vlažnoj komori prionjivost ostala ista kao i na uzorku 6 koji nije bio u komorama. Svi uzorci pokazuju zadovoljavajuću prionjivost.

Tablica 14. prikazuje rezultate ispitivanja grupe uzoraka od 10-20 koji su bili sačmaren i fosfatirani te je nakon 7 dana provedenih u pogonu gdje su bili izloženi metalnoj prašini i raznim prljavštinama nanešen sloj premaza.

**Tablica 14. Rezultati ispitivanja grupe uzoraka od 10-20**

	Grupa uzorka od 10-20			Ocjena		
Etalonski uzorak 12				0		
Uzorci iz vlažne komore	15	19	20	15	19	20
				0	3	4
Uzorci iz slane komore	13	16	17	13	16	17
				0	1	1

U ovoj grupi uzorci imaju slabiju prionjivost, zbog neadekvatne pripreme površine prije nanošenja premaza.



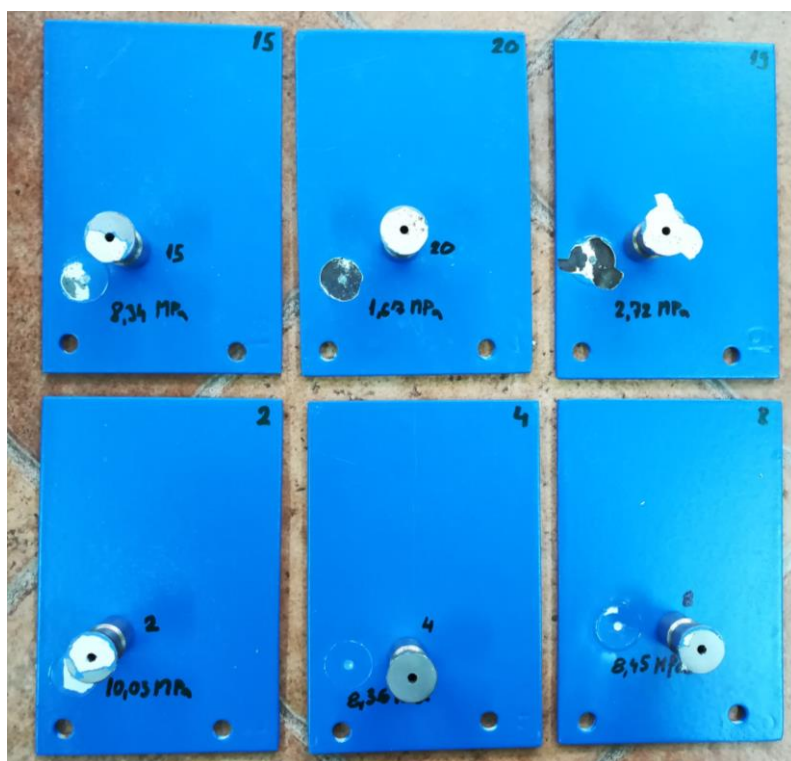
### 8.6. Ispitivanje prionjivosti premaza vlačnom metodom

Ispitivanje prionjivosti premaza, tzv. Pull-off test, provedeno je u skladu s normom ISO 4624. Ispitivanje se provodi tako da se kontrolni žig zaljepi s ravnom očišćenom površinom premaza te nakon određenog vremena hidrauličkim mjeracem odvoji kontrolni žig od premaza te se mjeri sila odvajanja (slika 20.). Prema normi ISO 12944-6, minimalni zahtjev za zadovoljavajući premaz je 5 MPa. Do odvajanja obično dolazi između slojeva premaza ili između temeljnog sloja i površine uzorka. Uređaj za ispitivanje je Elcometer 108.



Slika 20. Ispitivanje vlačne čvrstoće premaza Pull off testom

Na slici 21. prikazani su rezultati mjerenja prionjivosti premaza vlačnom metodom nakon vađenja uzoraka iz vlažne, odnosno slane komore.



Slika 21. Rezultati mjerenja nakon vađenja uzoraka iz slane komore

U tablici 15. prikazani su rezultati svih uzoraka koji su bili podvrgnuti Pull-off testu.

