

# Utjecaj vrste zavarenog spoja na svojstva korozijske zaštite organske prevlake

---

**Majić, Jerko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:951840>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-17**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Jerko Majić**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Vinko Šimunović, dipl. ing.

Student:

Jerko Majić

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Vinku Šimunoviću na savjetima pri izradi završnog rada te ukazanom strpljenju.

Jerko Majić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomske 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: 602 – 04 / 22 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Jerko Majić**

JMBAG: **0035215501**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Utjecaj vrste zavarenog spoja na svojstva korozijske zaštite organske prevlake**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Influence of weld joint type on corrosion protection properties of organic coating**

Opis zadatka:

Konstruktivski materijali, a prvenstveno nelegirani čelici koji se često koriste za izradu različitih konstrukcija, podložni su štetnom djelovanju korozivskih procesa koji smanjuju njihovu uporabnu vrijednost i dovode do velikih šteta. U pravilu se konstrukcije od nelegiranih čelika izvode u zavarenoj izvedbi, a kao najzastupljenija metoda zaštite od korozije koriste se organske prevlake čija zaštitna svojstva ovise dakako o vrsti prevlake, ali i o brojnim drugim čimbenicima od kojih su vrlo važni stanje površine prije nanošenja prevlake kao i, kada je riječ o zavarenim konstrukcijama, samo konstrukcijsko rješenje zavarenog spoja.

U teorijskom dijelu rada potrebno je proučiti atmosfersko korozivsko oštećivanje nelegiranih čelika te dati prikaz najčešće korištenih metoda zaštite. Detaljno izučiti zaštitu organskim prevlakama te čimbenike koji djeluju na zaštitna svojstva.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je osmisliti i provesti laboratorijska ispitivanja na čeličnim uzorcima različitih vrsta zavarenih spojeva zaštićenih organskom prevlakom s ciljem utvrđivanja utjecaja vrste zavarenog spoja na sklonost koroziji u atmosferskim uvjetima.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. **Vinko Šimunović**

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.  
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.  
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.  
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.  
3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. **Branko Bauer**

# SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>III</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>V</b>
<b>POPIS OZNAKA.....</b>	<b>VI</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>VII</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>VIII</b>
<b>1. KOROZIJA.....</b>	<b>1</b>
1.1. UVOD U KOROZIJU.....	1
1.2. TROŠKOVI KOROZIJE .....	2
1.3. PODJELA KOROZIJE.....	3
1.3.1. VRSTE KOROZIJE PREMA MEHANIZMU PROCESA.....	3
1.3.1.1. KEMIJSKA KOROZIJA.....	4
1.3.1.2. ELEKTROKEMIJSKA KOROZIJA .....	5
1.3.2. VRSTE KOROZIJE PREMA GEOMETRIJI KOROZIJSKOG RAZARANJA.....	5
1.3.2.1. OPĆA KOROZIJA.....	6
1.3.2.2. GALVANSKA KOROZIJA .....	7
1.3.2.3. KOROZIJA U PROCJEPU .....	8
1.3.2.4. RUPIČASTA KOROZIJA .....	8
1.3.2.5. INTERKRISTALNA KOROZIJA .....	10
1.3.2.6. EROZIJSKA KOROZIJA .....	11
1.3.2.7. NAPETOSNA KOROZIJA.....	12
1.3.3. VRSTE KOROZIJA PREMA KOROZIVNIM SREDINAMA .....	13
<b>2. ATMOSFERSKA KOROZIJA.....</b>	<b>14</b>
<b>3. ZAŠTITA OD KOROZIJE .....</b>	<b>19</b>
3.1. ZAŠTITA PREVLAČENJEM.....	19
<b>4. ZAŠTITA ORGANSKIM PREVLAČENJEM.....</b>	<b>20</b>
4.1. VEZIVO .....	20
4.2. OTAPALA .....	21

---

4.3. PIGMENTI .....	21
4.4. PUNILA .....	21
4.5. ADITIVI .....	22
4.6. SUŠENJE PREMAZA .....	22
4.6.1. FIZIKALNO SUŠENJE .....	22
4.6.2. KEMIJSKO SUŠENJE .....	23
4.6.2.1. OKSIDACIJSKO SUŠENJE .....	23
4.6.2.2. DVOKOMPONENTNO SUŠENJE .....	23
<b>5. EKSPERIMENTALNI DIO .....</b>	<b>24</b>
5.1. PRIPREMA UZORAKA .....	24
5.2. MJERENJE HRPAVOSTI POVRŠINE UZORAKA .....	26
5.3. NANOŠENJE PREMAZA NA UZORKE .....	28
5.3.1. NANOŠENJE PRVOG SLOJA .....	28
5.3.1.1. MJERENJE DEBLJINE PRVOG SLOJA .....	29
5.3.2. NANOŠENJE DRUGOG SLOJA .....	31
5.3.2.1. MJERENJE DEBLJINE NAKON NANOŠENJA .....	31
5.4. ISPITIVANJE PRIONJIVOSTI PRIJE ISPITIVANJA U SLANOJ KOMORI .....	33
5.5. UREZIVANJE UZORAKA .....	36
5.6. ISPITIVANJE U SLANOJ KOMORI .....	37
5.7. OCJENJIVANJE STUPNJA KOROZIJE .....	41
5.8. ISPITIVANJE PRIONJIVOSTI NAKON ISPITIVANJA U SLANOJ KOMORI .....	43
5.9. UTJECAJ VRSTE ZAVARA NA KOROZIJSKO DJELOVANJE .....	45
5.10. ANALIZA REZULTATA .....	46
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>48</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>49</b>

## POPIS SLIKA

Slika 1. Opća korozija podvodnog dijela brodskog trupa [1] .....	6
Slika 2. Galvanska korozija između vijka i ploče [7].....	7
Slika 3. Korozijsko oštećenje u procjepu [8] .....	8
Slika 4. Primjeri oštećenja rupičaste korozije [9].....	9
Slika 5. Primjer rupičaste korozije [10].....	9
Slika 6. Pojava interkristalne korozije kod zavara [11].....	10
Slika 7. Shematski prikaz mehanizma nastajanja interkristalne korozije u području zavarenog spoja [1] .....	10
Slika 8. Erozijska korozija nastala turbulentnim strujanjima vode [12] .....	11
Slika 9. Napetosna korozija u zoni utjecaja topline nastala zavarivanjem [12].....	12
Slika 10. Brzina korozije u pokrajini New South Wales u Australiji [2].....	14
Slika 11. Korozijsko djelovanje automobila u SAD-u [3] .....	15
Slika 12. Kutub-stup od lijevanog željeza star 1700 godina [2] .....	15
Slika 13. Atmosferska korozija nelegiranog čelika [7] .....	18
Slika 14. Atmosferska korozija čelične konstrukcije mosta [16].....	18
Slika 15. Škare "KNUTH KHT 3206 c" i uređaj za zavarivanje "EWM Taurus 401" .....	24
Slika 16. Uzorci sa kontinuiranim zavarom (lijevo) i sa isprekidanim zavarom (desno) .....	25
Slika 17. Uzorak za ispitivanje prionjivosti premaza.....	25
Slika 18. Pjeskareni uzorci .....	26
Slika 19. Usporedba pjeskarene površine s komparatorom hrapavosti prema HRN EN ISO 8503-1.....	26
Slika 20. Uređaj za mjerenje hrapavosti površine Positector RTR .....	27
Slika 21. Postupak utiskivanja trakice na površinu uzorka .....	27
Slika 22. Mjerenje hrapavosti na uređaju Positector RTR .....	28
Slika 23. Priprema mješavine premaza .....	28
Slika 24. Nanošenje premaza .....	29
Slika 25. "Elcometer" uređaj za mjerenje debljine prevlake.....	29
Slika 26. Priprema mješavine.....	31
Slika 27. Hempathane Fast Dry 55750 nanešen na uzorcima .....	31
Slika 28. Mjerenje debljine prevlake uređajem „Positector 6000“ .....	32
Slika 29. Uzorci za ispitivanje prionjivosti premaza.....	33
Slika 30. Šablona za Cross-cut metodu.....	33



---

Slika 31. Klasifikacija testa prionjivosti "Cross-cut" metodom prema HRN EN ISO 2409....	34
Slika 32. Test prionjivosti na uzorcima P1 i N1 .....	35
Slika 33. Test prionjivosti na uzorku N1 (lijevo) i P1 (desno) .....	35
Slika 34. Urezivanje ureza.....	36
Slika 35. Uzorci sa urezom.....	36
Slika 36. Uzorci postavljeni u komoru (lijevo) i uzorci nakon 48h u komori (desno).....	37
Slika 37. Utjecaj korozije kod pjeskarenog (lijevo) i neobrađenog (desno) uzorka .....	46
Slika 38. Ispitivanje prionjivosti premaza na pjeskarenom (lijevo) i neobrađenom (desno) uzorku .....	47
Slika 39. Korozijsko oštećivanje uzoraka sa isprekidanim i kontinuiranim zavarenim spojem .....	47

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Troškovi nastali zbog korozije metala u SAD-u [3].....	3
Tablica 2. Popis oznaka uzoraka .....	30
Tablica 3. Vrijednosti debljina prevlake prvog sloja .....	30
Tablica 4. Vrijednosti debljina premaza nakon nanošenja.....	32
Tablica 5. Izbor odgovarajućeg razmaka zareza prema HRN EN ISO 2409 .....	34
Tablica 6. Parametri ispitivanja.....	37
Tablica 7. Ispitivanje u slanoj komori nakon 72h .....	38
Tablica 8. Ispitivanje u slanoj komori nakon 192h .....	39
Tablica 9. Ispitivanje u slanoj komori nakon 384h .....	40
Tablica 10. Vrijednosti stupnja korozije .....	41
Tablica 11. Ocjena stupnja korozije .....	42
Tablica 12. Ispitivanje prionjivosti na uzorcima iz slane komore.....	44
Tablica 13. Korozijsko oštećivanje uzoraka sa isprekidanim zavarenim spojem .....	45

**POPIS OZNAKA**

Oznaka	Jedinica	Opis
c	mm	stupanj korozije
w <sub>c</sub>	mm	širina zone korozije
w	mm	širina ureza

---

**SAŽETAK**

Nelegirani niskougljični čelici imaju široku primjenu u industriji, najčešće pri izradi konstrukcija pa se nazivaju i konstrukcijski čelici. Zbog niskog udjela ugljika pogodni su za zavarivanje. Relativno im je niska cijena pa su to i najzastupljeniji čelici na tržištu.

Kako bi se usporilo ili spriječilo korozijsko djelovanje, jedna od metoda je zaštita materijala prevlakama. Djelovanje prevlaka ovisi o vrsti i debljini prevlake, stupnju njezine kompaktnosti ali o čvrstoći prijanjanja na sam materijal.

U radu su opisane vrste korozija prema njihovom djelovanju i oštećivanju materijala. Detaljnije je opisana atmosferska korozija, najrašireniji oblik korozije, te zaštita od korozijskog djelovanja organskim prevlakama.

Eksperimentalnim radom provedeno je korozijsko ispitivanje zavarenih uzoraka zaštićenih prevlakom. Analiziran je stupanj djelovanja korozijskog oštećivanja te utjecaj na prionjivost prevlake.

Ključne riječi: nelegirani čelici, korozijsko djelovanje, zaštita prevlakama, zavareni spoj

## **SUMMARY**

Non-alloyed low carbon steels are widely used in industry. They are often called structural steels. Due to their small carbon percentage, they are suitable for welding. Their price is relatively low, so they are the most represented steels in the industry.

In order to slow down or prevent corrosion impact, one method is to protect the material with coatings. Protection of the coating depends on the type and thickness of the coating, the degree of its compactness or the strength of adhesion to the material itself.

The paper describes the types of corrosion according to their action and the damage to the material. Atmospheric corrosion, the most widespread form of corrosion, and protection against corrosion by organic coatings are described in more detail.

Corrosion testing of welded samples protected by coating was performed by experimental work. The degree of corrosion damage and the impact on the adhesion of the coating were analyzed.

**Key words:** Non-alloyed steels, corrosion impact, coating protection, welded joint

# 1. KOROZIJA

## 1.1. UVOD U KOROZIJU

Najopćenitija definicija korozije bi bila da je to nepoželjno trošenje konstrukcijskih materijala uslijed kemijskih, bioloških i fizikalnih djelovanja okoline. Mogu korodirati i drugi materijali kao što su keramika, staklo, polimerni materijali i beton, ali najčešće kada se govori o koroziji, a ne spominje se posebno materijal, misli se na koroziju metala. [1]

Prilikom obradbe metala podižemo energiju metala i stavljamo ga u nestabilan položaj, te on automatski teži povratku u stabilnu rudu, kakvu pronalazimo u prirodi. Upravo se to događa i kod korozije, prirodna reakcija metala povratka u stabilne spojeve. Stoga je korozija navedena kao nepoželjno i nenamjerno trošenje materijala zato što je to spontani i prirodni proces povratka metala u stabilne spojeve niže energije. Smanjivanje slobodne energije je pokretačka sila procesa korozije. Ta pokretačka sila je uzrok štetnoj pojavi ili procesu pa je brzina oštećivanja razmjerna pokretačkoj sili. Njezinu se djelovanju, međutim, opiru fizikalni i kemijski otpori kojima je brzina oštećivanja obrnuto razmjerna. Veličine pokretačke sile i otpora ovise o unutarnjim i vanjskim čimbenicima oštećivanja. [1,2]

Za unutarnje su čimbenike mjerodavna obilježja materijala, a za vanjske obilježja okoline. Najvažniji unutarnji čimbenici oštećivanja su sastav materijala, prostorni raspored, veličina i oblik kristala, učestalost i vrsta defekata kristalne rešetke, zaostala mehanička naprezanja, oblik predmeta te stanje površine u pogledu onečišćenja, površinskih filmova i hrapavosti. Među vanjskim čimbenicima oštećivanja glavni su sastav medij, tj. okolnog fluida, temperatura, tlak i druga mehanička opterećenja, relativna brzina gibanja između materijala i medija, stupanj turbulencije fluida, prisutnost čvrstih čestica u njemu te dodir s drugim konstrukcijskim materijalima. [1,2]

Vanjski čimbenici koji uvjetuju koroziju mogu se podijeliti na [1]:

- Kemijske čimbenike
- Fizikalne čimbenike
- Biološke čimbenike
- Električne čimbenike

## 1.2. TROŠKOVI 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, smanjuju proizvodne kapacitete korodirane opreme, pogoršava kvalitetu proizvoda, itd. Zbog svega u pojedinom poduzeću, privrednoj grani ili u privredi kao cjelini nastaju golemi gubici. Ti gubitci mogu biti [3,4]:

- a) izravni – izazvani većim troškovima zbog ranije zamjene korodirane opreme te zbog održavanja i provođenja zaštite
- b) neizravni – povezani sa smanjenjem vrijednosti proizvodnje, a time i s manjim prihodima

