

# Zaštita od korozije polimernim prevlakama

---

**Meštrović, Lovro**

**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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:853055>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Lovro Meštrović**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

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

Student:

Lovro Meštrović

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem mentoru, doc. dr. sc. Vinku Šimunoviću dipl. ing. na uvijek dostupnoj pomoći i korisnim savjetima tijekom pisanja Završnog rada.

Zahvaljujem roditeljima i sestri na podršci i pomoći tijekom cjelokupnog obrazovanja i studiranja.

Zahvaljujem baki i djedu na riječima ohrabrenja tijekom obrazovanja.

Zahvaljujem djevojci na podršci i lijepom vremenu provedenom izvan studija.

Zahvaljujem prijateljima na lijepom vremenu provedenom na studiju i izvan njega.

Zahvaljujem stricu na pomoći i savjetima tijekom eksperimentalnog dijela ovog rada.

Lovro Meštrović





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomске 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: **Lovro Meštrović** JMBAG: **0035215361**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Zaštita od korozije polimernim prevlakama**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Corrosion protection by polymer coatings**

Opis zadatka:

Nanošenje prevlaka najzastupljenija je metoda zaštite od korozije. Koristi se za dugotrajnu zaštitu različitih konstrukcija u širokom nizu korozivnički agresivnih okoliša, počevši od atmosferskog izlaganja, pa sve do najzahtjevnijih eksploatacijskih uvjeta u postrojenjima kemijske industrije. Važnu skupinu prevlaka čine polimerne prevlake koje se nanose postupcima plastifikacije pri čemu je najzastupljeniji postupak elektrostatičkog nprašivanja. Polimerne prevlake nalaze svoju sve širu primjenu u gotovo svim područjima, što se može pojasniti intenzivnim razvojem novih polimernih materijala za prevlake, unapređivanjem tehnologija nanošenja te, u najvećoj mjeri, ekološkim prednostima u odnosu na ostale organske prevlake.

U teorijskom dijelu rada potrebno je proučiti mehanizme korozivnog oštećivanja i metode zaštite od korozije te dati osvrt na štete koje nastaju uslijed korozije. Detaljno izučiti vrste i postupke nanošenja polimernih prevlaka te područja njihove primjene.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je osmisliti i provesti laboratorijska korozivna ispitivanja uzoraka zaštićenih polimernom prevlakom s ciljem utvrđivanja utjecaja pripreme površine na zaštitna svojstva.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

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.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Vinko Šimunović

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	1
POPIS SLIKA .....	3
POPIS TABLICA.....	5
POPIS OZNAKA .....	6
SAŽETAK.....	7
SUMMARY .....	8
1. O koroziji .....	9
1.1. Sigurnosne posljedice .....	9
1.2. Financijske posljedice .....	10
2. Nastajanje korozije .....	11
2.1. Brzina korozije .....	11
2.2. Ispitivanja korozije.....	11
3. Načini spriječavanja korozije .....	12
3.1. Galvaniziranje .....	12
3.1.1. Vruće pocinčavanje.....	13
3.1.2. Niklanje.....	13
3.2. Zaštita antikorozivnim organskim premazima.....	14
3.3. Korištenje materijala otpornih na koroziju .....	14
3.4. Plastifikacija.....	15
3.4.1. Postupci nanošenja polimernih prevlaka .....	15
3.4.1.1. Lijepljenje .....	15
3.4.1.2. Vruće prskanje .....	15
3.4.1.3. Nataljivanje .....	15
3.4.1.4. Fluidizacija / sinteriranje.....	16
3.4.1.5. Elektrostatsko naprašivanje .....	16
4. Priprema pred plastifikaciju.....	17
4.1. Pranje visokotlačnim peračem .....	17
4.2. Čišćenje mlazom abraziva .....	17
4.3. Kemijsko čišćenje (uranjanjem).....	18
4.4. Strojno mehaničko čišćenje .....	18
4.5. Ručno mehaničko čišćenje.....	19
5. Ispitivanje prevlake.....	20
5.1. Ispitivanja debljine prevlake .....	20
5.2. Ispitivanja fizikalnih svojstava prevlake.....	20
5.2.1. Ispitivanje prionljivosti prevlaka – „Cross cut“ test .....	20
5.2.2. Ispitivanje tvrdoće prevlake .....	20
5.2.2.1. Ispitivanje tvrdoće po Buchholzu .....	20
5.2.2.2. Ispitivanje tvrdoće njihalom .....	21
5.2.2.3. Ispitivanje tvrdoće prevlaka olovkama .....	21
5.2.3. Ispitivanje otpornosti prevlake na udar .....	21

---

5.2.4. Ispitivanje elastičnosti prevlake .....	22
5.2.5. Ispitivanje sjaja prevlake.....	22
5.3. Ispitivanje uranjanjem.....	22
5.4. Elektrokemijska ispitivanja.....	22
5.4.1. Elektrokemijska korozijska ispitivanja istosmjernom strujom.....	23
5.4.2. Elektrokemijska korozijska ispitivanja izmjeničnom strujom.....	23
5.5. Korozija u tlu .....	23
5.6. Ubrzana korozijska ispitivanja u komorama.....	24
5.6.1. Vlažna komora .....	24
5.6.2. Slana komora .....	24
5.6.3. Industrijska komora .....	25
5.6.4. QUV komora.....	25
6. Eksperimentalni dio završnog rada.....	26
7. Određivanje kemijskog sastava uzoraka.....	27
8. Priprema uzoraka .....	28
8.1. Neobrađeni uzorci .....	28
8.2. Uzorci pripremljeni ručno brusnim papirom .....	28
8.3. Uzorci pripremljeni električnim alatom .....	29
8.4. Pjeskareni uzorci .....	30
8.5. Kemijski obrađeni uzorci .....	30
9. Postupak plastifikacije .....	32
10. Ispitivanja polimerne prevlake .....	35
10.1. Ispitivanje debljine prevlake .....	35
10.2. Ispitivanje otpornosti prevlake na udar prije korozijskih ispitivanja.....	36
10.3. Test prionljivosti prevlake – „Cross cut“ test prije korozijskih ispitivanja .....	43
10.4. Korozijska ispitivanja u vlažnoj komori .....	47
10.5. Korozijska ispitivanja u slanoj komori .....	49
10.6. Test prionljivosti prevlake – „Cross cut“ test nakon korozijskih ispitivanja.....	51
10.7. Ispitivanje otpornosti prevlake na udar nakon izlaganja u slanoj i vlažnoj komori...	55
11. ZAKLJUČAK.....	66
LITERATURA.....	67