Tablica 15. Rezultati ispitivanja prionjivosti metodom vlačne čvrstoće

Pull off test			
Uzorak	Izmjerena vrijednost (MPa)	Uzorak	Izmjerena vrijednost (MPa)
2	10,03	15	8,34
4	8,36	19	2,72
8	8,45	20	1,67
3	6,26	13	1,68
5	7,78	16	4,94
7	7,4	17	4,08
6	7,69	12	8,61

	uzorci iz vlažne komore		uzorci iz slane komore
--	-------------------------	--	------------------------

U tablici 15. jasno se vidi da utjecaj okoline u ubrzanim korozivskim testovima u komorama, nema tolikog utjecaja na prionjivost premaza, koliko priprema same površine prije nanošenja. Svi uzorci iz prve grupe od 1-10 zadovoljavaju minimalni kriterij od 5 MPa, najmanji iznosi 6,26 MPa (uzorak 3) dok najveću vlačnu čvrstoću ima uzorak 2, čak 10,03 MPa. Problem se nalazi u drugoj grupi uzoraka od 10-20, koji ne zadovoljavaju uvjet od 5 MPa, njih 5 od 7, zbog neadekvatne pripreme površine.

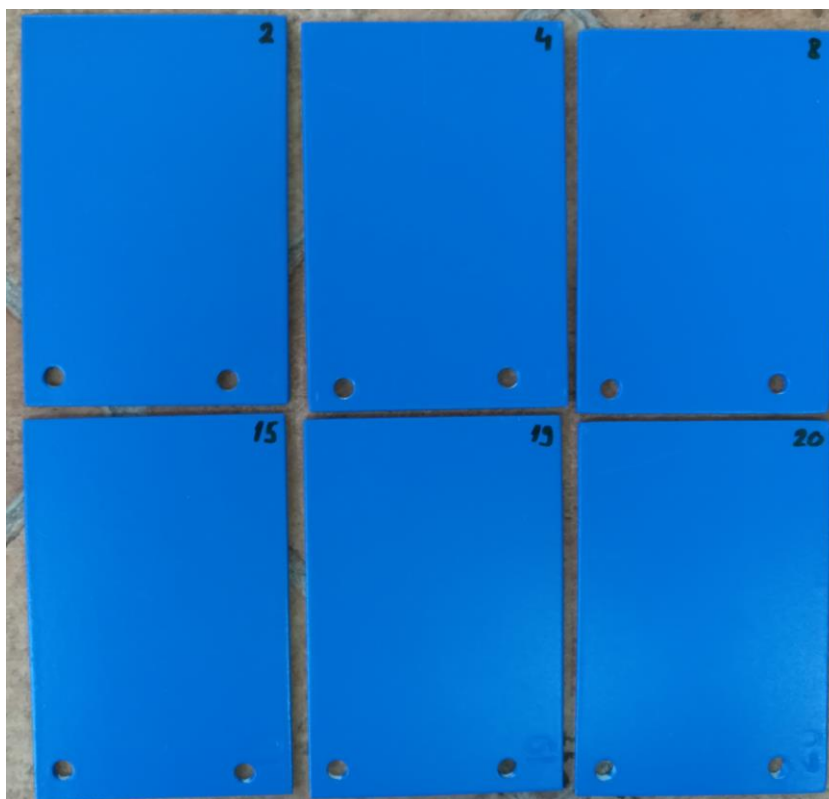
### 8.7. Ispitivanje u vlažnoj komori

Sukladno normi ISO 6270-2, provedeno je ispitivanje uzoraka u vlažnoj komori. Prema navedenoj normi, za kategoriju korozivnosti C4-H uzorci su bili u komori 480 h. Temperatura pri ispitivanju bila je  $40\pm 3$  °C, pri uvjetima 100 % -tne relativne vlažnosti, gdje dolazi do orošavanja uzoraka. Komora je opremljena posudom za prihvatanje vode ispod koje se nalazi grijač koji omogućava kontinuirano isparavanje te kondenzaciju na površini uzorka. Ispitivanju je podvrgnuto šest uzoraka po tri iz svake skupine, 2, 4, i 8 iz prve skupine od 1-10, te uzorci 15, 19, i 20 iz druge skupine od 10-20 (slika 22.).