Ekonomsko značenje korozije raste s industrijalizacijom i mehanizacijom privrede. Količina ugrađenog konstrukcijskog materijala stalno se povećava, a istodobno se pogoršavaju korozijski uvjeti kojima je taj materijal izložen jer se zbog razvoja tehnologije sve češće primjenjuju visoke temperature, tlakovi i naprezanja, velike brzine gibanja i agresivne kemikalije. Osim toga i atmosfera, voda i tlo zagađivanjem postaju sve agresivniji. [3, 4]

U najnovije doba zaoštrava se svjetska kriza sirovina i energije, što samo povećava ekonomsko značenje korozije i zaštite od nje. Rudna se nalazišta iscrpljuju, a rude postaju sve siromašnije. Iako troškovi korozijskog oštećivanja svih vrsta su procijenjeni između 3 do 5 % bruto domaćeg proizvoda (BDP) industrijski razvijenih zemalja, odgovornosti povezani s tim problemima poprilično su velike. Korozija metala koštala je ekonomiju SAD-a skoro 300 milijardi dolara na godišnjoj razini po cijenama iz 1995. godine. Istraživanja su pokazala da upotreba korozijski postojanijih materijala i primjena najboljih tehničkih praksi u vezi s korozijom može dovesti do smanjenja tih troškova za čak 33%. Daljnjim istraživanjima pokazano je da je u SAD-u 1975. godine 60% troškova korozijskih oštećenja bilo neizbježno. Preostalih 40% troškova se moglo izbjeći i nastali su zbog neupotrebe najboljih tehnoloških praksi tada dostupnih. Tablica 1 pokazuje troškove korozije metala u SAD-u te omjer troškova koji se mogu izbjeći. [3,4]

**Tablica 1. Troškovi nastali zbog korozije metala u SAD-u [3]**

	1975	1995
Sva industrija		
ukupno ( u mlrd. dolara)	\$82,5	\$296,0
moguće izbjeći	\$33,0	\$104,0
moguće izbjeći	40%	30%
Auto industrija		
ukupno	\$31,4	\$94,0
moguće izbjeći	\$23,1	\$65,0
moguće izbjeći	73%	35%
Avio industrija		
ukupno	\$3,0	\$13,0
moguće izbjeći	\$0,6	\$3,0
moguće izbjeći	20%	23%
Ostale vrste industrije		
ukupno	\$47,6	\$189,0
moguće izbjeći	\$9,3	\$36,0
moguće izbjeći	19%	19%

### 1.3. PODJELA KOROZIJE

Obzirom da je područje korozije jako široko područje, postoji i više različitih podjela korozije.

Korozija se dijeli prema [1,3]:

- mehanizmu procesa (djelovanja)
- geometriji korozijskog razaranja
- korozivnim sredinama

#### 1.3.1. VRSTE KOROZIJE PREMA MEHANIZMU PROCESA

Korozija se dijeli na kemijsku i elektrokemijsku koroziju, kada se gleda podjela korozije prema mehanizmu procesa. [1]



### 1.3.1.1. KEMIJSKA KOROZIJA

Kemijska korozija posljedica je kemijskih reakcija između metala i okoline odnosno događa se u medijima koji ne provode električnu energiju, tj. događa se u neelektrolitima pri čemu nastaju spojevi metala s nemetalnim elementima. To je korozija u neelektrolitima i suhim plinovima. Kemijska korozija sastoji se 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. Primjer reakcije kemijske korozije je oksidacija metala kisikom pri čemu se može uspostaviti ravnoteža [1,2]:



Brzinu kemijske korozije određuje više čimbenika, kao npr: [1]

- agresivna okolina koja okružuje metal koji korodira
- svojstva metala koji korodira
- korozijski produkti
- stanje površine metala (hrapavost, onečišćenja)
- naprezanja

Kao što je navedeno ranije pokretačku silu imaju samo one reakcije u kojima se oslobađa energija (energija produkata mora biti manja od energije reaktanata), tj. samo one koje se mogu zbivati spontano. Prirodna težnja metala je da se vrati u stanje niže energije spajanjem s drugim tvarima i oslobađanjem energije. Sam taj proces je zapravo pokretačka sila korozijskih reakcija. Dakle, legirajuće komponente, koje lako oksidiraju, značajno smanjuju brzinu korozije. Smanjenje brzine korozije postiže se i smanjenjem temperature čime se snizuje i energetska razina molekula i atoma koji međusobno reagiraju, te stvaranjem korozijskih produkata na površini metala koji ga u obliku zaštitnog sloja zaštićuju. Značajne se brzine kemijske korozije metala dostižu tek pri visokim temperaturama, kao npr. kaljenje, izmjena topline u ložištima kotlova. Nažalost kod velike većine kemijskih korozijskih procesa stvarni reakcijski mehanizam nije zapravo poznat, tako da su vrste reakcijskih otpora koji određuje brzinu reakcije nepoznati. [1,2]

### 1.3.1.2. ELEKTROKEMIJSKA KOROZIJA

Elektrokemijska korozija metala je kemijski redukcijско-oksidacijski proces ili „redoks“ proces. Ona nastaje na metalima u električki vodljivim sredinama kao što su prirodna i tehnička voda, vodene otopine kiselina, lužina, soli i drugih tvari, vlažno tlo te vlažna atmosfera. Oksidacija je proces pri kojem neka tvar ili skupina tvari otpušta elektrone, dok je redukcija proces u kojem neka tvar ili skupina tvari veže odnosno prima elektrone. Ta dva parcijalna elektrokemijska procesa daju ukupni redoks proces u kojemu ne sudjeluju električni naboji, što znači da se redukcijom vežu svi elektroni oslobođeni oksidacijom. Dakle broj elektrona koji se oslobađa u anodnoj reakciji mora biti jednak broju elektrona koji se troši u katodnoj reakciji, tj. anodna struja mora biti jednaka katodnoj struji. Te reakcije se moraju događati istodobno da bi anodna reakcija stvorila koroziju. U suprotnom reakcije postaju reverzibilne i uspostavlja se ravnoteža. [1,4]

Anodni proces je ionizacija metala i stvaranje elektrona, reakcija [4]:



Katodni proces

a) vodikova redukcija, reakcija:



b) kisikova redukcija, reakcija:



### 1.3.2. VRSTE KOROZIJE PREMA GEOMETRIJI KOROZIJSKOG RAZARANJA

Gledajući vrste korozije po njihovom geometrijskom djelovanju, odnosno prema svojem obliku oštećenja metala razlikuju se [1]: opća korozija, galvanska korozija, korozija u procjepu, rupičasta korozija, interkristalna korozija, erozijska korozija, napetosna korozija.

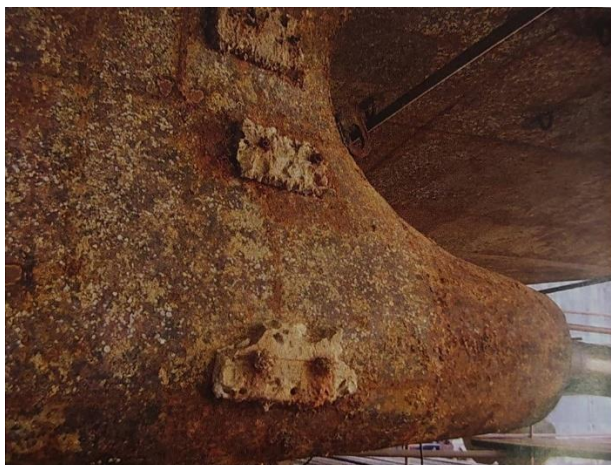
### 1.3.2.1. OPĆA KOROZIJA

Najčešći i najrašireniji oblik korozije je opća (jednolika) korozija. Ona podrazumijeva jednoliko zahvaćanje odnosno oštećivanje cjelokupne površine metala izloženog nekoj agresivnoj okolini. Agresivna okolina mora imati jednolik pristup svim dijelovima površine metala, ali i metal mora biti metalurški i kompozicijski ujednačen. Najveći gubitak metala ili materijala je uzrokovan zbog opće korozije. Izražava se u mm/god. Međutim, opća korozija se može predvidjeti i konstruktori pri projektiranju konstrukcije mogu izbjeći katastrofalne probleme nastale upravo zbog opće korozije. Opća korozija može djelovati ravnomjerno ali i neravnomjerno. Ravnomjerni oblik opće korozije je tehnički najmanje opasan jer se proces razaranja može lako pratiti i predvidjeti. S druge strane, puno opasnija je neravnomjerna opća korozija pri kojoj prosječna dubina prodiranja u materijal ne daje uvid u stvarnu sliku postojanosti konstrukcije. Takav način je puno opasniji i nepredvidljiviji.

Načini zaštite od opće korozije su [1,5,6]:

- izbor korozijski postojanijih materijala
- prevlačenje organskim prevlakama
- prevlačenje anorganskim prevlakama
- dodavanje inhibitora korozije u okolni medij
- elektrokemijske metode zaštite

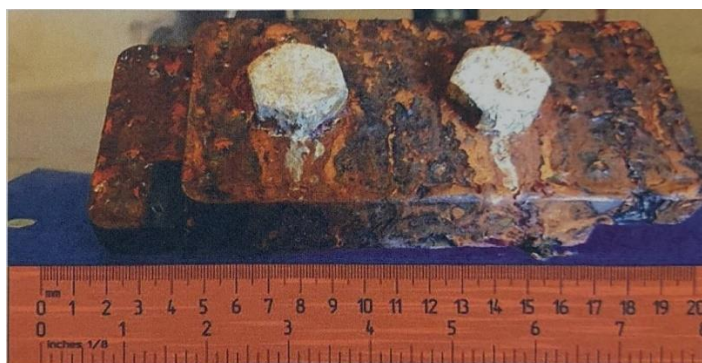
Slika 1 prikazuje opću koroziju podvodnog dijela broskog trupa.



**Slika 1. Opća korozija podvodnog dijela broskog trupa [1]**

### 1.3.2.2. GALVANSKA KOROZIJA

Kada se spoje dva ili više metala, u prisutnosti korozivnog elektrolita, različitog korozivnog potencijala dolazi do galvanske korozije. Spajanjem dvaju metala različitog potencijala u elektrolitu formira se galvanski članak, u kojemu je elektronegativniji metal anoda, a elektropozitivniji katoda. Zbog te razlike potencijala dolazi do toka električne energije od anode prema katodi, te oksidacije anode. Bilo koji metal će korodirati kada se spoji sa drugim metalom ili legurom metala sa pozitivnijim, tj. plemenitijim potencijalom u galvanskom nizu. Dok u isto vrijeme, metal sa pozitivnijim potencijalom je zaštićen od korozije. Svi metali mogu biti anoda ili katoda, sve ovisi o njihovom međusobnom korozivnom potencijalu u galvanskom nizu metala. Galvanski niz je raspored metala prema njihovom elektrodnom potencijalu izmjenom u specifičnome mediju u odnosu prema određenoj referentnoj elektrodi. U pravilu bi veću površinu trebao imati neplemenitiji metal u spoju, jer se time smanjuje gustoća korozijske struje. Inače bi došlo do ubrzanog trošenja anode. Ako se u konstrukciji moraju koristiti različiti metali, poželjno bi bilo da su to metali koji se nalaze što je moguće bliže u galvanskom nizu. U protivnom ih je potrebno međusobno izolirati, npr. prevlakama. [1,5]



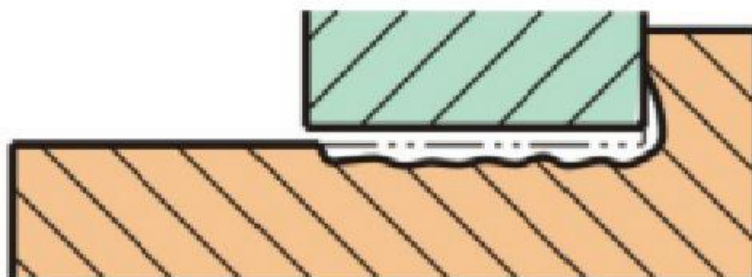
**Slika 2. Galvanska korozija između vijka i ploče [7]**

### 1.3.2.3. KOROZIJA U PROCJEPU

Ovaj tip korozije nastaje u uskim površinskim pukotinama ili u procijepima konstrukcijske izvedbe materijala istih korozijskih potencijala. U tim pukotinama i procijepima dolazi do nakupljanja vode i nečistoća, povećava se kiselost otopine, smanjuje se pH-vrijednost te povećava koncentracija agresivnih čimbenika. Unutarnji dio procijepa postaje anodno područje dok se katodna reakcija zbiva na vanjskom dijelu procijepa.

Povećanje otpornosti koroziji u procijepu može se postići izbjegavanjem uskih procijepa prilikom konstruiranja, izbjegavanjem nakupljanja naslaga, katodnom zaštitom, izbjegavanjem stagnacije medija ali i osiguravanjem drenaže. Kod zavarenih spojeva kako bi se izbjegla korozija poželjniji su kontinuirani i pravilno protaljeni sučeoni zavareni spojevi u odnosu na isprekidane i preklopne spojeve. [1]

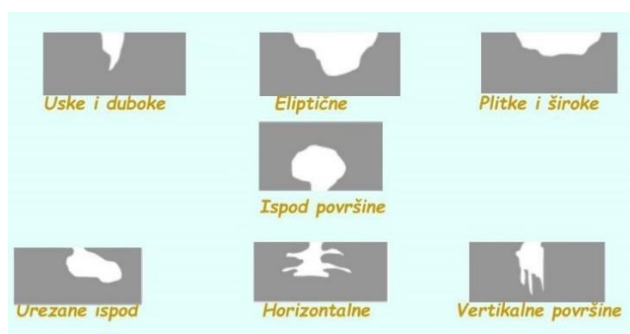
Slika 3 prikazuje korozijske oštećenje u procjepu.



**Slika 3. Korozijsko oštećenje u procjepu [8]**

### 1.3.2.4. RUPIČASTA KOROZIJA

Rupičasta korozija stvara lokalizirana oštećenja na inače otpornoj površini. Oštećenja su uglavnom kružnog oblika, mogu biti plitka, duboka ali i u nekim slučajevima dubina prodiranja može postati nekoliko puta veća od njezine širine na površini materijala, slika 4. [1,5]



**Slika 4. Primjeri oštećenja rupičaste korozije [9]**

Rupičasta korozija najčešće nastaje u vodenim otopinama s kloridnim ionima, te oni dovode do razaranja pasivnog filma. Najčešće je povezana sa nehrđajućim čelicima kao posljedica zavarivanja. Zbog velikog unosa topline, na površini materijala dolazi do pobojenosti uz zavareni spoj. Ta pobojenost na površini zapravo pogoduje nastajanju korozije. Uz pobojenost površine, nehomogenosti kao što su nečistoće, masti, vlaga, nakupine mikroorganizama, hrapavost površine te soli iz atmosfere isto pogoduju nastajanju rupičaste korozije. Kako bi spriječili nastajanje rupičaste korozije preporuča se upotreba visokolegiranog čelika s dodatkom Mo, nakon zavarivanja površinu mehanički, kemijski ili elektrokemijski obraditi, smanjiti agresivnost medija, anodna zaštita konstrukcije, itd. [1,5]

Slika 5 prikazuje primjer djelovanja rupičaste korozije.