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Shema galvanskog članka [6].....	12
Slika 2.	Vađenje obradaka iz kupke rastaljenog cinka [7] .....	13
Slika 3.	Prikaz čišćenja mlazom abraziva [10].....	17
Slika 4.	Prikaz čišćenja metala ručnim električnim alatima .....	18
Slika 5.	Prikaz ručnog mehaničkog čišćenja metala.....	19
Slika 6.	Ispitivanje tvrdoće prevlaka olovkama [12].....	21
Slika 7.	Prikaz rada slane komore [13].....	25
Slika 8.	Olympus Portable X-Ray Fluorescence .....	27
Slika 9.	Neobrađeni uzorci .....	28
Slika 10.	Uzorci pripremljeni ručno brusnim papirom.....	28
Slika 11.	Uzorci prije obrade električnim ručnim alatom .....	29
Slika 12.	Uzorci nakon obrade električnim ručnim alatom .....	29
Slika 13.	Uzorci pripremljeni pjeskarenjem .....	30
Slika 14.	Posupak kemijskog čišćenja i pasiviranja .....	31
Slika 15.	Uzorci obrađeni u kiselini i pasivatoru.....	31
Slika 16.	Deklaracija korištenog praha.....	32
Slika 17.	Uređaj za elektrostatsko raspršivanje praha .....	32
Slika 18.	Postupak nanošenja praha .....	33
Slika 19.	Vađenje uzoraka iz peći .....	34
Slika 20.	Hlađenje uzoraka .....	34
Slika 21.	Ispitivanje debljine prevlake .....	35
Slika 22.	Ispitivanje otpornosti prevlake na udar .....	37
Slika 23.	Prikaz stereomikroskopa LEICA MZ6.....	37
Slika 24.	Uzorak N1 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 20 cm.....	38
Slika 25.	Uzorak N1 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 30 cm.....	38
Slika 26.	Uzorak R1 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 10 cm.....	39
Slika 27.	Uzorak R1 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 20 cm.....	39
Slika 28.	Uzorak B1 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 50 cm.....	40
Slika 29.	Uzorak B1 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 55 cm.....	40
Slika 30.	Uzorak P1 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 10 cm.....	41
Slika 31.	Uzorak P1 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 15 cm.....	41
Slika 32.	Uzorak K1 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 25 cm.....	42
Slika 33.	Uzorak K1 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 30 cm.....	42
Slika 34.	Pomagalo za ocrtavanje mreže .....	44
Slika 35.	Ljepljenje trake na mrežu nakon zarezivanja prevlake .....	45
Slika 36.	Očitavanje rezultata ispitivanja .....	45
Slika 37.	Vlažna komora .....	47
Slika 38.	Uzorci u vlažnoj komori neposredno nakon početka ispitivanja .....	48

Slika 39.	Uzorci nakon 480h ispitivanja u vlažnoj komori .....	48
Slika 40.	Slana komora Ascott, model S450 .....	49
Slika 41.	Uzorci posloženi u slanoj komori neposredno nakon umetanja.....	50
Slika 42.	Uzorci nakon 480h u slanoj komori .....	50
Slika 43.	Test prionljivosti na uzorku B3 poslije vlažne komore.....	51
Slika 44.	Stereomikroskopska slika mreže Cross cut postupka na uzorku B3.....	53
Slika 45.	Primjer uzorka sa slabom prionljivošću - uzorak N4 .....	53
Slika 46.	Primjer uzorka slabe prionljivosti – uzorak N4.....	54
Slika 47.	Primjer uzorka oslabljene prionljivosti – uzorak N3.....	54
Slika 48.	Ispitivanje otpornosti prevlake na udar nakon izlaganja uzoraka u komorama ...	55
Slika 49.	Uzorak N4 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 5 cm.....	56
Slika 50.	Uzorak N4 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 10 cm.....	56
Slika 51.	Uzorak R4 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 10 cm.....	57
Slika 52.	Uzorak R4 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 20 cm.....	57
Slika 53.	Uzorak B4 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 10 cm.....	58
Slika 54.	Uzorak B4 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 15 cm.....	58
Slika 55.	Uzorak P4 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 15 cm.....	59
Slika 56.	Uzorak P4 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 20 cm.....	59
Slika 57.	Uzorak K4 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 20 cm.....	60
Slika 58.	Uzorak K4 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 30 cm.....	60
Slika 59.	Uzorak N3 - ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 5 cm.....	62
Slika 60.	Uzorak R3 - ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 5 cm.....	62
Slika 61.	Uzorak B3 - ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 5 cm.....	63
Slika 62.	Uzorak P3 - zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 5 cm.....	63
Slika 63.	Uzorak P3 - ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 10 cm.....	64
Slika 64.	Uzorak K3 - ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 5 cm.....	64

---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1.	Opis laboratorijskih ispitivanja ovisno o skupini uzorka .....	26
Tablica 2.	Kemijski sastav uzoraka .....	27
Tablica 3.	Rezultati mjerenja debljina prevlake .....	35
Tablica 4.	Prosjek debljine prevlake po grupama pripreme .....	36
Tablica 5.	Rezultati ispitivanja otpornosti prevlake na udar .....	43
Tablica 6.	Određivanje potrebnog razmaka između ureza .....	43
Tablica 7.	Određivanje ocjene prijanjanja prevlake .....	44
Tablica 8.	Rezultati ispitivanja prionljivosti prevlake prije izlaganja uzoraka u agresivnim atmosferama .....	46
Tablica 9.	Parametri ispitivanja u slanoj komori.....	49
Tablica 10.	Rezultati ispitivanja prionljivosti nakon izlaganja uzoraka u agresivnim sredinama.....	52
Tablica 11.	Rezultati ispitivanja otpornosti prevlake na udar nakon ispitivanja u slanoj komori .....	61
Tablica 12.	Rezultati ispitivanja otpornosti prevlake na udar nakon ispitivanja u vlažnoj komori .....	65

**POPIS OZNAKA**

Oznaka	Jedinica	Opis
$C_n$	%	Prekrivenost površine
$C_1$	%	Prekrivenost površine nakon jednog ciklusa
$D_0$	$\text{mm}^2/\text{s}$	Koeficijent difuzije
$D$	mm	Promjer kuglice
$d$	$\mu\text{m}$	Debljina prevlake
$E_{\text{kor}}$	V	Korozivni potencijal
$E_p$	V	Potencijal pasiviranja
$E_z$	V	Zaštitni potencijal
$h$	$\mu\text{m}$	Dubina prodiranja penetratora
$I$	A	Jakost struje
$s$	$\text{m}^2$	Površina uzorka
$V$	$\text{m}^3$	Volumen plina
$V_c$	m/s	Brzina sudara
$V_{\text{pr}}$	$\mu\text{m}/\text{s}$	Brzina prevlačenja
$t$	s	Vrijeme
$t_p$	s	Vrijeme plastificiranja
$t_o$	s	Vrijeme obrade uzorka
$T$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura
$U$	V	Napon
$x$	mm	Udaljenost od površine

**SAŽETAK**

Korozija ili oksidacija je nezaustavljiv, spontan proces razgradnje materijala koja uzrokuje velike materijalne i financijske posljedice. U cilju spriječavanja razvoja korozije i šteta koje prouzročuje, velika se količina materijalnih sredstava i znanja ulaže u proučavanje nastanka i sprečavanja iste. Ovisno o mjestu i uvjetima eksploatacije razvile su se razne metode zaštite od korozije koje zahtjevaju različite načine nanošenja kao i metode pripreme pred nanošenje. U eksperimentalnom dijelu završnog rada izrađeni su uzorci od aluminijske legure tipa 5086, te su pripremljeni s pet različitih metoda pripreme prije nanošenja antikorozijske prevlake metodom elektrostatskog naprašivanja. U svrhu ispitivanja kvalitete i svojstava prevlake, uzorci su bili podvrgnuti ubrzanim korozijskim ispitivanjima u slanoj i vlažnoj komori koje reprezentiraju višestruko duža vremena eksploatacije no što je vrijeme ispitivanja u komorama. Prije ispitivanja u komorama kao i poslije, ispitana je prionljivost prevlake te otpornost iste na udarna opterećenja. Rezultati ispitivanja su analizirani te su izvedeni zaključci.