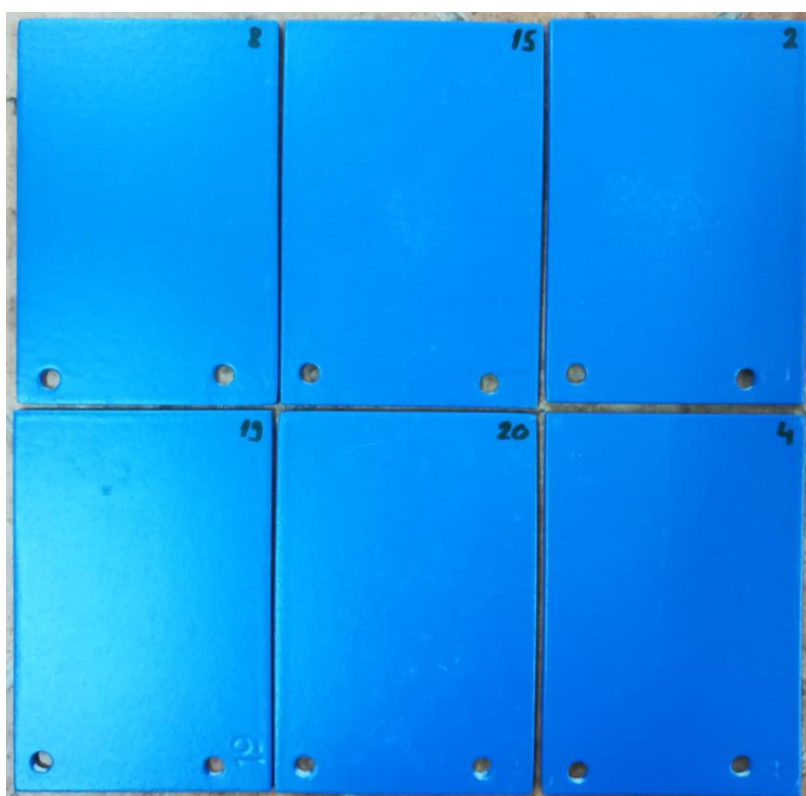


Slika 22. Uzorci u vlažnoj komori tipa Humidity cabinet model AB6

Na slici 23., prikazani su uzorci prije stavljanja u vlažnu komoru te uzorci nakon 480 h ispitivanja na slici 24.



Slika 23. Uzorci prije vlažne komore



Slika 24. Uzorci nakon ispitivanja u vlažnoj komori

Vizualnim pregledom površina uzoraka nakon ispitivanja u vlažnoj komori, zaključeno je da na uzorcima nisu uočene promjene izgleda u pogledu bubrenja, pucanja, ljuštenja itd. Uočene su samo mrlje od sušenja kapljica vode. Na temelju rezultata, možemo zaključiti da je premaz postojan u vlažnoj atmosferi.

### **8.8. Ispitivanje u slanoj komori**

Ispitivanjima u slanoj komori simuliraju se uvjeti izloženosti morskoj atmosferi, prema normi ISO 9227. Ispitivanje je provedeno u slanoj komori tipa Ascott S450 (slika 25.) u trajanju od 720 h za korozivnost okoliša C4-H, u kojoj je temperatura  $35\pm 2$  °C te se prema uzorcima raspršuje 5 % tna otopina NaCl. Uzorci su postavljeni na dovoljnom međusobnom razmaku kako ne bi došlo do kapanja kondenzata na drugi uzorak te pod blagim nagibom, kako se kondenzat ne bi zadržavao na premazu. Prije stavljanja uzoraka u komoru, napravljeni su urezi kako bi se ubrzali korozijski procesi i promatralo širenje korozije ispod oštećenja premaza.



**Slika 25. Ispitivanje u slanoj komori**

Slika 26. prikazuje uzorke prije stavljanja u komoru, a na slici 27. su uzorci nakon 720 h ispitivanja.



Slika 26. Uzorci prije stavljanja u slanu komoru



Slika 27. Uzorci nakon 720 h u slanoj komori

Kao što je vidljivo na prethodnim slikama, nema promjena izgleda u premazu, pa se može ustvrditi da je ovaj sustav premaza postojan u slanoj atmosferi. Širenje korozije po urezu intenzivnije je na uzorcima 13, 16, 17 koji nisu bili pjeskareni.

### **8.9. Ispitivanje sjaja površine premaza**

Sjaj površine može se karakterizirati stupnjem njegova približavanja zrcanoj površini. Ovo ispitivanje provodi se u skladu s normom ISO 2813. Instrument koji je korišten pri ispitivanju je Glossmeter TQC PolyGloss (slika 28.). Mjerenje se provodi okomitim postavljanjem uređaja na uzorak i očitanjem vrijednosti, uz prethodno umjeravanje uređaja na crnom tijelu. Izvršeno je mjerenje na uzorcima 9, 13, i 18, a rezultati su prikazani u tablici 16.