**Slika 5. Primjer rupičaste korozije [10]**

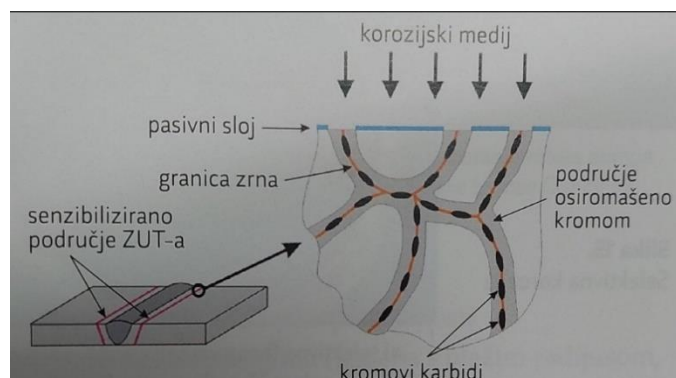
### 1.3.2.5. INTERKRISTALNA KOROZIJA

Interkristalna korozija je oblik korozije koji djeluje nevidljivo duž granica zrna (kristalita) i izaziva razaranje metalnih veza među kristalima u mikrostrukturi čelika, a zatim oštećivanje i cijelog dijela, slika 7. Interkristalna korozija je posebno opasan oblik korozije zato jer dugo može ostati neprimijećena, a uz to smanjuje čvrstoću i žilavost materijala. Najpoznatiji oblik interkristalne korozije javlja se u austenitnim nehrđajućim čelicima kada se toplinskom obradom metalurškom reakcijom s ugljikom iscrpljuju granice zrna kroma. Austenitni i feritni nehrđajući čelici su posebno podložni ovom tipu korozije. Sklonost interkristalnoj koroziji može se postići žarenjem (1050 do 1100 °C, 10 do 40min), stabilizacijom karbidotvornim metalima (Ti, Nb, Ta) koji su jači karbidotvorci od Cr, te snižavanjem udjela ugljika što onemogućuje izlučivanje karbida. [1,5]

Slika 6 prikazuje pojavu interkristalne korozije u području zavarenog spoja.



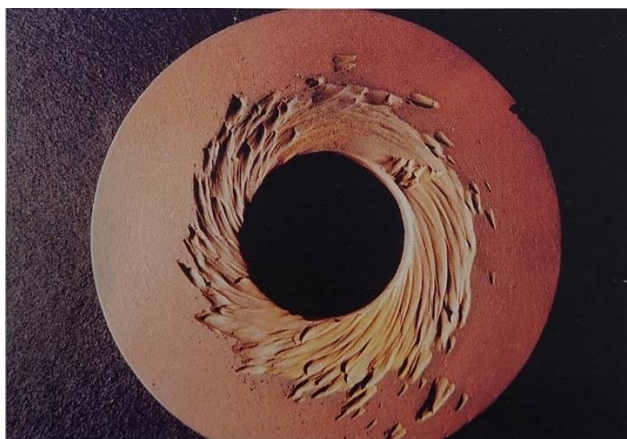
**Slika 6. Pojava interkristalne korozije kod zavara [11]**



**Slika 7. Shematski prikaz mehanizma nastajanja interkristalne korozije u području zavarenog spoja [1]**

### 1.3.2.6. EROZIJSKA KOROZIJA

Erozijska korozija nastaje kombinacijom djelovanja agresivnog korozivnog fluida (medija) i velike brzine strujanja tog fluida, slika 8. Zapravo to je primjer istodobnog djelovanja kemijskog (korozija) i fizikalnog (erozija) razaranja materijala. Stagnirajući agresivni fluid ili fluid male brzine strujanja prouzročiti će nisku stopu nastajanja korozije, ali brzo strujanje korozivno agresivnog fluida fizički erodira i uklanja zaštitni sloj s površine materijala, otkriva reaktivnu leguru ispod tog sloja i ubrzava koroziju. Djelovanjem korozije, povećava se hrapavost površine metala i tvrdi kompaktni metal obično se pretvara u mekši rahli korozijski produkt, što još pridonosi ubrzanju korozije. Metali poput nehrđajućeg čelika i titana otporniji su na erozijsku koroziju jer imaju tanji sloj oksida koji mnogo bolje prijanja na površinu, za razliku od metala koji stvaraju deblje slojeve zaštitnih korozijskih produkata poput ugljičnog čelika. Djelovanje erozijske korozije može se spriječiti primjenom materijala veće korozijske i erozijske postojanosti, nanošenjem prevlaka, konstrukcijsko tehnološkim rješenjima poput korištenja koljena s blažim radijusom ili povećanja promjera cijevi kako bi se smanjila brzina strujanja agresivnog fluida. [1,5]



**Slika 8. Erozijska korozija nastala turbulentnim strujanjima vode [12]**



### 1.3.2.7. NAPETOSNA KOROZIJA

Napetosna korozija se definira kao rast pukotina uslijed djelovanja statičkog i vlačnog naprezanja te agresivne okoline. Vlačna naprezanja su zapravo posljedica zaostalih naprezanja nastalih zbog zavarivanja ili hladne deformacije, no to mogu biti i vanjska nametnuta naprezanja. Pukotine nastale uslijed napetosne korozije napreduju okomito na smjer vlačnog naprezanja, a šire se interkristalno ili transkristalno. Da bi došlo do napetosne korozije moraju biti istovremeno ispunjena tri uvjeta: agresivna okolina ili medij, korozivno osjetljiva legura te neka komponenta vlačnog naprezanja. Osim kod austenitnih i martenzitnih nehrđajućih čelika, napetosna korozija se može pojaviti i kod tehničkih materijala kao što su polimeri, keramika i staklo. Što se tiče ugljičnih i niskolegiranih čelika posebno je opasna sulfidna napetosna korozija. Ona nastupa ako je konstrukcija koja je vlačno napregnuta u dodiru sa sumporovodikom. Čelici su tim više osjetljivi na sulfidnu napetosnu koroziju što im je veća čvrstoća (tvrdoća).

Javlja se veliki problemi kod predviđanja napetosne korozije jer su korozijski procesi teško uočljivi, a posljedice su znatan gubitak čvrstoće i duktilnih svojstava, a zatim i lom konstrukcije. Nastanak napetosne korozije može se izbjeći snižavanjem vlačnog naprezanja toplinskom obradom, korištenjem inhibitora, katodnom zaštitom itd. [1,11]

Slika 9 prikazuje posljedice napetosne korozije u zoni utjecaja topline nastale zavarivanjem.



**Slika 9. Napetosna korozija u zoni utjecaja topline nastala zavarivanjem [12]**

### **1.3.3. VRSTE KOROZIJA PREMA KOROZIVNIM SREDINAMA**

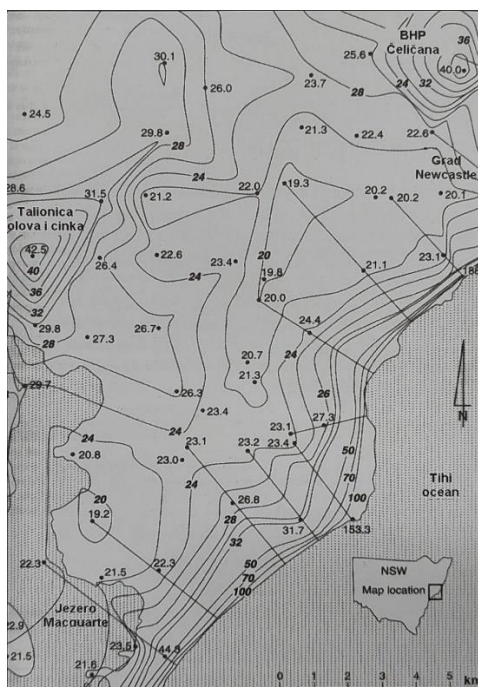
Još jedna vrsta podjela korozije može biti i po korozivnim sredinama u kojima nastaje i djeluje korozija. Razlikuje se više vrsta korozije, a neke od njih su [2]:

- atmosferska korozija
- korozija u tlu
- korozija u suhim plinovima
- korozija u neelektrolitičkim tekućinama
- korozija u elektrolitima
- korozija zbog lutajućih struja
- biokorozija i dr.

Najrasprostranjeniji i najpoznatiji oblik je atmosferska korozija koja je detaljnije opisana u nastavku.

## 2. ATMOSFERSKA KOROZIJA

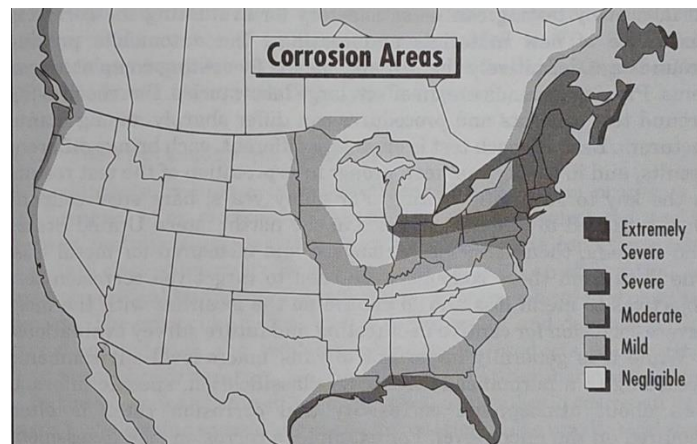
Atmosferska korozija najrašireniji je oblik korozije. Rezultat je djelovanja dvaju čimbenika, kisika i vlage. U nedostatku jednoga od njih ne dolazi do korozije. U suhom zraku, kao što je onaj ispod ledišta vode, ili kod relativne vlažnosti manje od 60%, čelik ne hrđa. Atmosferska korozija je posebno jaka u industrijskim zonama i u primorskim predjelima. U posebnim stanicama za ispitivanje atmosferske korozije prati se intenzitet korozije na uzorcima izloženim industrijskoj, gradskoj, morskoj i ruralnoj sredini. Na posebnim zemljopisnim kartama naznačena su mjesta jednake atmosferske korozije, povezana tzv. izokorozijskim linijama. Na slici 10 prikazana je karta atmosferske korozije dijela pokrajine New South Wales u Australiji. Izokorozijske linije na slici predstavljaju brzine korozije čelika u mikrometrima po godini. Na slici se može uočiti relativno visoka korozivnost predjela uz more kao i u industrijskim centrima. Ovakve karte mogu biti korisne kod planiranja, projektiranja i održavanja infrastrukture određenog područja. [2]



Slika 10. Brzina korozije u pokrajini New South Wales u Australiji [2]

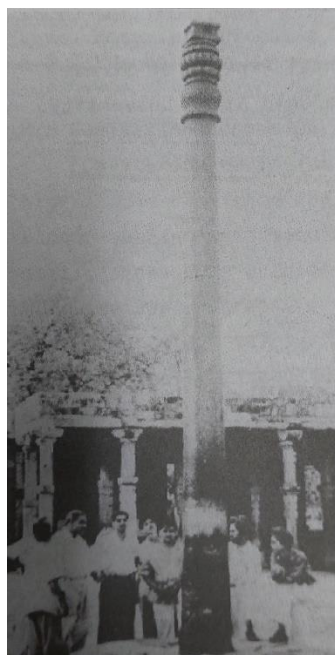
Na slici 11 prikazana je karta Sjeverne Amerike rađena na temelju mjerenja korozije automobila (uglavnom uslijed djelovanja klorida). Korozijska karta prikazuje vrlo jako, jako, srednje, slabo i zanemarivo djelovanje atmosferske korozije. Vidljivo je da je najveća brzina djelovanja

atmosferske korozije uz obalu SAD-a, točnije najveće djelovanje je na istočnoj obali i na obalama Floride što je posljedica izrazito korozivne morske atmosfere.



**Slika 11. Korozijsko djelovanje automobila u SAD-u [3]**

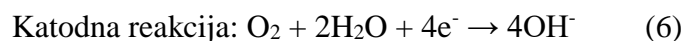
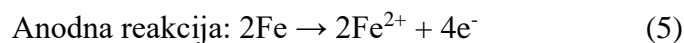
Poznati primjer dobro očuvanog metalnog predmeta na zraku je 1700 godina star tzv. „nehrđajući stup“ (Kutub-stup) od kovanog željeza u Delhiju, Indija, slika 12., koji je zaštitni znak mnogih korozijskih društava u svijetu. Razlozi za dobro stanje delhijskog stupa su suha i nezagađena klima kao i povoljan sastav željeza s malo sumpora i dosta fosfora. [2]



**Slika 12. Kutub-stup od lijevanog željeza star 1700 godina [2]**

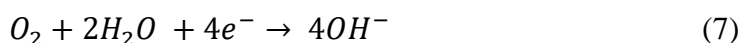
Temeljni zahtjev za elektrokemijski korozijski proces je prisutnost elektrolita. Tanki „nevidljivi“ sloj elektrolita nastaje na metalnim površinama pri izlaganju atmosferskim uvjetima nakon što je dostignuta kritična količina vlage, tj. kritični nivo vlažnosti u zraku. U slučaju potpuno nezagađene atmosfere, kod konstantne temperature, savršeno čista metalna površina neće korodirati kod relativne vlažnosti ispod 100%. Međutim, u praksi, zbog prisutnosti higroskopskih površinskih čestica, nečistoća u atmosferi i male temperaturne razlike između atmosfere i metalne površine, stvara se mikroskopski elektrolit na površini kod znatno nižeg nivoa vlažnosti. Dokazano je da je za željezo kritični postotak vlažnosti oko 60. Taj kritični postotak vlage nije konstantan, te ovisi o korodiranom materijalu, sklonostima produkata korozije, površinskim naslagama za upijanje vlage ali i prisutnosti zagađenih tvari u atmosferi.