Ključne riječi: korozija, metoda pripreme, plastificiranje, ispitivanja prevlaka



---

**SUMMARY**

Corrosion or oxidation is an unstoppable, spontaneous process of material decomposition which causes major material and financial consequences. In order to prevent the development of corrosion, and the damage it causes, a large amount of material resources and knowledge is invested in the study of its origin and prevention. Depending on the place and conditions of exploitation, various methods of corrosion protection, which require different methods of application as well as methods of preparation before application, have been developed. In research that was conducted, samples were made of aluminum alloy type 5086, and prepared with five different methods of preparation before applying the anti-corrosion coating by the method of electrostatic spraying. In order to test the quality and properties of the applied coatings, the samples were exposed to accelerated corrosion tests in salt and wet chambers, which represent many times longer service life than time exposed in the chambers. Before and after testing in the chambers, adhesion of the coating and the resistance of the coating to impact loads was tested.

Key words: corrosion, method of preparation, plasticization, coating testing

## 1. O koroziiji

Konstrukcijski materijali predodređeni su, u eksploatacijskim uvjetima, biti pod štetnim utjecajem okoline koja ih okružuje. Takvo nepoželjno i nenamjerno trošenje naziva se koroziija. Ne navedemo li o kojem materijalu se radi, kada govorimo o koroziiji, možemo zaključiti da se radi o metalima, no metali nisu jedini podložni koroziiji. Spontane razgradnje materijala primjećujemo kod betona, keramike, stakla te polimernih materijala. [1]

Koroziija ili oksidacija opisuje spontan proces razgradnje materijala na osnovne komponente od kojih je sastavljen. Tom opiranju razgradnje protive se fizikalni i kemijski otpori kojima je brzina oštećivanja obrnuto proporcionalna. Gledajući unutarnje čimbenike, najrelevantnija su obilježja materijala, dok su za vanjske obilježja okoline. Bitniji unutarnji čimbenici su sastav materijala, prostorni raspored i oblik kristala te defekti u kristalnoj rešetci, zaostala mehanička naprezanja, hrapavost, površinski film i naravno, oblik predmeta. Gledajući eksterne čimbenike oštećenja najveći utjecaj imaju sastav medija u kojem se nalazi promatrana konstrukcija, temperatura, tlak kao i mehanička opterećenja, relativna brzina gibanja između medija i materijala, stupanj turbulencije fluida, prisutnost abrazijskih čestica u fluidu te dodir s ostalim materijalima u eksploataciji. [1]

Vanjski uzročnici koji uzrokuju oksidaciju metala su [1]:

- Kemijski čimbenici
- Fizikalni čimbenici
- Biološki čimbenici
- Električni čimbenici

### 1.1. Sigurnosne posljedice

Znatne ekonomske gubitke, kao i potencionalne sigurnosne opasnosti predstavlja koroziija na podzemnim i nadzemnim cjevovodima (naftovodima, plinovodima, toplovoda, vodovoda...) Gubitak čak i par grama materijala na mjestima gdje fluidi strujaju velikom brzinom, ovisno o vrsti fluida koji protječe kroz cjevovod, može dovesti do pojava pukotina na cjevovodima. Prilikom puknuća vodovoda nerijetki su odroni, a prilikom puknuća plinovoda redovita su trovanja i zapaljenja ili eksplozije dok su prilikom puknuća naftovoda neizbježna velika zagađenja te potencionalno i zapaljenja. Indirektni problem koji nastaje je nedolazak fluida na

željenu lokaciju, što može imati za posljedicu nemogućnost grijanja ili dobave pitke vode. Nerijetki su slučajevi kada uslijed korozije dolazi do nesreća u pomorskom ili kopnenom prijevozu, građevinarstvu ili nekoj drugoj grani industrije izloženoj vanjskim uvjetima. [2]

## 1.2. Financijske posljedice

Financijske posljedice utjecaja korozije teško je, gotovo i nemoguće, u potpunosti točno odrediti. Oksidiranju podliježu ne samo proizvodi, nego i poluproizvodi i sirovine. Samim time, troškove korozije osjetimo i prije nego proizvod dođe do eksploatacije. Uz direktne posljedice kao što su smanjenje kvalitete, smanjenje efektivnog radnog vijeka, skupljeg održavanja, nailazimo na indirektne, puno veće troškove. Prekid pogonskih linija, utrošeno vrijeme i novac za izradu novih dijelova, nesreće, predimenzioniranje; ne spominjući ekološke posljedice korištenja raznih zaštita od korozije. [2]

Prva procjena financijskih posljedica korozije na području Republike Hrvatske provedena je 1954. godine od strane Saveza inženjera i tehničara za zaštitu materijala. Metoda procjene bila je razlika stvarne amortizacijske stope od 3% te amortizacijske stope koja se mogla postići kvalitetnijim metodama zaštite konstrukcija u iznosu 1,1%. Navedeni podaci ukazuju na štetu od 1,9% ukupnog iznosa BDP-a. Koristeći se tim izračunom, financijske posljedice korozije na području Republike Hrvatske u 1990. godini iznose 2 milijade dolara. [3]

Ekonomije koje su veće nego naša, shodno razvoju i korištenju korodirajućih materijala, gube velike količine novaca i u iznosu i postotnim bodovima. SAD, prema istraživanjima rađenima od 1999. do 2001., je 1998. godine izgubio 275,7 milijardi dolara, što iznosi otprilike 1000 dolara po stanovniku na godišnjoj razini. [2]

Prema podacima Svjetske korozijske organizacije (WCO – The World Corrosion Organization), gledajući s razine svjetske ekonomije, procijenjeni troškovi 2006. godine bili su 2200 milijardi dolara, dok za 2011. procijenjeni troškovi dosežu i 3300 milijardi dolara. [3]

Sve ove brojke ukazuju na važnost antikorozivne zaštite kao i veliku mogućnost unaprijeđenja sustava i metoda zaštite.