**Slika 28. Mjerenje sjaja površine premaza**

Tablica 16. Izmjerene vrijednosti sjaja - mjerna jedinica GU

Uzorak br.	Br. mjerenja	20°	60°	85°
9	1.	1,7	11,7	6,3
	2.	1,6	11,4	5,7
	3.	1,6	11,3	5,5
13	1.	1,2	9,4	4,7
	2.	1,3	9,3	5,0
	3.	1,3	9,2	5,0
18	1.	1,4	9,5	2,2
	2.	1,4	9,7	2,6
	3.	1,4	9,8	3,2

Svi uzorci imaju podjednaki sjaj površine i klasificiraju se u mat premaze.



## 9. ZAKLJUČAK

Zaštita premazima najzastupljeniji je oblik zaštite materijala u atmosferskim uvjetima. S današnjim stupnjem razvitka sustava preaza i njihove djelotvornosti, moguće je uz pravilnu upotrebu i projektiranje, dugotrajno zaštititi konkretne konstrukcije. U eksploataciji transformatora, nema nekih značajnih naprezanja ili trošenja dijelova transformatora uslijed normalnog rada, osim djelovanja korozije uslijed izlaganja atmosferskim uvjetima. Zato je antikorozivna zaštita, ključan čimbenik u životnom vijeku transformatora. U slučaju neadekvatne zaštite, iako se koriste deblji limovi za izradu kućišta, moguće je eventualno propuštanje stijenke kućišta u kojem se nalazi ulje za hlađenje jezgre, koje bi moglo prouzročiti znatne indirektno troškove, zbog uloge transformatora u elektromreži. Stoga je neophodno primijeniti odgovarajuću zaštitu. Ispitani premazi na temelju epoksidnih smola i poliuretana pokazuju, uz pravilnu pripremu površine, odlična svojstva prijanjanja na podlogu, otpornost na vlažnu i slanu atmosferu te zadovoljavajuća dekorativna svojstva, što je prikazano u eksperimentalnom dijelu rada. Važnu ulogu zauzima i neposredna kontrola parametara pri aplikaciji, kao i naknadne laboratorijske probe, simulacije i mjerenja. Uz velik izbor načina antikorozivne zaštite, premazi pružaju najekonomičnije rješenje te se stoga u velikoj mjeri koriste u svim klimatskim područjima te se kontinuirano razvijaju i poboljšavaju njihova zaštitna svojstva.

## LITERATURA

- [1] E. Stupnišek-Lisac: Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2007.
- [2] S. Mladenović, I. Vučković, M. Milenković: Korozija i zaštita, Tehnička knjiga, Beograd, 1966.
- [3] I. Esih, Z. Dugi: Tehnologija zaštite od korozije II, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1992.
- [4] I. Esih, Z. Dugi: Tehnologija zaštite od korozije, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
- [5] I. Juraga, V. Alar, I. Stojanović: Korozija i zaštita premazima, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, FSB, Zagreb, 2014.
- [6] I. Juraga, V. Alar, I. Stojanović, V. Šimunović: Korozija i metode zaštite od korozije skripta, Zagreb, FSB, 2009.
- [7] »[https://www.fsb.unizg.hr/usb\\_frontend/files/1429524863-0-im\\_korozija\\_15compatibilitymode.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1429524863-0-im_korozija_15compatibilitymode.pdf),« [Pristupio 5. Veljače. 2018].
- [8] I. Juraga, V. Šimunović, I. Stojanović, V. Alar: Mehanizmi zaštite od korozije- autorizirana predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012.
- [9] D. Kjærsmo, K. Kleven, J. Schele: Corrosion protection, HEMPEL A/S, 2003.
- [10] »[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://brod.sfsb.hr/~saracic/Diplomski/Nova%2520mapa/Boje.ppt&gws\\_rd=cr&ei=LWziWJ\\_YIqSZgAaXzp6ICg](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://brod.sfsb.hr/~saracic/Diplomski/Nova%2520mapa/Boje.ppt&gws_rd=cr&ei=LWziWJ_YIqSZgAaXzp6ICg),« 2018. [Pristupio 8. Veljače. 2018].
- [11] N. Rački-Weihnacht: Boje i lakovi, jučer danas sutra, Chromos, Zagreb, 2004.
- [12] <http://www.zehntner.com/products/categories/adhesion/zmg-2151#downloads>, Zehntner. [Pristupio 13. Veljače. 2018].
- [13] »[www.hempel.hr](http://www.hempel.hr),« Hempel. [Pristupio 10. Veljače. 2018].
- [14] L. D. Vincent: Corrosion prevention by protective coatings, NACE International, Houston, 1997.
- [15] H.-J. Gessner: Coating Material - Chemical Technical Solutions for Transformers and Radiators, Ching, Erlangen, 2009.

## **PRILOZI**

I. CD-R disc