U prisutnosti tankog filma elektrolita, atmosferska korozija djeluje uravnoteženjem anodnih i katodnih reakcija. Posljedica anodne reakcije je otapanje metala, dok je katodna reakcija često povezana sa reakcijom redukcije oksida. [2,3]

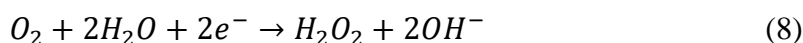


Koncentracija korozivnih nečistoća može postići visoku vrijednost u tankom sloju elektrolita, posebno u uvjetima naizmjeničnog vlaženja i sušenja. Kisik iz atmosfere se lako dobavlja u elektrolit pod uvjetima korozije u tankom sloju. [3]

Kod atmosferske korozije u približno neutralnoj otopini elektrolita najvjerojatnije se odvija slijedeća katodna reakcija redukcije kisika:



Reakcija se može odvijati u dva stupnja, sa  $\text{H}_2\text{O}_2$  kao intermedijarom, prema:



Kisik iz atmosfere difundira kroz film elektrolita na metalnu površinu. Dokazano je da je mehanizam difuzijskog transporta za kisik moguć u sloju elektrolita debljine oko 30  $\mu\text{m}$  i pod strogo izotermnim uvjetima. Kod debljih slojeva i kod neizotermnih uvjeta dominantna je konvekcija koja povećava graničnu čvrstoću struje redukcije kisika na vrijednosti koje su znatno veće od izmjerene prosječne brzine atmosferske korozije. Na temelju toga može se pretpostaviti da ukupna brzina atmosferske korozije nije kontrolirana katodnom reakcijom redukcije kisika nego zapravo anodnom reakcijom.

Reakcija anodne oksidacije metala može pojednostavljeno prikazati jednadžbom:



Stvaranje korozijskih produkata (metalnih oksida i hidroksida), topljivost korozijskih produkata u površinsko elektrolitu i stvaranje pasivnog filma utječe na ukupnu brzinu anodnog otapanja metala. [2]

Atmosfersko korozijsko djelovanje se može pojaviti u dvije osnovna forme: jednoliko (opće) i nejednoliko (lokalizirano) djelovanje. Jednolika korozija rezultira sličnom brzinom djelovanja korozije na površini metala te ima isti izgled po cijeloj površini. Takav način djelovanja atmosferske korozije uobičajen je kod metala željeza i bakra. S druge strane, lokalizirano djelovanje atmosferske korozije obično se javlja na malim i specifičnim mjestima na metalnoj površini gdje je fokusiran proces korozije, što rezultira lokalnim ubrzanjem brzine korozije. Takva vrsta djelovanja naziva se rupičasta korozija ili *pitting* i najčešće se javlja kod aluminija i njegovih legura, cinka, nehrđajućih čelika i nikla. Neki metali i legure mogu biti osjetljivi na lokalizirano djelovanje koje nastaje na mjestima različitih faza na granicama zrna. Primjer je korozija u lijevanom željezu koja se javlja na granicama zrna feritne faze. Proces atmosferskog djelovanja može biti ubrzan kada su dva ili više različitih metala u izravnom kontaktu što potiče djelovanje galvanske korozije. Još jedan opasan oblik djelovanja atmosferske korozije je pucanje metala koje nastaje kada je metalna konstrukcija izložena korozivnoj okolini ili cikličkom mehaničkom opterećenju. Rezultat toga je pojava površinskih ili unutarnjih mikropukotina i pukotina koje dovode do napetosne korozije. [13]

Parametri koji utječu na brzinu atmosferske korozije su sastav metala ili legure, temperatura, sastav elektrolita i fizikalna svojstva, produkti korozije, pasivni filmovi i debljina elektrolita.

Pojedine vrste produkata atmosferske korozije metala koriste se u dekorativne svrhe. Zelena patina na kupolama crkava i na krovovima drugih objekata ili spomenika kulture posljedica je atmosferske korozije bakra pri čemu nastaje bakreni hidroksikarbonat, hidroksisulfat ili hidroksiklorid. U novijoj arhitekturi zgrade se oblažu specijalnim vrstama čelika koji se uslijed atmosferske korozije prevlači dekorativnim narančastosmeđim slojem korozijskog produkta FeOH(OH) koji djeluje dekorativno i štiti čelik od daljnje korozije. [2]

Slike 13 i 14 prikazuju djelovanje atmosferske korozije.



**Slika 13. Atmosferska korozija nelegiranog čelika [7]**



**Slika 14. Atmosferska korozija čelične konstrukcije mosta [16]**

### 3. ZAŠTITA OD KOROZIJE

Kako bismo uspješno spriječili djelovanje korozije odnosno unaprijedili metode zaštite od korozije nužno je dobro poznavati i proučavati proces oštećivanja i razaranja materijala uslijed djelovanja korozije. Metode zaštite korozije djeluju na način da se uspore ili potpuno spriječe pojave različitih vrsta i oblika korozijskih razaranja. Najčešće se temelje na smanjenju ili poništenju pokretačke sile (uzroka oštećivanja), te na povećanju otpora koji se opiru djelovanju te pokretačke sile. To se može tehnički iskoristiti na način da se promijene unutarnji čimbenici oštećivanja, tj. obilježja konstrukcijskog materijala ili da se djeluje na vanjske čimbenike, tj. obilježja medija i fizikalnih okolnosti (temperatura, naprezanje, brzina gibanja i sl.). Još jedan način na koji se postiže zaštita od korozije je odvajanje konstrukcijskog materijala od medija, odnosno nanošenjem prevlakama. [1]

Gledajući podjelu zaštite od korozije na osnovne metode, to su [1]:

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

#### 3.1. ZAŠTITA PREVLAČENJEM

Ova metoda zaštite temelji se na principu usporavanja ili sprječavanja djelovanja korozije nanošenjem prevlaka koje prvenstveno služe kao barijera prema agresivnom mediju. Nanošenje prevlaka, osim zbog zaštite od korozije, se koristi i za zaštitu od mehaničkog trošenja, zbog estetskih razloga ili zbog regeneracije istrošenih predmeta. Zaštitno djelovanje prevlaka ovisi o vrsti i debljini prevlake, o stupnju njezine kompaktnosti i o čvrstoći prijanjanja. Uz sve to, kvaliteta prevlake ovisi i o postupku nanošenja koji uključuje predobradu metalne površine za prevlačenje, nanošenje u užem smislu te završnu obradu prevlake, koja nije potrebna u svim postupcima prevlačenja. [1]

Kada se govori o podijeli prevlaka, prevlake mogu biti [1]:

- metalne
- nemetalne

dok se nemetalne prevlake dijele još i na organske i anorganske.



## 4. ZAŠTITA ORGANSKIM PREVLAKAMA

Zaštita organskim prevlakama je najrašireniji postupak zaštite metalnih površina, do 75% ukupnih metalnih površina zaštićeno je organskim prevlakama. Organskim prevlakama se smatraju sve prevlake koje čini kompaktnima organska tvar tvorbom opne. Takvi slojevi se postižu nanošenjem organskih premaznih sredstava (bojenjem i lakiranjem), uobičajenim podmazivanjem, plastifikacijom (prevlačenjem plastičnim masama), gumiranjem i bitumenizacijom. [1]

Izrazi boje i lakovi rabe se i za premazna sredstva i za gotove prevlake nastale njihovim sušenjem. One se također nazivaju naličima ili premazima. Sva premazna sredstva sadrže vezivo, koje čini opnu prevlake, i razrjeđivač, koji obično otapa vezivo, a regulira viskoznost. Osim toga premazna sredstva mogu sadržavati netopljive praškove (pigmente i punila) koji daju nijansu i čine premaze neprozirnim, kao i različite dodatke (aditive). Lakovi mogu biti prozirni ili čak nebojeni, a ako su pigmentirani, razlikuju se od boja glatkoćom, sjajem i tvrdoćom prevlake. Boje i lakovi se najčešće nanose višeslojno, a svrha im je većinom zaštitno dekorativna. Organska premazna sredstva mogu se razvrstavati prema [15]:

- sastavu, pri čemu se podjela obično osniva na vrsti veziva, ali katkad i na vrsti pigmenta
- osnovnoj svrsi
- izgledu
- podlogama koje se nanose
- broju sastojaka koji se miješaju prije nanošenja
- ulozi u premaznom sustavu
- načinu skrućivanja sloja

Komponente premaza mogu biti vezivo, otapalo, pigmenti, punilo i aditivi. [1]

### 4.1. VEZIVO

Kao veziva služe mnoge neisparljive organske tvari u obliku viskoznih kapljevina ili smola. Oni povezuju sve komponente premaznog sredstva, a nakon nanošenja stvaraju tvrdi zaštitni sloj. U određenom premaznom sredstvu često se kombiniraju različita veziva kako bi se postigla željena svojstva premaza. Vezivo premaznog sredstva bitno se razlikuje od tvari koja čini opnu prevlake ako ona nastaje kemijskim otvrdnjavanjem. Važna su veziva na osnovi sušivih masnih ulja, poliplasta, derivata celuloze, prirodnih smola, prirodnog ili sintetičkog kaučuka i bituminoznih tvari. [1, 15]

## 4.2. OTAPALA

Otapala su hlapivi organski spojevi u kojima se vezivo otapa, ali pri tome ne dolazi do kemijskih promjena. Najčešće se radi o niskoviskoznim i lako hlapivim smjesama na osnovi alifatskih, aromatskih i kloriranih ugljikovodika, alkohola, ketona, estera itd. Iste organske kapljevine često služe i kao razrjeđivači za snižavanje viskoznosti premaznih sredstava i kao otapala za njihova veziva. Upotrebljavaju se za lakše nanošenje premaza na površinu materijala. Dio otapala dodaje se u boju pri proizvodnji, a ostatak neposredno prije nanošenja, što može biti i nepotrebno, ako je već proizvođač prilagodio viskoznost tehnologiji ličenja. [1, 15]

## 4.3. PIGMENTI

Kao pigmenti i punila za boje služe anorganski oksidi, hidroksidi i soli, metalni elementi, ugljik i neki organski spojevi u obliku netopljivih čestica koje su obično već u proizvodnji raspršene u premaznom sredstvu. Time se postiže neprozirnost i obojenje naliča, a redovito se poboljšava njihovo zaštitno djelovanje, otpornost na svjetlo i grijanje te mehanička svojstva. Pigmenti mogu biti dekorativni, antikorozijski i dekorativno-antikorozijski. Dekorativni učinak je važan samo za pokrivne premaze, a antikorozijski i za temeljne i za pokrivne kao i za međupremaze. Antikorozijski se učinak temelji na aktivnoj ulozi u korozijskom procesu kada agresivne tvari prodru kroz premaz do metalne podloge, odnosno na postojanosti pigmenata prema agresivnim sastojcima okoline. U prvom se slučaju radi o aktivnim zaštitnim pigmentima, koji su važni za temeljne naliče, a u drugo slučaju o inertnim zaštitnim pigmentima, poželjnima u svim slojevima premaznog sustava. [15]

## 4.4. PUNILA

Punila su bijele ili slabo obojene anorganske tvari netopljive u primjenjenu mediju. U premaze se dodaju zbog poboljšavanja mehaničkih svojstava, mazivosti i svojstva tečenja, zbog povećanja i smanjenja sjaja i zbog poboljšanja barijernih svojstava filma, tj. zbog otpornosti filma prema difuziji vode i agresivnih plinova. Dobivaju se ili iz prirodnih minerala ili sintetskim taloženje iz vodenih otopina. Prema kemijskom sastavu mogu se razvrstati u sulfate, karbonate, okside i silikate. [1]

## 4.5. ADITIVI

Aditivi se dodaju premaznim sredstvima u malim udjelima (ispod 5% masenog udjela), unatoč malom udjelu imaju značajan utjecaj na svojstva premaza. Dodaju se kako bi se spriječili nedostaci u premazima (npr. pjena, loše razlijevanje, sedimentacija) ili da daju specifična svojstva (npr. klizavost, vatrousparenje, svjetlostabilnost) koja se inače dosta teško postižu. Pri dodavanju aditiva mora se paziti na njihovu koncentraciju jer ako je ona veća, imaju više nuspojava koje su itekako nepoželjne. [1, 15]

## 4.6. SUŠENJE PREMAZA

Sušenje premaza se može podijeliti na fizikalno sušenje i kemijsko sušenje. Najrašireniji načini kemijskog sušenja su sušenje oksidacijom te dvokomponentno sušenje. [1]

### 4.6.1. FIZIKALNO SUŠENJE

Kod fizikalno sušenih boja filmovi se formiraju hlapljenjem otapala. Kako je hlapljenje otapala fizikalna pojava, te se boje nazivaju fizikalno sušene. Fizikalno sušenje se zbiva u tri faze [1]:

- faza 1 – brzo hlapljenje otapala s površine; posljedica toga je povećanje koncentracije polimera, a u skladu s tim smanjenje aktivne površine isparavanja
- faza 2 – hlapljenje otapala difuzijom kroz slojeve koncentrirane polimerne otopine; to rezultira daljnjim povećanjem koncentracije polimera, a iz toga slijedi nepokretnost prisutnih makromolekula
- faza 3 – hlapljenje preostalog otapala u filmu

Nakon te tri faze konačno se stvara polimer. Postupak stvaranja filma ostvaren je isključivo hlapljenjem otapala što znači da je za tu vrstu sušenja izbor otapala jako bitan. Fizikalno se suše boje na bazi otapala i boje na bazi vode. [1]

## **4.6.2. KEMIJSKO SUŠENJE**

### *4.6.2.1. OKSIDACIJSKO SUŠENJE*

Film nastaje hlapljenjem organskog ili vodenog otapala i reakcijom kisika i veziva koji stvara konačni film. Toj vrsti sušenja podvrgnuta su ulja bilo kao samostalna veziva ili kao modifikacija u nekim složenijim vezivima. Vrijeme sušenja ovisi o temperaturi; sušenje je brže pri nižim temperaturama jer je i reakcija kisika i veziva pri nižim temperaturama puno sporija nego na sobnim temperaturama. Zbog sporosti reakcije rabe se katalizatori koji ubrzavaju stvaranje filma. Oksidacijski se suše alkidi, uretan-alkidi i epoksi-esteri. [1]

### *4.6.2.2. DVOKOMPONENTNO SUŠENJE*

Boje koje se suše na ovakav način sastoje se od osnove (baze) i sredstva za otvrdnjavanje (komponente). Film nastaje hlapljenjem otapala (ako je prisutno) i naknadnom kemijskom reakcijom između veziva i sredstva za otvrdnjavanje. Osnova i sredstvo za otvrdnjavanje zamiješaju se neposredno prije upotrebe. [1]

## 5. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu provedena su laboratorijska ispitivanja na deset različitih čeličnih uzoraka. Uzorci su od niskougličnog čelika oznake DC 01 (Č0146). Ispitivana je prionjivost zaštitnog organskog premaza na dva uzorka različite pripreme, te na ostalih osam uzoraka je utvrđen utjecaj vrste zavarenog spoja na sklonost koroziji u atmosferskim uvjetima. Prije samog izlaganja uzoraka ubrzanim korozijskim ispitivanjima u slanoj komori, jedna grupa uzoraka je pjeskarena dok je druga grupa odmašćena alkoholom. Zatim je izmjerena hrapavost površine pjeskarenih i alkoholom odmašćenih uzoraka. Zaštitni premaz nanešen je u dva sloja, te su izmjerene debljine svakog sloja.