## 2. Nastajanje korozije

### 2.1. Brzina korozije

Brzina nastajanja korozije i tijekom razvoja iste ovisi o nekoliko faktora, no uvijek se svodi na okolinu i materijal. Najzastupljenija metoda ispitivanja je određivanje smanjenja mase uzoraka vaganjem prije i nakon izlaganja agresivnoj okolini. Prije vaganja nakon izlaganja uzorak je potrebno očistiti od korozijskih produkata. „Gubitak mase sveden na jedinicu početne geometrijske ploštine izloženog materijala prava je mjera za napredovanje korozije.“ [1]

Metoda određivanja brzine korozijske propagacije pomoću određivanja gubitka mase pogodna je za opću koroziju zbog jednostavnosti korozijskog procesa, dok u slučajevima lokalne korozije navedena metoda postaje irelevantna. Kod lokalne korozije, gubitak mase može biti izrazito malen, no ukoliko je gubitak na nekom od ključnih dijelova konstrukcije, može biti značajan u pogledu funkcionalnosti proizvoda. Izvrstan primjer tome je korozija cjevovoda. [2]

### 2.2. Ispitivanja korozije

Korozijska ispitivanja nije moguće odrediti pomoću teorije, čak ni u jednostavnim slučajevima.

Svrha ispitivanja korozije su [4]:

- Odabir optimalnih materijala
- Razvoj materijala
- Utvrđivanje ponašanja materijala uslijed korozijskog djelovanja
- Utvrđivanje optimalnih zaštitnih metoda
- Dijagnosticiranje oštećenja
- Istraživanje mehanizama korozije i zaštite

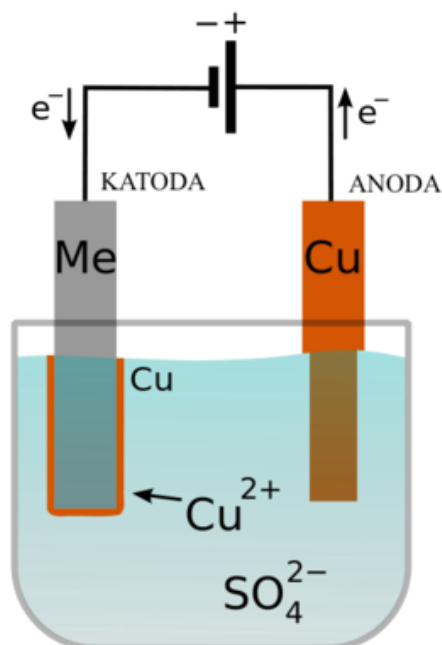
Metode ispitivanja korozijskih djelovanja su brojne, dok su najvažnije od njih kontrola površine metala, gravimetrijske metode, volumetrijske metode, analitičke metode, konduktometrijska metoda, mjerenje dubine pittinga, ubrzane metode i elektrokemijske metode. [4]

### 3. Načini sprječavanja korozije

#### 3.1. Galvaniziranje

Galvanizacija je elektrolitički postupak nanošenja metalne prevlake na obrađivani uzorak. Na ovaj se način, najčešće nanosi cink na određeni metal u svrhu korozijske zaštite uranjanjem u bazen rastaljenog materijala. Zbog jednostavnosti procesa, koristi se u velikim postrojenjima automobilske industrije, celulozne, transportne kao i u komunalne svrhe. Glavna korozijska zaštita dobivena od galvanizacije je elektrokemijska. Obzirom da cink posjeduje negativniji korozijski elektrodni potencijal nego čelik, on djeluje kao zaštitna anoda i prije će se početi otapati, dok čelik djeluje kao katoda. Preduvjet koji mora biti zadovoljen prije nanošenja galvanskih prevlaka je da uzorci moraju biti pripremljeni. Površine moraju biti dovoljno glatke i čiste kako bi se uspostavio dovoljan kontakt s kupkom. Priprema može biti kemijska, elektrokemijska ili mehanička, te ne postoji univerzalan način pripreme. Za mehaničku pripremu koristimo sljedeće metode: brušenje, poliranje, obrade u bubnjevima, pjeskarenje i četkanje. Kemijska priprema obradaka se može sastojati od jetkanja te poliranja kemijskim sredstvima. Uobičajena je i anodna i katodna priprema; odmašćivanje u alkalnim kupkama.

Shema galvanskog članka prikazana je na slici 1. [2, 5]



Slika 1. Shema galvanskog članka [6]

### 3.1.1. Vruće pocinčavanje

Vruće pocinčavanje je efikasna i ekološki prihvatljiva metoda antikorozijske zaštite. Provodi se uranjanjem obradaka u kadu s rastaljenim cinkom koji se nalazi na temperaturama od 20 °C do 80 °C višom od temperature tališta, stoga se te temperature pri pocinčavanju kreću oko 450 °C. Obratci manjih dimenzija uranjaju se u košarama, dok se veći obrađivani komadi uranjaju pomoću kuka, kliješta ili drugih alata. Šuplji predmeti moraju imati minimalno 2 otvora kako bi talina i zrak nesmetano prolazila unutar obratka. Vrijeme koje obratci provedu uronjeni mora biti dovoljno dugo da dostignu temperaturu taline, kako bi prijanjanje bilo adekvatno. Ukoliko su obratci predgrijani, utoliko se vrijeme uranjanja smanjuje. [8]

Vađenje obradaka iz kupke rastaljenog cinka prikazano je na slici 2.



Slika 2. Vađenje obradaka iz kupke rastaljenog cinka [7]

### 3.1.2. Niklanje

Niklanje je zbog dobre korozijske zaštite, kao i zbog lijepog izgleda i dobrih mehaničkih svojstava, najvažniji postupak galvaniziranja. Postupak niklanja često je korišten u zaštiti opreme korištenoj u prehrambenoj i kemijskoj industriji. Čestu primjenu, također, niklanje dobiva kod reparacije oštećenih strojnih dijelova. Utjecaj na kvalitetu i svojstva prevlake, osim sastava elektrolita, ima i temperatura, pH vrijednost, gustoća struje, miješanje elektrolita te stupanj pokretljivosti katode. Prevlake se mogu nanositi iz dva razloga, dekorativnih ili funkcionalnih. Pogreške koje se javljaju pri niklanju su slabo prijanjanje prevlake koje se događa

uslijed neodgovarajuće pripreme ili prisutnosti bakra, dobivanje tzv. pregorjelih prevlaka koje nastaju uslijed preniske koncentracije nikla, preniske temperature ili previsoke pH vrijednosti, poroznosti prevlake ili nejednako raspoređenog nikla po obratku, hrapavu prevlaku ili pak nedovoljan sjaj prevlake. [5]

### **3.2. Zaštita antikorozivnim organskim premazima**

Boje i lakovi su tekući organski premazi koje nanosimo u svrhu zaštite materijala. Nakon nanošenja premaza, potrebno je isti ostaviti da se osuši za dobivanje čvrstog sloja koji izolira materijal od atmosferskih utjecaja tj. štiti od korozije.

Boje predstavljaju skupinu organskih zaštitnih sredstava koju su sačinjene od veziva i pigmenta uz potencionalni dodatak otapala. Nakon nanošenja, zaštitini slojevi su mekani te ne naročito glatki. [4]

Lakovi su otopine veziva u organskim otapalima koji imaju mogućnost biti pigmentirani ili nepigmentirani. Nakon nanošenja, zaštitini slojevi su relativno tvrdi i glatki. Lakovi s pigmentima nazivaju se lak-bojama. [4]

Temeljni sastojci gore navedenih organskih premaza su [4]:

- Pigmenti
- Otapala
- Veziva

### **3.3. Korištenje materijala otpornih na koroziju**

Svakako jedan od najlakših postupaka borbe protiv korozije bio bi odabir materijala otpornih na koroziju, no zbog raznih tehnoloških i ekonomskih kriterija, konstruktor u nezahvalnom zadatku odabira, mora posezati i za drugim materijalima. Najčešće zbog cijene i konkurentnosti proizvoda se ne koriste spomenuti materijali, ali redovito se prilikom takvih situacija ti isti materijali koriste kao zaštitne prevlake. Najčešća područja korištenja ovih vrsta čelika nalazi se u agresivnim atmosferama u industriji i na morskom području. Grane industrije koje najčešće posežu za spomenutim materijalima su: brodogradnja, energetika, medicina, kemijska, petrokemijska i farmaceutska industrija. [4]

### **3.4. Plastifikacija**

Postupak plastifikacije određuje postupke nanošenja polimernih masa na metalne i nemetalne poluproizvode i proizvode u cilju antikorozijske zaštite te estetike. Trenutno u Europi približno 10-15% svih nanešenih organiskih prevlaka za zaštitu od korozije čine polimerne prevlake koje se nanose nekim od postupaka plastifikacije, a 75-85% od njih su na bazi epoksida. [9]

Plastificiranje kao tehnika nije nova. Dostupna je od 1950-ih, no uzlet je doživjela u ranim 2000-im godinama i kontinuirano raste postotak materijala zaštićenih ovom metodom.

#### **3.4.1. Postupci nanošenja polimernih prevlaka**

##### *3.4.1.1. Lijepljenje*

Ovim postupkom na površine koje su unaprijed pripremljene, nanosi se odgovarajuće ljepilo, a zatim i polimerna ploča ili folija. Postupak je najviše zastupljen u zaštićivanju unutarnjih dijelova posuda kao i vanjskih stijenki cjevovoda. Najčešći zaštitni materijal je polietilen, no antikorozivna zaštita može se postići i omatanjem i nanošenjem polipropilena. [9]

##### *3.4.1.2. Vruće prskanje*

Prednosti spomenute metode su dobre sposobnosti prijanjanja, te veliku upotrebu ima kod konstrukcijskih dijelova velikih dimenzija kod kojih nije moguće pečenje u pećima. Postupak nanošenja vrućeg praha odvija se pomoću odgovarajućeg pištolja koji pomoću smjese acetilena i zraka naprije zagrije prah te pomoću komprimiranog zraka nanosi na predmet obrade. Energija dobivena za grijanje praha, nekada čak i iznad temperature taljenja, može se dobiti i infracrvenom svjetiljkom, elektronskim mlazom ili dielektričnim visokofrekventnim grijanjem. [9]

##### *3.4.1.3. Nataljivanje*

Postupak nataljivanja sličan je postupku lijepljenja, s bitnom razlikom što se prilikom nataljivanja umjesto ljepila, za spajanje termoplastične trake, koristi vruća termoplastična traka koja se valja po podlozi ili se nataljivanje vrši raspršivanjem hladnog praha po podlozi zagrijanoj iznad tališta polimera. [9]



#### 3.4.1.4. Fluidizacija / sinteriranje

Prilikom nanošenja praha pomoću ove metode, zagrijani obradak spušta se u „kupku“ praha koji zbog strujanja zraka ili dušika odaje dojam kupke. Obradak se prije spuštanja grije na 100 °C do 200 °C iznad tališta poliplasta, što za većinu poliplasta iznosi između 180 °C i 400 °C. Efekt lebdećih čestica osim propuhivanjem, može se postići i vibracijama spremnika ili centrifugalnim bacanjem kao i sličnom metodom elektrostatske fluidizacije. Također, uz poliplaste, moguće je koristiti i poliamide, polivinilkloride i polietilene, te u manjoj mjeri i praškove na bazi epoksida. [9]

#### 3.4.1.5. Elektrostatsko naprašivanje

Elektrostatsko naprašivanje je ekološki najprihvatljiviji te posljedično i najčešće korišten postupak nanošenja antikorozijske zaštite. Glavna karakteristika ovog postupka je izbjegavanje korištenja otapala i razrjeđivača te zbog toga nema emisije štetnih plinova. Osim što nema štetnih plinova, velika je mogućnost naknadnog korištenja neiskorištenog praha, smanjenu potrebu filtriranja otpadnih voda, energija utrošena za grijanje peći može se koristiti za grijanje prostora nakon pečenja jer nema hlapljenja štetnih otapala. Potrebno je prilikom rada biti adekvatno zaštićen, ako se ne radi strojno naprašivanje, te je potrebno imati filtere na klimatizacijskom sustavu zbog sitnih čestica praha koji strujaju zrakom poslije nanošenja praha. Nanošenje praha može se odvijati na dva principa, a to su elektrostatskim nabijanjem čestica te nabijanjem čestica trenjem. Prilikom nanošenja praha, bitno je obratiti pažnju na oblik i poziciju obratka, jer prilikom nanošenja na obratke nepovoljnih oblika ili položaja dolazi do neravnomjernog ili nenanošenja praha na pojedine dijelove. Nakon nanošenja, obratci se unose u peć koja je predgrijana na 180 °C – 220 °C i ovisno o temperaturi pečenja, obratci su u peći između 15 i 25 minuta.

U vremenu koje obradak provede u peći odvijaju se tri postupka: taljenje praha, povezivanje i razlijevanje. Uz postupke nanošenja i pečenja, za krajnji rezultat bitan je i prah koji se nanosi. Osnovne komponente praha su: veziva, aditivi (dodaci za smanjenje sjaja, za očvršćivanje, za postizanje teksture...) pigmenti, voskovi i punila. Veziva praha, kao najbitniji element, mogu biti duromerne ili plastomerne. [9]

## 4. Priprema pred plastifikaciju

### 4.1. Pranje visokotlačnim peračem

Čišćenje vodenim mlazom predstavlja jednu od ekološki najprihvatljivijih metoda pripreme površine. Djelovanje vodenog mlaza pod visokim pritiskom odstranjuje krhke korodirane dijelove, odmašćuje, uklanja sol i stare premaze. Postupak je prilagodljiv zbog jednostavne regulacije tlaka, no iako je moguće dodavanje raznih dodataka u mlaz, kao što su kemikalije koje pomažu u pripremi, postupak nije primjenjiv u svim situacijama.