### 5.1. PRIPREMA UZORAKA

Ispitivani uzorci su od niskougličnog, hladno valjanog čelika oznake DC 01 (Č0146). Pripremljeni su na način da je šesnaest uzoraka dimenzija 80×160 mm i debljine 3 mm, zavarenih različitim vrstama zavara dok su dva uzorka bez zavarenog spoja. Rezanje i zavarivanje uzoraka za potrebe ispitivanja je odrađeno u firmi „Jelstima projekt d.o.o.“. Uzorci su odrezani na zadane dimenzije na škarama „KNUTH KHT 3206 c“, zatim zavarene Mag postupkom uređajem „EWM Taurus 401“, slika 15.



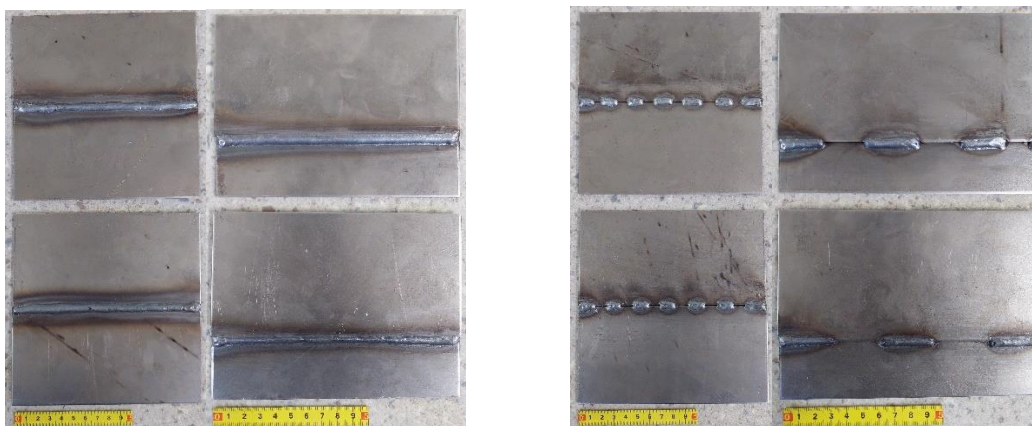
**Slika 15. Škare "KNUTH KHT 3206 c" i uređaj za zavarivanje "EWM Taurus 401"**

Korišteni parametri zavarivanja su:

- jačina struje: 130 A
- protok plina: 15 L/min
- debljina žice: 1,2 mm
- brzina žice: 3,5 m/min

Korišteni plin pri zavarivanju je „Ferroline C18“ oznake M21. Prema normi HRN EN ISO 14175:2008 znači da se plin sastoji od 18% CO<sub>2</sub> i 82% Ar.

Uzorci su zavareni različitim vrstama zavarenog spoja: dva sučeaona zavara, dva sučeaona isprekidana zavara, dva preklopna zavara i dva preklopna isprekidana zavara, slika 16. Uzorci za ispitivanje prionjivosti premaza prikazani su na slici 17.



**Slika 16. Uzorci sa kontinuiranim zavarom (lijevo) i sa isprekidanim zavarom (desno)**



**Slika 17. Uzorak za ispitivanje prionjivosti premaza**

Zatim je po jedan uzorak svakog tipa zavarenog spoja pjeskaren dok je drugi samo odmašćen alkoholom od nečistoća sa površine.



**Slika 18. Pjeskareni uzorci**

## 5.2. MJERENJE HRAPAVOSTI POVRŠINE UZORAKA

Nakon pjeskarenja i odmašćivanja površina alkoholom proveden je test hrapavosti. Za početak je pripremljena površina uzoraka uspoređena sa komparatorom hrapavosti prema HRN EN ISO 8503-1, slika 18.



**Slika 19. Usporedba pjeskarene površine s komparatorom hrapavosti prema HRN EN ISO 8503-1**

Određena je hrapavost površine između segmenata dva i tri, što predstavlja srednje hrapavu površinu („medium“). Prema ISO 8503-1 to bi bila hrapavost 60 do 100  $\mu\text{m}$ . Zatim je preciznije

izmjerena hrapavost površina na pjeskarenim, ali i na neobrađenim uzorcima, odnosno uzorcima koji su samo odmašćeni alkoholom. Hrapavost površina izmjerena je uređajem „Positector RTR“, slika 20.



**Slika 20. Uređaj za mjerenje hrapavosti površine Positector RTR**

Postupak je proveden na način da je trakica zalijepljena na površinu uzorka i dobro utisnuta na površinu, slika 21. Zatim se ta trakica odlijepi sa uzorka i postavi u uređaj koji pokaže izmjerenu vrijednost hrapavosti površine. Uređaj je prethodno postavljen na „XC“ područje rada koje obuhvaća hrapavosti od 64 do 115  $\mu\text{m}$ , što je bila očekivana hrapavost za pjeskarene uzorke. Izmjerena vrijednost hrapavosti za pjeskareni uzorak je 73  $\mu\text{m}$ , slika 20. Isti postupak napravljen je i za neobrađeni uzorak. Na neobrađenom uzorku izmjerena hrapavost je 42  $\mu\text{m}$ .



**Slika 21. Postupak utiskivanja trakice na površinu uzorka**





Slika 22. Mjerenje hrapavosti na uređaju Positector RTR

## 5.3. NANOŠENJE PREMAZA NA UZORKE

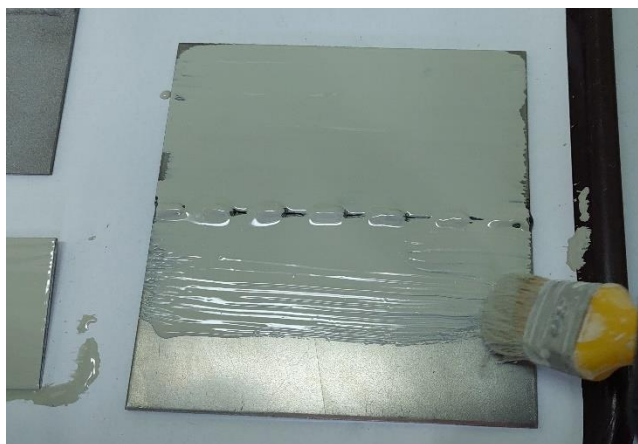
### 5.3.1. NANOŠENJE PRVOG SLOJA

Za prvi sloj premaza korištena je mješavina „Hempadur Mastic 45880“. Mješavina se sastoji od baze i sredstva za stvrdnjavanje u masenom omjeru: baza = 84g i kontakt = 16g, slika 23. Ukupna masa mješavine je 100g. Nakon izvagane mase, mješavina je dobro promiješana i ostavljena nekoliko minuta da se komponente sjedine.



Slika 23. Priprema mješavine premaza

Uzorci su premazani kistom u jednom smjeru, s lijeva na desno, slika 22.



**Slika 24. Nanošenje premaza**

#### 5.3.1.1. MJERENJE DEBLJINE PRVOG SLOJA

Nakon 24 sata sušenja premaza, izmjerene su debljine prvog sloja na svim uzorcima. Debljina prvog sloja izmjerena je uređajem „Elcometer“, slika 25. Na svakom uzorku izmjerena je debljina premaza na deset naizmjeničnih mjesta i zabilježena najmanja, najveća i srednja vrijednost. Vrijednosti debljine vidljive su u tablici 3.

Za potrebe lakšeg prepoznavanja premazanih uzoraka i različitih zavara, uzorci su označeni kratkim oznakama koje su prikazane u tablici 2.



**Slika 25. "Elcometer" uređaj za mjerenje debljine prevlake**

**Tablica 2. Popis oznaka uzoraka**

Oznaka	Uzorak
P1	Pjeskareni uzorak bez zavara
N1	Neobrađeni uzorak bez zavara
P2	Pjeskareni uzorak sa preklopnim zavarom
N2	Neobrađeni uzorak sa preklopnim zavarom
P3	Pjeskareni uzorak sa preklopnim isprekidanim zavarom
N3	Neobrađeni uzorak sa preklopnim isprekidanim zavarom
P4	Pjeskareni uzorak sa sučeonim zavarom
N4	Neobrađeni uzorak sa sučeonim zavarom
P5	Pjeskareni uzorak sa sučeonim isprekidanim zavarom
N5	Neobrađeni uzorak sa sučeonim isprekidanim zavarom

**Tablica 3. Vrijednosti debljina prevlake prvog sloja**

	Min ( $\mu\text{m}$ )	Max ( $\mu\text{m}$ )	Srednja vrijednost ( $\mu\text{m}$ )
P1	137	233	165,2
N1	94,6	167	135,1
P2	115	256	184,6
N2	115	251	212,9
P3	123	238	163,8
N3	104	254	196,9
P4	111	252	172,9
N4	133	273	180,4
P5	131	180	158,2
N5	136	307	213,9

### 5.3.2. NANOŠENJE DRUGOG SLOJA

Za drugi sloj korištena je dvokomponentna poliuretanska boja „Hempathane Fast Dry 55750“. Maseni omjer korišten za nanošenje premaza je: baza = 93g i kontakt = 7g. Ukupna masa mješavine je 100g, slika 26.



Slika 26. Priprema mješavine

Ponovno je mješavina dobro promiješana i ostavljena nekoliko minuta prije upotrebe. Drugi sloj nanešen je na uzorke kistom u jednom smjeru, s lijeva na desno, isto kao i kod prvog sloja, slika 27.



Slika 27. Hempathane Fast Dry 55750 nanešen na uzorcima

#### 5.3.2.1. MJERENJE DEBLJINE NAKON NANOŠENJA

Nakon četiri dana sušenja premaza, izmjerena je debljina premaza uređajem „Positector 6000“, slika 28.



**Slika 28. Mjerenje debljine prevlake uređajem „Positector 6000“**

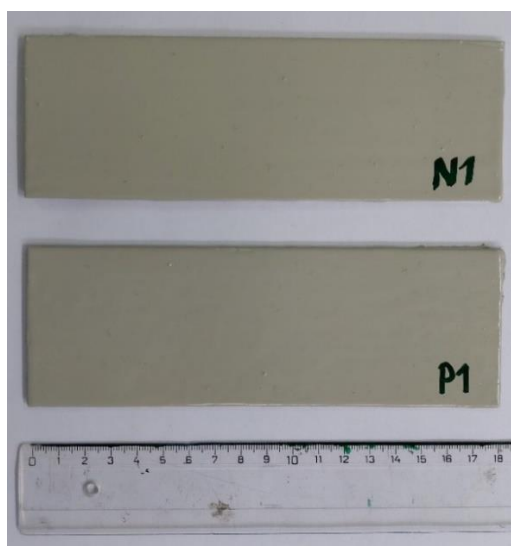
Svaki uzorak mjeren je na deset naizmjeničnih mjesta i zabilježene su najmanja, najveća i srednja vrijednost. Vrijednosti mjerenja su vidljive u tablici 4.

**Tablica 4. Vrijednosti debljina premaza nakon nanošenja**

	Min ( $\mu\text{m}$ )	Max ( $\mu\text{m}$ )	Srednja vrijednost ( $\mu\text{m}$ )
P1	211	356	283,6
N1	251	338	300,1
P2	212	378	311,8
N2	267	362	319,9
P3	230	366	308,3
N3	257	383	331,8
P4	261	452	331,9
N4	249	352	301,1
P5	212	325	281,6
N5	240	480	363,7

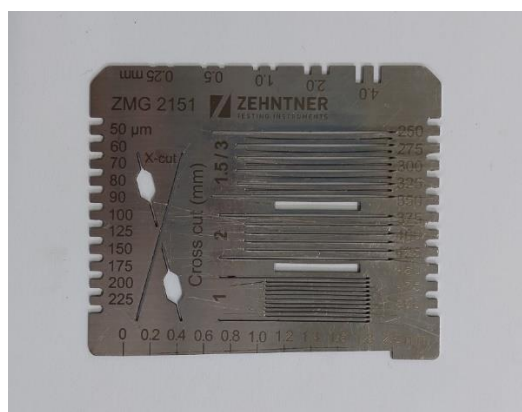
## 5.4. ISPITIVANJE PRIONJIVOSTI PRIJE ISPITIVANJA U SLANOJ KOMORI

Ispitivanje prionjivosti provedeno je „cross-cut“ metodom prema normi HRN EN ISO 2409. Ispitana je prionjivost premaza na površini uzoraka bez zavarenih spojeva. Jedan uzorak je pjskaren (P1), drugi uzorak je neobrađen (N1), slika 29.



Slika 29. Uzorci za ispitivanje prionjivosti premaza

Prema normi HRN EN ISO 2409 razmak između zarezova, za debljine prevlake iznad 120  $\mu\text{m}$ , je 3 mm, tablica 5. Zarezano je 6 zarezova po šabloni, zatim je šablona okrenuta za 90° i zarezano je još 6 zarezova, slika 30. Bitno je da su zarezovi probili prevlaku i došli do osnovnog materijala. Postupak je napravljen na oba uzorka, oznaka P1 i N1.








Slika 30. Šablona za Cross-cut metodu

Ljepljiva traka je zalijepljena preko zareza, dobro utisnuta da se zalijepi po cijeloj površini za uzorak. Traka je naglo odlijepljena sa zarezane površine, pazeći da se ravnomjerno odlijepi i provjerena je prionjivost prema normi HRN EN ISO 2409, slika 31.