Nedostatak metode je što nije moguće postići veći profil hrapavosti, ukoliko to zahtjeva prevlaka koju planiramo nanijeti. Stoga, najčešće se pranje ovog tipa koristi kod djelomičnog popravka i remonta. [1]

### 4.2. Čišćenje mlazom abraziva

Čišćenje i priprema površine može se izvesti i mlazom abraziva, kvarcnog pijeska ili metalne sačme. Razlikujemo dvije vrste: mokri i suhi mlaz. Čišćenje se odvija pri sudaru čestica abraziva i podloge koju želimo očistiti. Karakteristike čišćenja ovise o veličini i tvrdoći čestica, upadnom kutu abraziva na površinu kao i brzini medija koji nosi abraziv. Što je okomitiji upad mlaza, čišćenje ima veći utjecaj te može utjecati i na povišenje tvrdoće ako se radi s velikim česticama.

Najjednostavniji i najkorišteniji postupak je pneumatički suhi postupak, slika 3. Postupak se provodi pomoću komprimiranog znaka koji preko gravitacijskog spremnika, nasisno iz ili tlačno iz spremnika uzima potrebnu količinu abraziva. [1]



Slika 3. Prikaz čišćenja mlazom abraziva [10]

### 4.3. Kemijsko čišćenje (uranjanjem)

Kemijsko čišćenje, često je korišteno kod dijelova koji su složenijeg oblika i teško dostupnih dijelova. Čišćenje se odvija najčešće u kiselinama, koje otapaju površinski sloj korozivskih produkata te odmašćuju nekorodirane površine. Koristeći kiseline dolazi i do nepoželjnih reakcija kao što su smanjivanje dimenzija, povećanje hrapavosti i pojavu vodikove krhkosti. Ukoliko želimo pripemiti aluminij ili aluminijske legure za antikorozivnu zaštitu, utoliko najčešće koristimo lužnate otopine. Čišćenje u lužnatim otopinama također ima slične negativne posljedice na materijal stoga je uranjanje u trajanju od 1 do 3 minute. Uz to što je ovaj postupak brz i učinkovit u usporedbi sa ostalim postupcima, potrebno je obratiti pozornost na kemijske nusprodukte nakon određenog broja uranjanja i čišćenja koje je potrebno odgovarajuće zbrinuti. Kako se postupak sastoji od nekoliko koraka uranjanja i za to potrebnih kada i pojačane ventilacije zbog nusprodukata, ovaj postupak svakako ne spada u najjeftinije postupke pripreme. [11]

### 4.4. Strojno mehaničko čišćenje

Strojno mehaničko čišćenje spada u jednostavne i jeftine metode pripreme površine. Najčešće se koriste pneumatske ili električne brusilice. Brusilice na rotirajućim pločama imaju rotacijske četke ili brusne papire. Što je prikazano na slici 4. Metode pripreme sa četkama najčešće se koriste za manja oštećenja, za uklanjanje troske, rascvjetale korozivske produkte, strugotine i sl. Metodu s brusnim papirom primjenjujemo kod uklanjanja produkata korozije, poboljšavanja kvalitete površine, uklanjanja metalnih kapi nastale navarivanjem prilikom zavarivanja, rješavanja problema zbog nadvišenja zavara i problema nezaobljenih rubova.

Rotacijske četke napravljene su od čvrstih, ali izdržljivih žica, dok brusne ploče mogu biti sastavljene od elektrokorunda, karborunda, kremena, dijamanta, stakla i dr. Veličine abrazivnih čestica su između 1  $\mu\text{m}$  i 3  $\mu\text{m}$ , dok se oznake ploča kreću između 8 i 3000. [1]



Slika 4. Prikaz čišćenja metala ručnim električnim alatima

#### 4.5. Ručno mehaničko čišćenje

Ručno mehaničko čišćenje primjenjuje se prilikom čišćenja i pripreme manjih površina zbog neučinkovitosti procesa. Često je korištena prilikom uklanjanja korozijskih nusprodukata kao i uklanjanja antikorozivnog premaza koji želimo zamijeniti. No, prilikom čišćenja ovom metodom potrebni su nam osnovni, jeftini alati kao što su žičane četke, brusni papiri raznih gradacija te strugala i dljetla, slika 5.



Slika 5. Prikaz ručnog mehaničkog čišćenja metala

## 5. Ispitivanje prevlake

### 5.1. Ispitivanja debljine prevlake

Ispitivanje debljine prevlake provodi se prema normi HRN EN ISO 2808:2008. Na vrijednosti iznosa debljine prevlake utječe puno faktora, neki od njih su temperature praha i obratka, elektrostatska veza između obratka i praha, oblik i kompleksnost obratka, u slučaju ručnog nanošenja i vještina nanošenja, oprema s kojom se nanosi prah i mnoge druge. [1]

Ispitivanje debljine prevlake možemo odrediti [1]:

- kontrolom debljine mokrog filma, DMF
- kontrolom debljine suhog filma, DSF.

### 5.2. Ispitivanja fizikalnih svojstava prevlake

#### 5.2.1. Ispitivanje prionljivosti prevlaka – „Cross cut“ test

Prionljivost prevlake je jedna od najbitnijih karakteristika stoga ispitivanja radimo prema normi HRN EN ISO 2409:2013.

Mreža od 25 kvadratića dobije se povlačenjem instrumenta za rezanje 2 · 6 linija pod pravim kutom. Urezivanje mora biti kontinuirane brzine i dubine rezanja. Nakon završetka rezanja prevlake, četkom se očisti područje koje ispitujemo kako bi uklonili sve nečistoće. Zadnji korak ispitivanja je lijepljenje trake na zarezano područje koja ima cilj s naglim odljepljivanjem izvući sve slabo prijanjajuće dijelove prevlake. Usporedbom količina prevlake koje preostanu na traci i fotodokumentacijom iz norme smjestimo uzorak u određeni razred prionljivosti. [1]

#### 5.2.2. Ispitivanje tvrdoće prevlake

##### 5.2.2.1. Ispitivanje tvrdoće po Buchholzu

Ispitivanje se provodi prema normi HRN EN ISO 2815:2013, mjerenjem duljine otiska uslijed djelovanja utisnog tijela na prevlaku. Utisno tijelo dimenzija sukladno normi opterećuje prevlaku silom od 5 N bez udara te se drži 30 sekundi. Nakon proteka 30 sekundi utisno se tijelo makne s prevlake te se mjeri duljina otiska. Što je otisak dulji, prevlaka je mekša. [1]

### 5.2.2.2. Ispitivanje tvrdoće njihalom

Ispitivanje se provodi prema normi HRN EN ISO 1522:2008. Njihalo se oslanja na površinu prevlake s čeličnim kuglicama te ovisno o tvrdoći prevlake dolazi do prigušenja njihanja za dulje ili kraće vrijeme. Najkorištenije metode ispitivanja tvrdoće njihalom su po Persozu i Konigu. Razlike u njihalima su u dimenzijama, trajanju i amplitudi prigušenja. [1]

### 5.2.2.3. Ispitivanje tvrdoće prevlaka olovkama

Ispitivanja se provodi prema normi HRN EN ISO 1522:2013. Ispitivanje se vrši uporabom olovke najveće tvrdoće pa prema sve mekšoj. Prva olovka koja ne uspije ostaviti trag na prevlaci označuje tvrdoću prevlake. Ispitivanje se vrši s maksimalno 20 olovaka, u rasponu od 9H (najtvrđe) do 9B (najmekše) pomoću nosača koji drži olovku pod kutom od 45° u odnosu na površinu ispitivanja. [1]



Slika 6. Ispitivanje tvrdoće prevlaka olovkama [12]

### 5.2.3. Ispitivanje otpornosti prevlake na udar

Ispitivanje se provodi prema normi HRN EN ISO 6272 u kojem se kuglica standardnog promjera i mase pozicionira na obradak, dok se uteg određen prema normi, s različitih visina pušta da slobodnim padom udari ispitnu površinu. Najveća vrijednost visine kod koje ne dolazi do oštećenja prevlake predstavlja usporedbenu vrijednost vezanu uz otpornost. [1]

#### **5.2.4. Ispitivanje elastičnosti prevlake**

Ispitivanje se provodi prema normi HRN EN ISO 1520:2008 koja uključuje utiskivanje trna u ispitnu pločicu. Trn se s jedne strane utiskuje u pločicu dok istovremeno tražimo prva oštećenja prevlake s druge strane. Granica elastičnosti prevlake predstavlja dubinu utiskivanja u mm pri kojoj nije došlo do pucanja prevlake. [1]

#### **5.2.5. Ispitivanje sjaja prevlake**

Ispitivanja sjaja provode se prema normi HRN EN ISO 2813:2004 sa sjajometrom. Sjaj površine mjeri se usporedbom sa zrcalnom površinom. Glavna karakteristika zrcalne površine je reflektiranje svjetla pod jednim kutom, dok matirana površina reflektira svjetlost u svim smjerovima. Ispitivanje se vrši mjerenjem reflektirane svjetlosti nakon upada svjetlosti pod kutom 20 °, 60 ° ili 85°. [1]

### **5.3. Ispitivanje uranjanjem**

Kao i sva ostala ispitivanja, kod ispitivanja uranjanjem pokušava na određeni način simulirati različite vremenske uvjete u puno kraćem roku i potaknuti pojave na materijalu za koje bi u eksploataciji bio potreban puno veći vremenski period. Postupak simulacije traje 24 sata i sastoji se od 24 manja ciklusa kod kojeg je uzorak 10 minuta uronjen u ispitnu otopinu te se nakon toga 50 minuta suši na zraku. Za reprezentaciju morskih atmosfera, točnije situacija u kojima je obradak u eksploataciji ponekad uronjen, ponekad suh koristi se 3,5 % - tna otopina NaCl kao ispitna otopina. Ispitivanja se provode prema normi ASTM G44. [1]

### **5.4. Elektrokemijska ispitivanja**

U kemijskoj kinetici, određuju se konstante brzine reakcije i red reakcije. U elektrokemijskoj kinetici dopunska mogućnost proizlazi iz činjenice da su reaktanti nabijene čestice, pa na brzinu reakcije direktno utječe razlika potencijala u elektrokemijskom dvosloju. [4]

Upoznati smo sa različitim elektrokemijskim mjernim tehnikama za određivanje brzine napretka korozije. Glavne tehnike dijelimo na [4]:

- DC tehnike (tehnike određivanja koristeći istosmjernu struju)
- AC tehnike (tehnike određivanja koristeći izmjeničnu struju)



#### **5.4.1. Elektrokemijska korozijska ispitivanja istosmjernom strujom**

Pri tehnici ispitivanja procesa istosmjernom strujom upotrebljavaju se potenciostatska i galvanostatska polarizacija. Potenciostatska polarizacija se provodi uporabom potenciozata - uređaja pomoću kojeg se na mjernoj elektrodi uspostavlja potencijal, dok se mjeri odzivna struja sustava. Kod galvanostatske polarizacije se uspostavlja struja na mjernoj elektrodi, dok se mjeri napon odaziva. Glavna je karakteristika polarizacijskih mjerenja djelovanjem na sustav signalom izvana te se promatranje unutarnjeg odziva. Elektrokemijska korozijska ispitivanja provode se u elektrokemijskoj ćeliji sačinjenoj od 3 elektrode: radne, referentne i pomoćne. [1]

#### **5.4.2. Elektrokemijska korozijska ispitivanja izmjeničnom strujom**

Metode ispitivanja koristeći izmjeničnu struju ušle su u upotrebu nakon metoda temeljenih na istosmjernoj struji. Prilikom ispitivanja izmjeničnom strujom ne dolazi do narušavanja sustava kao što je slučaj kod metoda ispitivanja istosmjernom strujom. Metoda se zasniva na odzivu strujnog kruga na izmjenični napon ili struju kao funkciju frekvencije. Budući da metoda ne uključuje linearnu promjenu potencijala, moguća su mjerenja u fluidima male vodljivosti, što smatramo najvećom prednošću ispred metoda ispitivanja istosmjernom strujom jer ne nailazimo na velike greške pri kontroli potencijala. [1]

### **5.5. Korozija u tlu**

Laboratorijska ispitivanja u tlu, u načelu se ne razlikuje od ispitivanja u tekućini. Najveća razlika u ispitivanjima je u pripremi postupka i osiguravanju heterogenih uvjeta, koje je jako teško održavati stalnim. Prije izvođenja ispitivanja, potrebno je iz tla ukloniti korijenje i kamenje te se zatim dodaje destilirana voda, za pripremu što boljih ispitnih uzoraka u vidu vlažnosti tla. Takvo vlažno tlo nasipava se oko ispitnog uzorka te naknadno kompresira tlakom između 3 kPa i 350 kPa. Kako bi vlaga, kao i ostali uvjeti ostali konstantni i kako bi se što vjerodostojnije opisali eksploatacijski uvjeti ispod ispitne posude nalazi se destilirana voda ili podzemne vode pa čak i voda iz kanalizacije. Agresivnost tla najčešće je najveća pri sadržaju vlage 25 % do 50 %. Daljnjim povećanjem vlage agresivnost tla ne raste zbog otežanog pristupa ispitnog tijela kisiku, bez kojeg nema korodiranja. Također, bitno je spomenuti i da uzorci koji se nalaze u tlu električne otpornosti manjom od 500  $\Omega\text{cm}$  su izloženi vrlo agresivnom okruženju, dok se ispitni uzorci u hladnoj zemlji ili onoj kojoj je električna otpornost preko 10 000  $\Omega\text{cm}$  mogu razmatrati kao uzorci koji nisu izloženi koroziji. [2]