**Tablica 5. Izbor odgovarajućeg razmaka zareza prema HRN EN ISO 2409**

Debljina sloja u $\mu\text{m}$	Razmak između zareza u mm
0 do 60	1
Iznad 60 do 120	2
Iznad 120 do 250	3

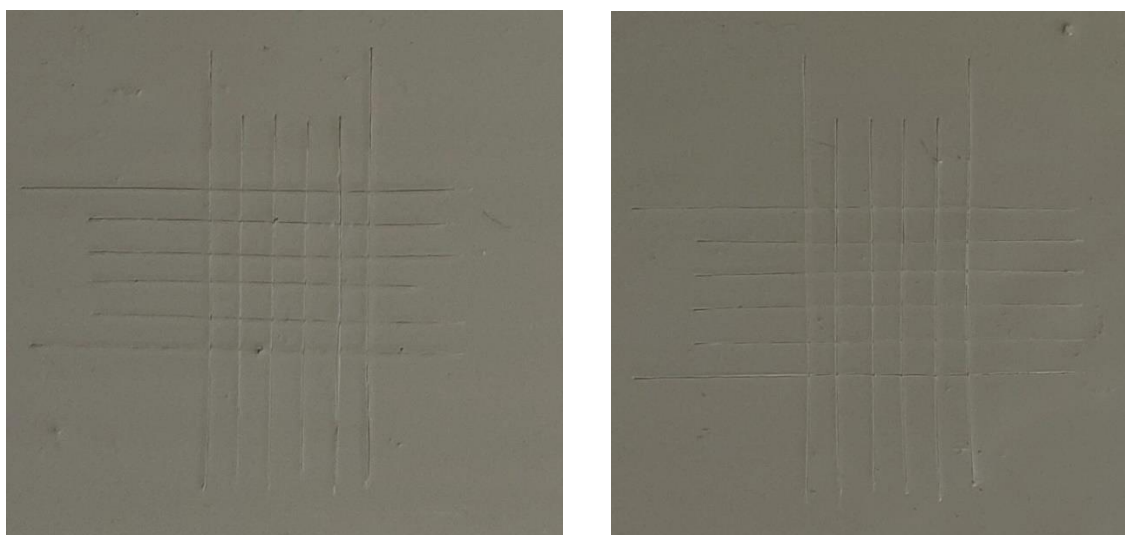
Tekstualni opis	HRN EN ISO 2409:2013	
Tragovi reza su potpuno glatki, nijedan kvadratić mreže nije otkrnut	0	
Nešto premaza je oljušteno na sjecištima u mrežici, manje od 5 % površine je oštećeno	1	
Dio premaza je oštećen na rubovima i sjecištima u mrežici, 5 % do 15 % površine je oštećeno	2	
Premaz je oljušten duž rubova i unutar kvadratića mrežice, 15 % do 35 % površine je oštećeno	3	
Premaz je oljušten duž rubova cijelog reza, neki kvadratići su potpuno oljušteni, 35% do 65 % površine je oštećeno	4	
Više od 65 % površine je oljušteno	5	Više od prikazanog na slici iznad

**Slika 31. Klasifikacija testa prionjivosti "Cross-cut" metodom prema HRN EN ISO 2409**

Ispitani uzorci, nakon ispitivanja prionjivosti, prikazani su na slici 32 i detaljnije na slici 33.



**Slika 32. Test prionjivosti na uzorcima P1 i N1**



**Slika 33. Test prionjivosti na uzorku N1 (lijevo) i P1 (desno)**

Na uzorku N1 vidljiva su dva mala oštećenja, odnosno na dva mjesta je došlo do kidanja premaza unutar kvadratića, slika 33. Prema klasifikaciji rezultata testa, po normi HRN EN ISO 2409, uzorak N1 ima ocjenu prionjivosti 1. Obzirom da je uzorak N1 neobrađen, očekivano je da je došlo do malih oštećenja, tj. da prionjivost nije najbolja. Isti postupak proveden je i na uzorku P1. Prema slici 33. vidljivo je da na uzorku nema nikakvih oštećenja te prema klasifikaciji rezultata ima ocjenu prionjivosti 0. Uzorak P1 je pjeskaren i prema očekivanjima pokazao je bolju prionjivost premaza za površinu osnovnog materijala

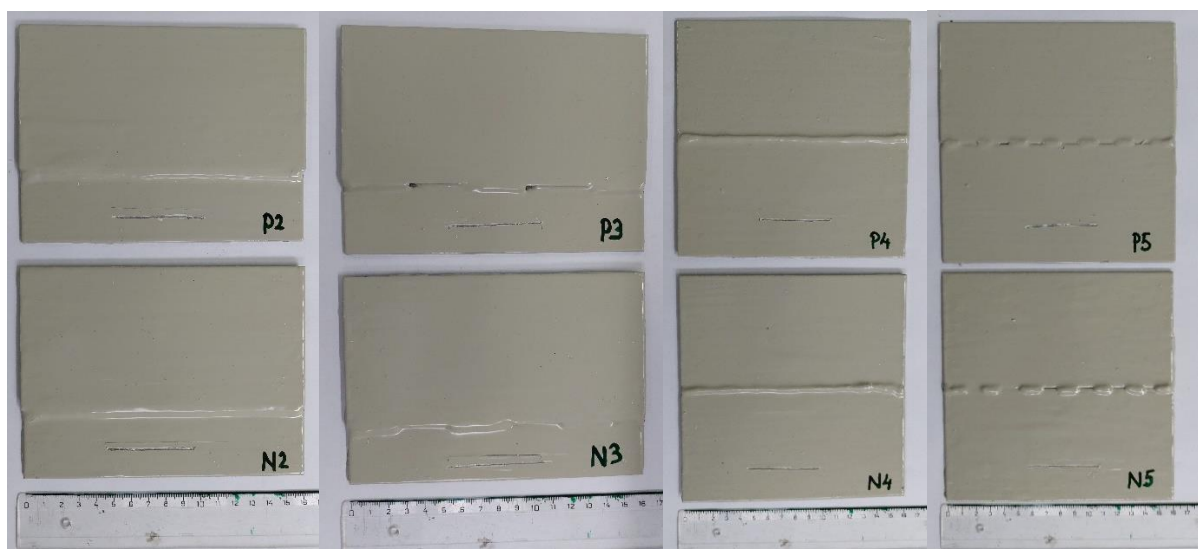


## 5.5. UREZIVANJE UZORAKA

Ostali uzorci zarezani su nožem za urezivanje, debljina oštrice noža je 1 mm i duljina urezivanja je 50mm.



Slika 34. Urezivanje ureza



Slika 35. Uzorci sa urezom

## 5.6. ISPITIVANJE U SLANOJ KOMORI

Svi uzorci, osim uzoraka N1 i P1, su postavljeni u slanu komoru. Ispitivanje je provedeno u komori Ascott S450 prema normi HRN EN ISO 9227, a parametri komore dani su u tablici 6. Uzorci su bili izloženi korozivskim uvjetima u slanoj komori 384 sati, odnosno 16 dana. Praćeno je djelovanje korozije nakon 48h, 72h i 192h te po završetku ispitivanja nakon 384h. Na slici 36, te tablicama 7, 8 i 9. prikazani su rezultati provedenog ispitivanja.

**Tablica 6. Parametri ispitivanja**

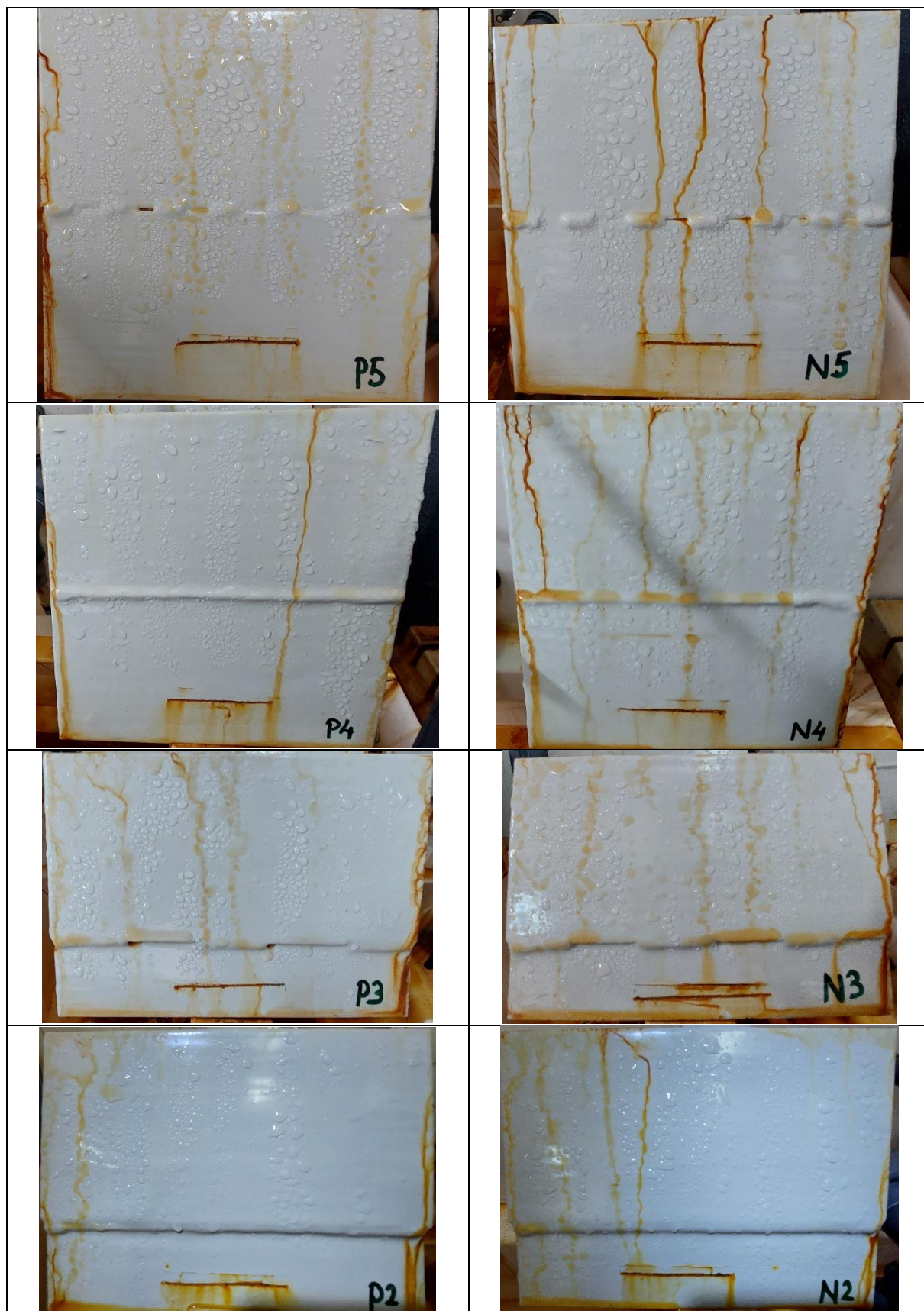
Parametri ispitivanja	Norma HRN EN ISO 9227	Uvjeti ispitivanja
Trajanje ispitivanja, h	prema dogovoru	384
Temperatura ispitnog prostora, °C	35±2	35±0,1
Volumen ispitnog prostora, l	min 400	450
Temperatura ovlaživača komp. zraka, °C	45 - 50	50
Tlak komprimiranog zraka, bara	0,7 – 1,4	1,4
Korištena otopina	NaCl	NaCl
Koncentracija korištene otopine, %	5	5
Količina sakupljenog kondenzata, ml/80cm <sup>2</sup> /h	1,5±0,5	1,9
pH vrijednost kondenzata pri 25±2°C	6,5 – 7,2	6,6
Provodljivost destilirane vode, µS/cm pri 25±2°C	max 20	<10



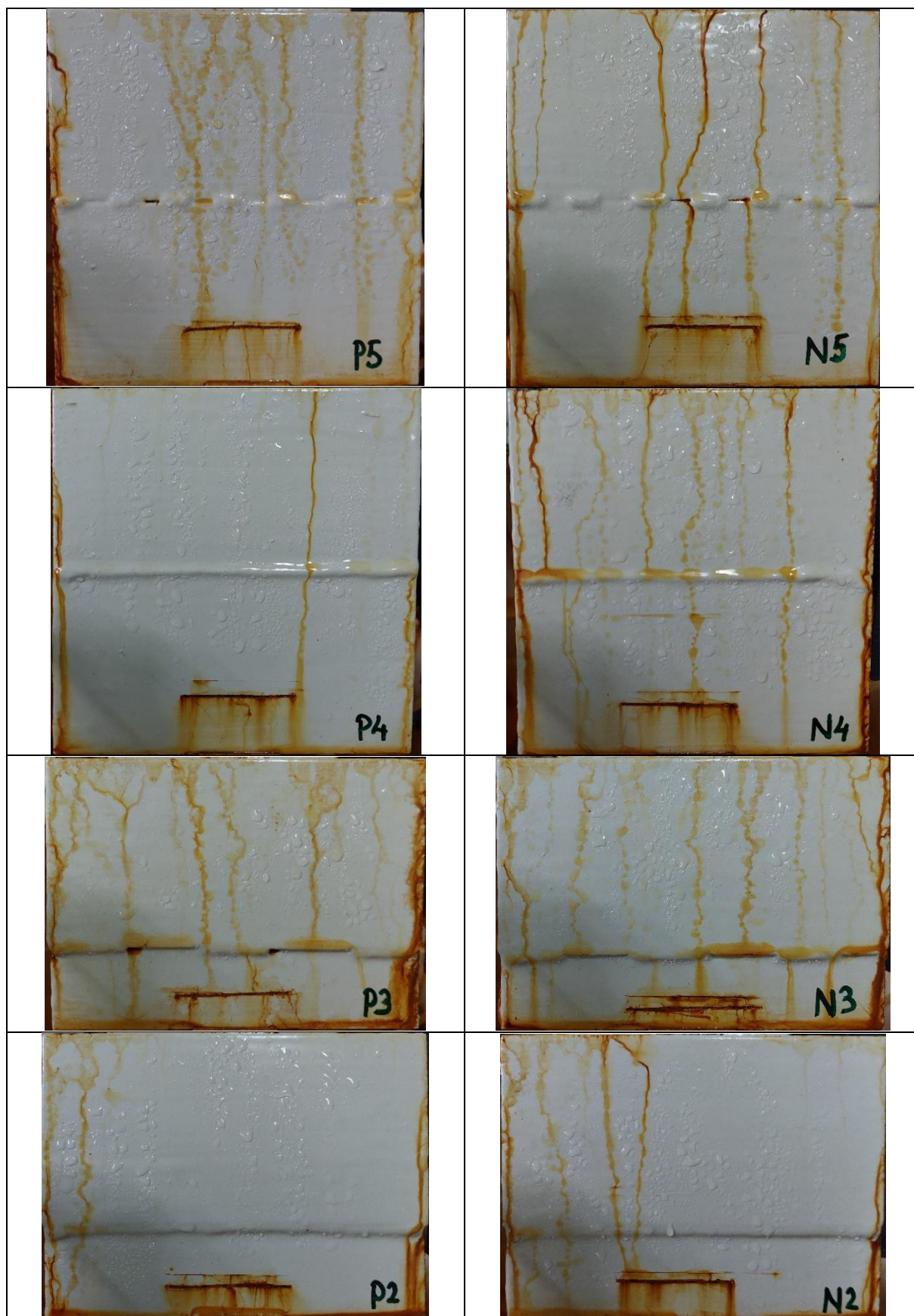
**Slika 36. Uzorci postavljeni u komoru (lijevo) i uzorci nakon 48h u komori (desno)**

Nakon 48 sati vidljivo je već djelovanje korozije na uzorcima. Najprimjetnija pojava korozije je u urezima te slabija pojava korozije u procjepu između isprekidanih zavarenih spojeva na uzorcima P3, N5 i P5.

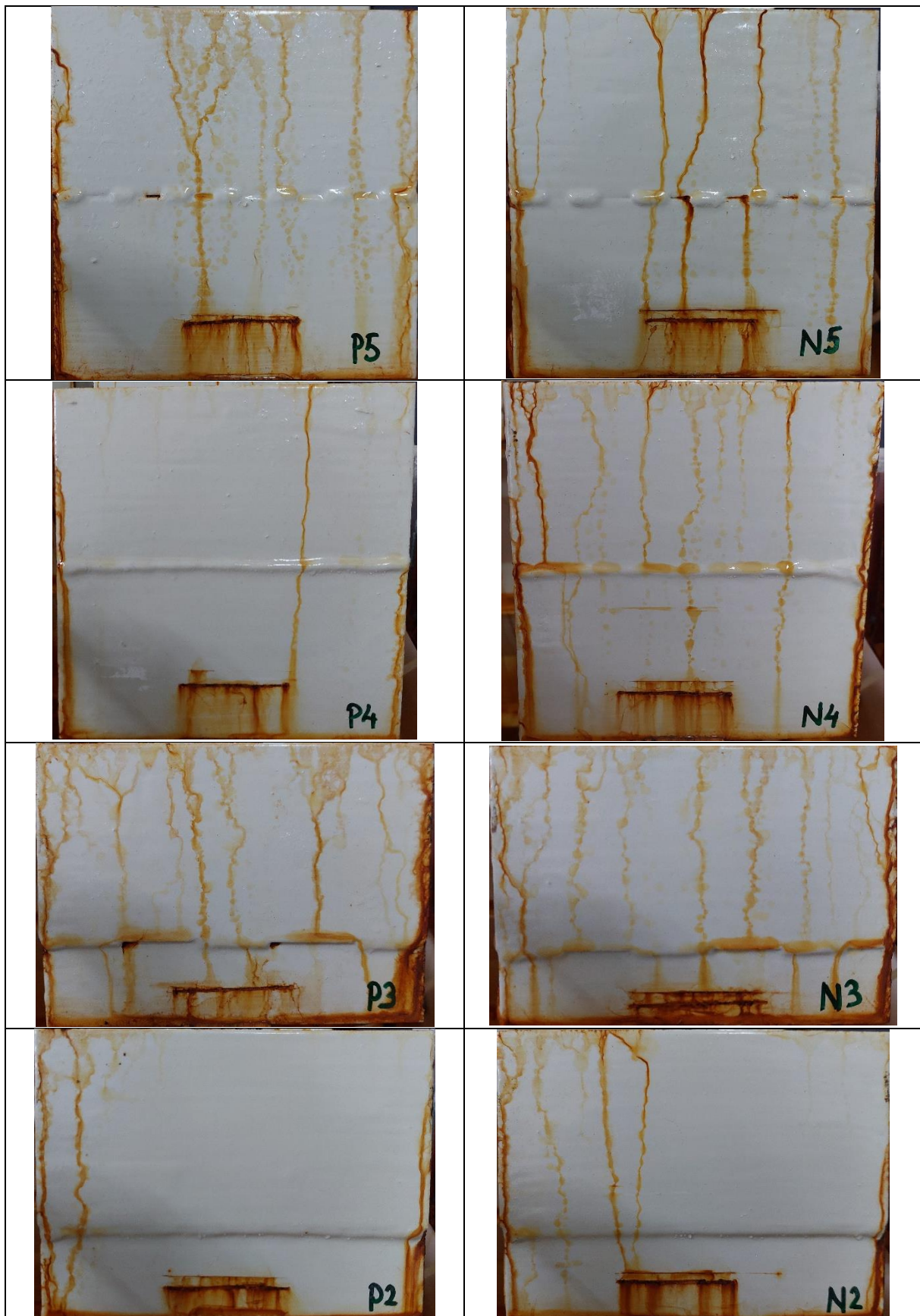
Tablica 7. Ispitivanje u slanoj komori nakon 72h



Tablica 8. Ispitivanje u slanoj komori nakon 192h



Tablica 9. Ispitivanje u slanoj komori nakon 384h



## 5.7. OCJENJIVANJE STUPNJA KOROZIJE

Nakon šesnaest dana u slanoj komori, uzorci su izvađeni iz komore i ostavljeni jedan dan prije nego su provedena ispitivanja stupnja korozije. Stupanj korozije se ocjenjuje prema normi HRN EN ISO 4628-8. Na urezima duljine 50 mm i širine 1 mm mjeri se širina korozije na svakih 5 mm, ukupno devet mjerenja i izračuna se njihova aritmetička vrijednost. Stupanj korozije ocjenjuje se prema formuli:

$$c = \frac{w_c - w}{2} \quad (11)$$

- $c$  – stupanj korozije (mm)
- $w_c$  – širina zone korozije (mm)
- $w$  – širina ureza (mm)

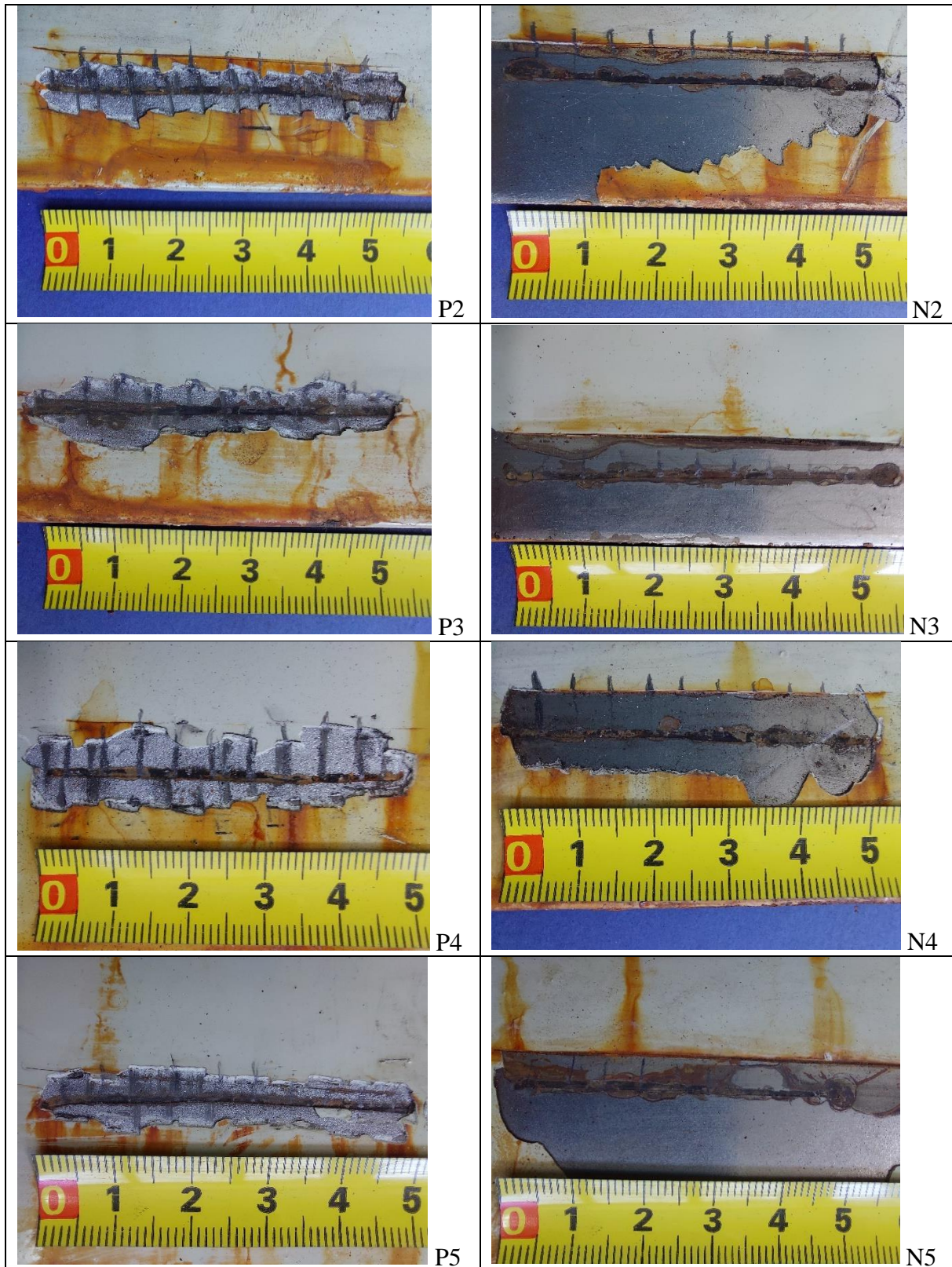
Prema normi, ocjena stupnja korozije ne smije biti veća od 1,5 mm. U tablici 10, vidljivo je da su svi rezultati manji od 1,5 mm. Ispitivanje pokazuje veće djelovanje korozije na nepripremljenim uzorcima u odnosu na pjeskarene. Izuzevši uzorak P3, gdje rezultati pokazuju malo veći stupanj korozije nego kod ostalih pjeskarenih uzoraka, utjecaj korozije na pjeskarene uzorke je minimalan.

Tablica 11 pokazuje detaljniji izgled djelovanja korozije na urezima te postupak mjerenja širine korozije.

**Tablica 10. Vrijednosti stupnja korozije**

	P2	N2	P3	N3	P4	N4	P5	N5
$c$ (mm)	0.08	0.36	0.28	0.61	0.03	0.50	0.06	0.83

Tablica 11. Ocjena stupnja korozije



## **5.8. ISPITIVANJE PRIONJIVOSTI NAKON ISPITIVANJA U SLANOJ KOMORI**

Prionjivost je ponovno ispitana „Cross-cut“ metodom prema normi HRN EN ISO 2409 na uzorcima koji su bili podvrgnuti korozijskom ispitivanju u slanoj komori.

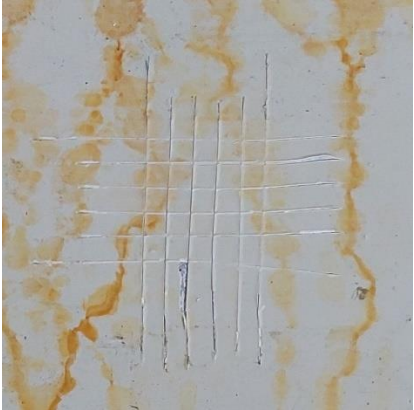

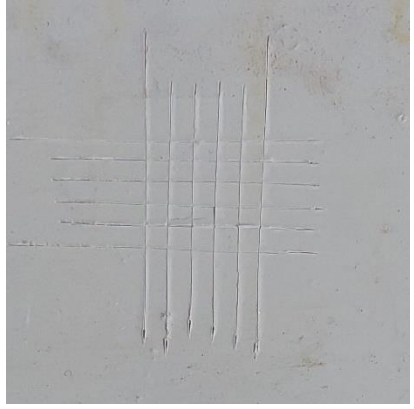
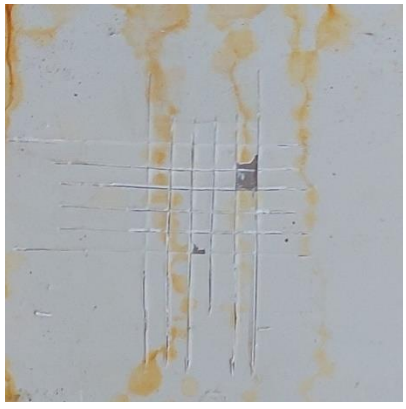

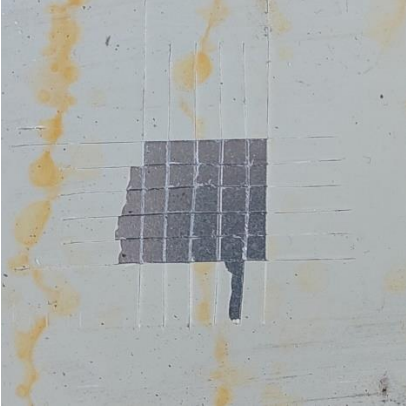
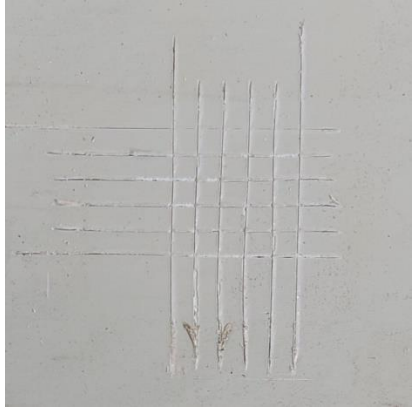
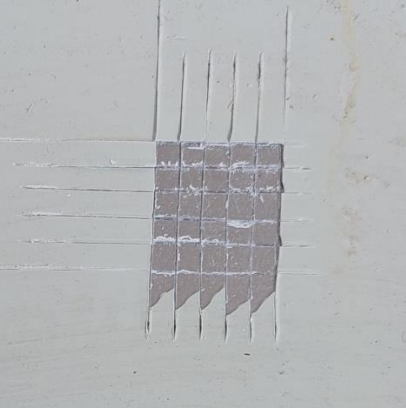
Dobiveni rezultati su pokazali jako dobru prionjivost premaza na pripremljenim uzorcima, tj. na pjeskarenim uzorcima (P2, P3, P4, P5). Dok kod neobrađenih uzoraka rezultati ispitivanja su pokazala da je prionjivost mnogo lošija.

Rezultati su prikazani u tablici 12. Prema normi HRN EN ISO 2409, slika 31, svi pjeskareni uzorci imaju ocjenu prionjivosti 0 - razred najbolje prionjivosti. Neobrađeni uzorci oznake N2 i N3 imaju ocjenu prionjivosti 5, pokazali su najlošiju, gotovo nikakvu prionjivost. N4 i N5 uzorci su iste loše prionjivosti, no malo bolje od uzoraka N2 i N3 te oni imaju ocjenu prionjivosti 3.

Prema tablici 11, gdje je ispitivan stupanj korozije, ujedno je vidljiva i slabija prionjivost premaza kod neobrađenih uzoraka. Prilikom skidanja premaza za potrebe mjerenja korozije, premaz kod neobrađenih uzoraka je puno lakše odstranjen.



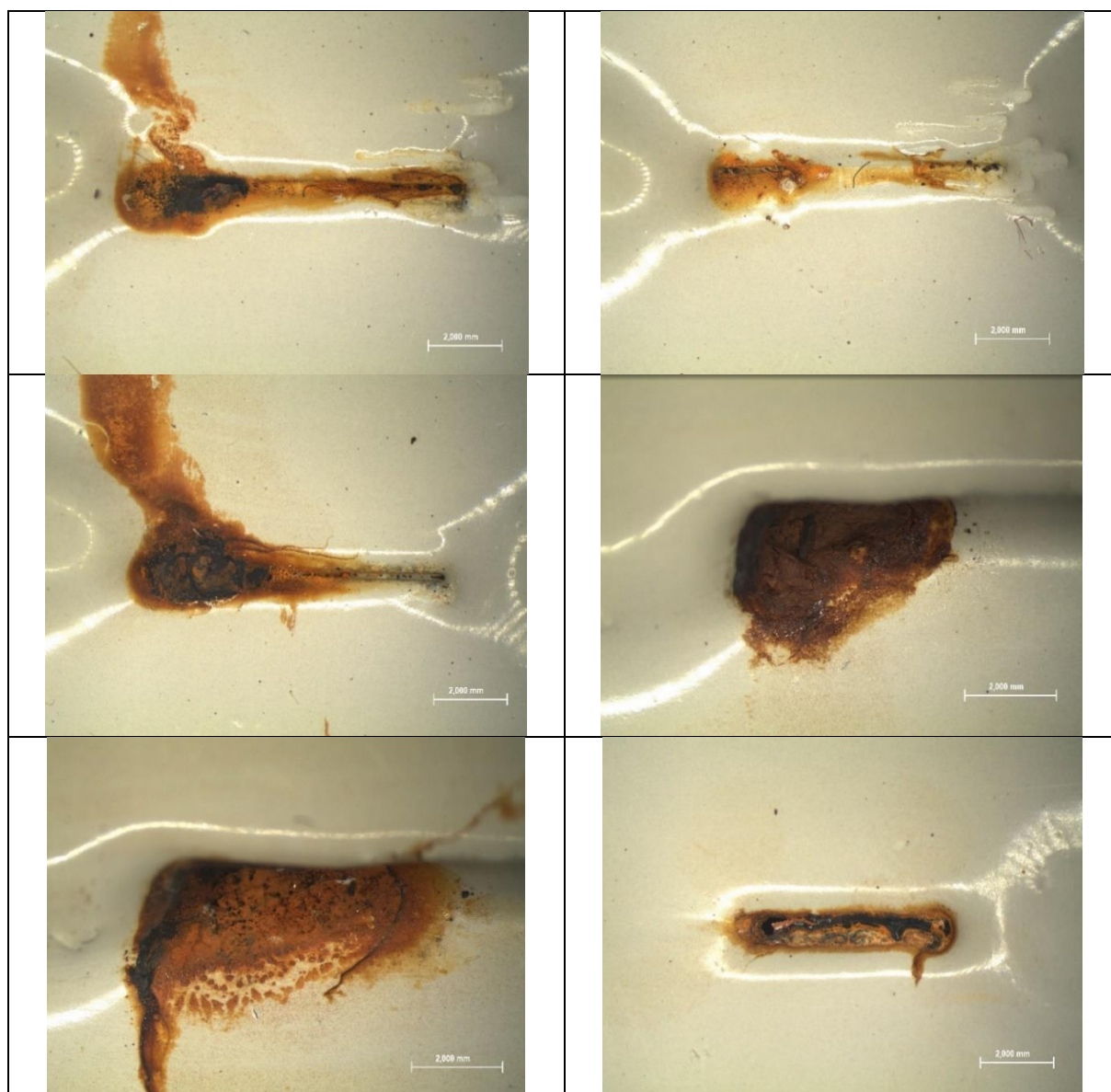
**Tablica 12. Ispitivanje prionjivosti na uzorcima iz slane komore**

	<p>Uzorak: P5 Ocjena prionjivosti: 0</p>		<p>Uzorak: N5 Ocjena prionjivosti: 3</p>
	<p>Uzorak: P4 Ocjena prionjivosti: 0</p>		<p>Uzorak: N4 Ocjena prionjivosti: 3</p>
	<p>Uzorak: P3 Ocjena prionjivosti: 0</p>		<p>Uzorak: N3 Ocjena prionjivosti: 5</p>
	<p>Uzorak: P2 Ocjena prionjivosti: 0</p>		<p>Uzorak: N2 Ocjena prionjivosti: 5</p>

## 5.9. UTJECAJ VRSTE ZAVARA NA KOROZIJSKO DJELOVANJE

Provedenim ispitivanjem u slanoj komori utvrđeno je da kod kontinuiranih zavora zapravo nema uopće pokazatelja korozijskog djelovanja. Kod isprekidanih zavora pojavila se korozija između zavaranih spojeva, pogotovo na uzorcima P3, P5 i N5. Na svim uzorcima sa isprekidanim zavarenim spojem je došlo do pojavljivanja korozije, osim kod uzorka N3. Kod uzorka N3 je zbog debelog sloja premaza, odnosno prilikom nanošenja premaz je popunio procjep između zavora i na neki način zaštitio uzorak od oštećivanja korozijom. Tablica 14. pokazuje izgled korozije kod isprekidanih zavarenih spojeva. Uzorci su snimljeni na stereomikroskopu „Leica MZ6“.

**Tablica 13. Korozijsko oštećivanje uzorka sa isprekidanim zavarenim spojem**



## 5.10. ANALIZA REZULTATA

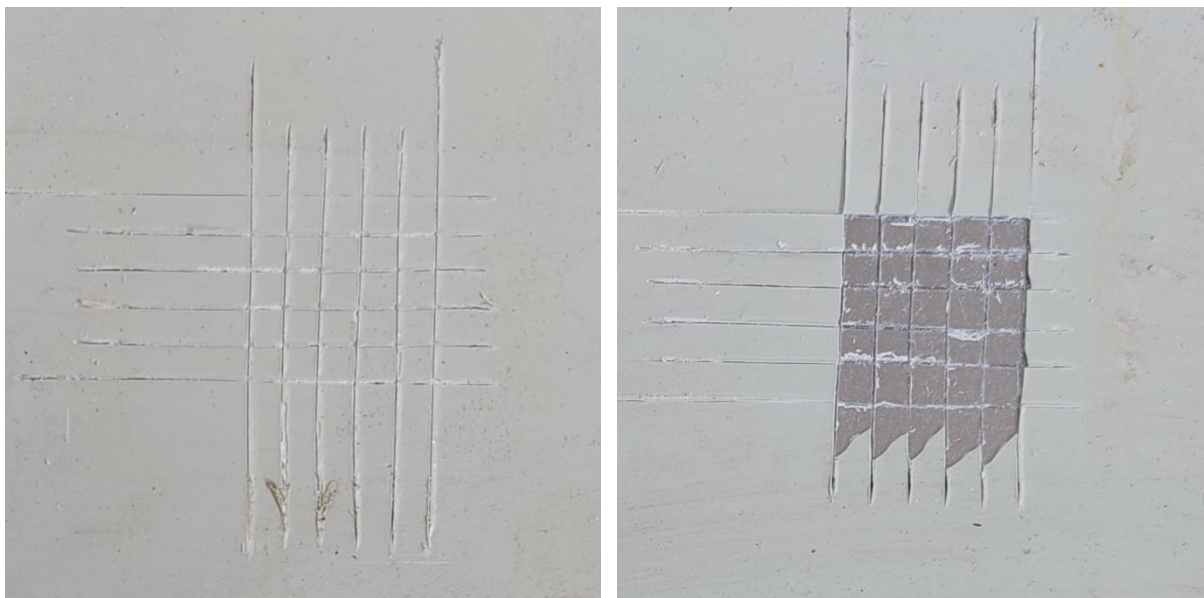
Ispitivanjem korozijskog djelovanja na uzorke u slanoj komori prema HRN EN ISO 9227 utvrđeno je:

- da su uzorci zadovoljili test ocjenjivanja stupnja korozije prema normi HRN EN ISO 4628-8. Iz tablice 10 dokazano je da su svi rezultati stupnja korozije manji od 1,5 mm, što prema normi mora biti kako bi test bio zadovoljen. Obzirom da su ispitane dvije vrste uzoraka, pjeskareni i neobrađeni uzorci, korozijsko djelovanje je veće kod neobrađenih uzoraka, slika 38.



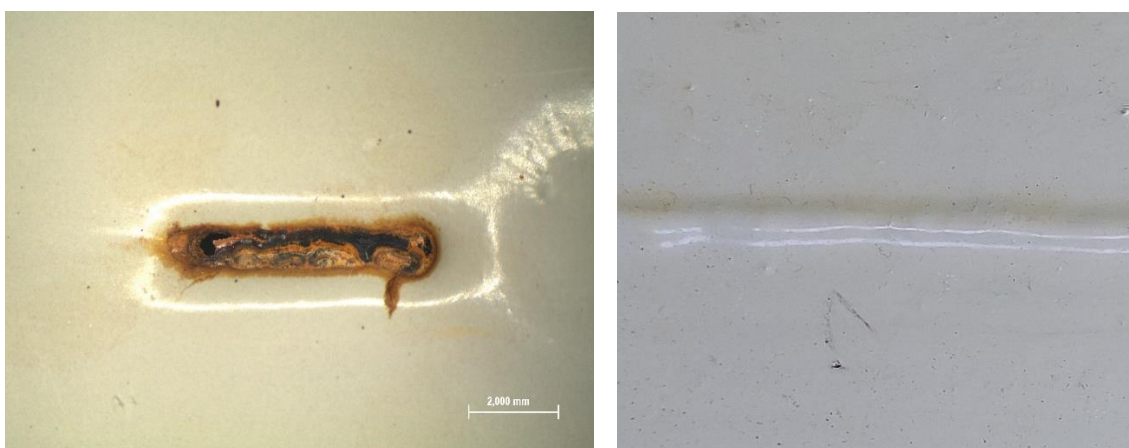
**Slika 37. Utjecaj korozije kod pjeskarenog (lijevo) i neobrađenog (desno) uzorka**

- da je prionjivost premaza pjeskarenih uzoraka izrazito dobra, ali kod neobrađenih uzoraka prionjivost premaza je jako loša, slika 38. Ispitivanjem prionjivosti „Cross-cut“ metodom, prema normi HRN EN ISO 2409, rezultati su pokazali da pjeskareni imaju ocjenu prionjivosti 0, a neobrađeni uzorci N4 i N5 ocjenu prionjivosti 3 te uzorci N2 i N3 ocjenu prionjivosti 5, slika 38. Priprema površine uvelike utječe na prionjivost premaza, a samim time i na zaštitna svojstva.



**Slika 38. Ispitivanje prionjivosti premaza na pjeskarenom (lijevo) i neobrađenom (desno) uzorku**

- da isprekidana vrsta zavora pogoduje nastanku korozije u procjepu između zavora. Prilikom ispitivanja u slanoj komori došlo je do pojave korozijskog oštećivanja između zavarenih spojeva, a kod kontinuiranog zavarenog spoja premaz je zaštitio uzorak od korozijskog oštećivanja. Na uzorcima sa isprekidanim zavarenim spojem P3, P5 i N5 vidljivo je korozijsko oštećivanje, slika 39. Kod uzorka N3 nema vidljive pojave korozijskog djelovanja između zavarenog spoja zbog predebelog sloja nastao prilikom nanošenja premaza. Sloj premaza je popunio procjep između zavarenog spoja i nije došlo do vidljivog korozijskog oštećivanja uzorka.



**Slika 39. Korozijsko oštećivanje uzoraka sa isprekidanim i kontinuiranim zavarenim spojem**

## 6. ZAKLJUČAK

Nelegirani niskougljični čelici su najrašireniji i najzastupljeniji čelici prvenstveno zbog svoje cijene. Imaju izrazito nizak udio ugljika, od 0,05 do 0,25%, te su zato pogodni kod zavarivanja. Korozijsko uništavanje materijala veliki je problem u industriji u cijelom svijetu. Kada se govori zaštiti od korozije, govori se o smanjenju ili poništenju pokretačke sile i povećanju otpora koji se opire djelovanju te pokretačke sile. Zaštita organskim prevlakama najčešći je postupak korozijske zaštite materijala. Najčešće se nanose u više slojeva, a pored zaštitne uloge imaju i dekorativnu ulogu.

U eksperimentalnom dijelu završnog rada uzorci su podvrgnuti korozijskom ispitivanju u slanoj komori prema HRN EN ISO 9227. Uzorci od nelegiranog niskougljičnog čelika (Č0146) zavareni su različitim tipovima zavara te su četiri uzorka pjeskarena dok su četiri uzorka neobrađene površine. Osnovni cilj rada je bio pokazati utjecaj vrste zavarenog spoja na svojstva organskog premaza i prionjivost premaza obzirom na obrađenost površine.

Nakon provedenog ispitivanja utvrđeno je:

- Korozijsko oštećivanje javilo se kod isprekidanih zavarenih spojeva u procjepu, dok je kod kontinuiranih zavarenih spojeva premaz u potpunosti zaštitio uzorak
- Prionjivost premaza je znatno lošija kod uzoraka sa neobrađenom površinom, uzorci sa pjeskarenom površinom imaju izvrsnu prionjivost premaza.
- Veći stupanj korozije kod neobrađenih uzoraka

Provedeno ispitivanje pokazuje da obrađenost površine i vrsta zavarenog spoja imaju znatan utjecaj na zaštitna svojstva premaza. Iako su svi uzorci zadovoljili test stupnja korozije, vidljivo je da ipak neobrađeni uzorci imaju lošiju otpornost na koroziju od obrađenih uzoraka. Priprema površine najviše utječe na prionjivost premaza. Provedenim ispitivanjima utvrđeno je da uzorci neobrađene površine nakon izlaganja agresivnoj atmosferi nemaju gotovo nikakvu prionjivost što potvrđuje dominantan utjecaj stanja površine prije nanošenja premaza radi osiguranja odgovarajućih zaštitnih svojstava sustava zaštite prevlakama.

## 7. LITERATURA

- [1] Ivan Juraga, Vesna Alar, Ivan Stojanović: Korozija i zaštita premazima, 2014.
- [2] Ema Stupnišek – Lisac; Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, Zagreb 2007.
- [3] Pierre R. Roberge: Handbook of corrosion engineering, 1999.
- [4] Ivan Esih, Zvonimir Dugi; Tehnologija zaštite od korozije, Zagreb 1989.
- [5] Denny A. Jones; Principles and prevention of corrosion
- [6] V. S. Sastri, Edward Ghali, Mimoun Elboujdaini; Corrosion prevention and protection
- [7] Fuad Khoshnaw, Rolf Gubner; Corrosion atlas case studies, 2019.
- [8] <https://elemstroj.fsb.hr/pdf/tehnologicno/korozija.pdf>, pristupljeno 19.2.2022.
- [9] <https://www.gradnja.me/clanak/8/Za%C5%A1tita-%C4%8Deli%C4%8Dnih-konstrukcija-od-korozije>, pristupljeno 11.2.2022.
- [10] <https://slideplayer.gr/slide/14249288/>, pristupljeno 10.2.2022.
- [11] P. Marcus, J. Oudar; Corrosion mechanisms in theory and practice, 1995
- [12] Compiled by Evert D. D. During; Corrosion atlas, a collection of illustrated case histories, 1997.
- [13] ASM Handbook, Volume 13A, Corrosion: Fundamentals, Testing and Protection
- [14] <https://www.slideserve.com/silas/vrste-korozije-s-obzirom-na-geometrijski-oblik-razaranja>, pristupljeno 19.2.2022.
- [15] Ivan Esih; Osnove površinske zaštite, Zagreb 2003.