## **5.6. Ubrzana korozivna ispitivanja u komorama**

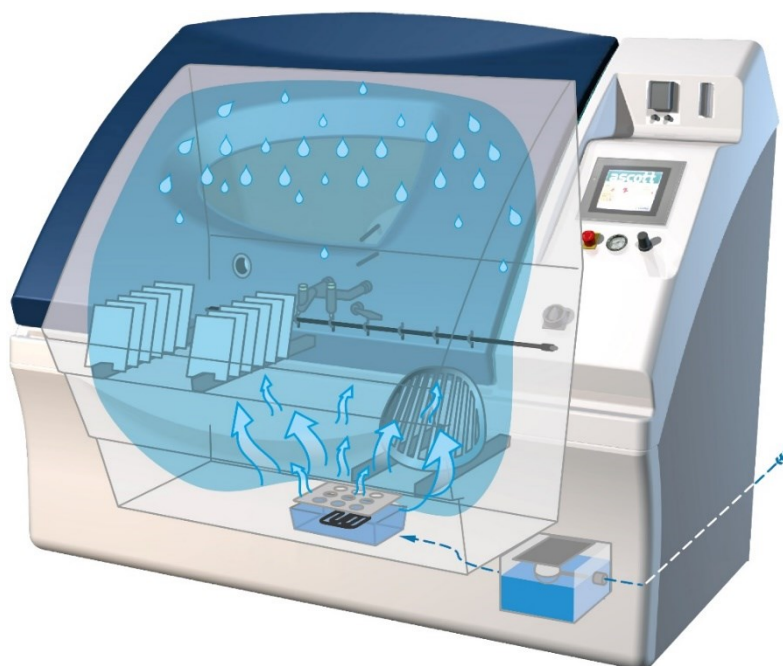
Ubrzana laboratorijska ispitivanja u atmosferama odvijaju se u slanoj i vlažnoj komori zbog mogućnosti regulacije uvjeta koji potiču koroziju. Bitno je spomenuti relativnu vlažnost, sastav atmosfere, temperaturu, svjetlost te izloženost nekim drugim vrstama zračenja. Komore su izgrađene od korozivno otpornih materijala te su volumeni ispitnih dijelova komora najčešće od 0,25 m<sup>3</sup> do 25 m<sup>3</sup>. Uvjeti u komorama mogu biti konstantni, no i promijenjivi, ovisno o uvjetima koje želimo reprezentirati. Ispitivanja mogu biti s kvašenjem uzoraka ili bez, s uranjanjem ili bez, možemo koristiti vodu ili vodene otopine, najčešće s povišenom temperaturom. [1]

### **5.6.1. Vlažna komora**

Jedan od najjednostavnijih uređaja za ispitivanje korozivne postojanosti je vlažna komora. Uzorci se u spomenutoj komori šaržiraju u vertikalnom položaju iznad vodene otopine s kojom ispitujemo. Nakon hermetičkog zatvaranja vrata, u komori se uključuju grijač kao i ventilator koji služe za stvaranje i održavanje unaprijed dogovorenih uvjeta. Često se ispitivanja događaju u ciklusima. [1]

### **5.6.2. Slana komora**

Modifikacijama vlažne komore, koristeći iste ili slične principe ispitivanja i dodavanjem korozivnih plinova u komoru, dobivamo slanu komoru. Najčešće u atmosferu u komori raspršuje se NaCl koji stvara uvjete vrlo agresivne magle. Agresivnije atmosfere uzrokuju bržu i jaču korozivnu reakciju. Ispitni uzorci se u slanim komorama šaržiraju često pod kutom od 75°, prema horizontali, no moguće je i uzorke pripremiti da su vertikalno iznad kosog dijela komore. Otopina korištena u komori priprema se od destilirane vode i soli pH vrijednosti između 6,5 i 7,2. Zbog ubrzanja pojave korozije, nerijetko se u otopinu dodaje i octena kiselina koja spušta pH vrijednost otopine do 3,1 do 3,5. Modifikacije uvjeta moguće je, uz spomenute otopine, promijeniti i načinom raspršivanja iste po uzorcima. Raspršivanje osim mlaznicama, može se činiti i centrifugalnim silama na rotirajućem disku. Prikaz kondenzacije vidljiv je na slici 7. [1, 11]



Slika 7. Prikaz rada slane komore [13]

### 5.6.3. Industrijska komora

Jednostavnim modifikacijama vlažne komore, tj. dovođenjem korozivnih plinova u radni prostor, stvaraju se uvjeti industrijske atmosfere. Najčešće se dovode  $\text{SO}_2$  ili  $\text{CO}_2$ . Komore tog principa djelovanja zovemo Kesternichovom komorom ili Testor-aparatom ako je izvedena prema normi HRN EN ISO 6988. Za vjerodostojan prikaz industrijske atmosfere, u komoru volumena cca.  $300 \text{ dm}^3$  dodaje se  $0,2 \text{ dm}^3 \text{ SO}_2$  ako je voda unaprijed zasićena plinom. [1]

### 5.6.4. QUV komora

Uzorci ispitivani u QUV komori izloženi su cikličkim izlaganjima UV svjetlosti i kondenzaciji. Za izvor UV svjetlosti koriste se fluorescentne UV-lampe, dok se kondenzacija na površini postiže grijačem uronjenim u spremnik ispod uzoraka te ventilatorom koji je zadužen za održavanje jednake relativne vlažnosti po cijelom volumenu komore. Ispitivanja u QUV komori provode se prema uputama sa norme HRN EN ISO 16474-3:2014. [1]

## 6. Eksperimentalni dio završnog rada

U eksperimentalnom dijelu završnog rada nakon izrezivanja aluminijskog lima, ispitni uzorci označeni su kombinacijom slova i brojeva zbog lakše analize. Zbog vjerodostojnosti rezultata, za jednu vrstu pripreme površine pripremljena su četiri tipa identičnih uzoraka. Tako da je sveukupno ispitano 20 uzoraka dimenzija  $150 \times 95 \times 2$  mm.

Prije ispitivanja određen je kemijski sastav uzoraka pomoću uređaja Olympus Portable X-Ray Fluorescence. Cilj eksperimentalnog dijela rada bio je promatrati i uspoređivati utjecaj pripreme podloge na prijanjanje i efikasnost antikorozivne zaštite poliesterskih prevlaka nanesenih plastificiranjem. Ispitivanja su provedena na neobrađenim uzorcima, ručno pripremljenim uzorcima, uzorcima pripremljenim električnim alatima, kemijski očišćenim uzorcima te uzorcima očišćenim mlazom abraziva. Prije i nakon izlaganja uzoraka u zahtjevnim atmosferama, u vlažnoj i slanoj komori, provedena su ispitivanja prionljivosti prevlake kao i otpornosti prevlake na udar. Opis ispitivanja po skupinama uzoraka dan je u tablici 1.

**Tablica 1. Opis laboratorijskih ispitivanja ovisno o skupini uzorka**

Skupina uzorka	Uzorci	Laboratorijsko ispitivanje
S1	N1, R1, B1, P1, K1	Ispitivanje otpornosti prevlake na udar
S2	N2, R2, B2, P2, K2	Ispitivanje prionljivosti prevlake na podlogu
S3	N3, R3, B3, P3, K3	Uzorci izloženi uvjetima vlažne komore i ispitivanje otpornosti prevlake na udar kao i ispitivanje prionljivosti prevlake
S4	N4, R4, B4, P4, K4	Uzorci izloženi uvjetima slane komore i ispitivanje otpornosti prevlake na udar kao i ispitivanje prionljivosti prevlake

## 7. Određivanje kemijskog sastava uzoraka

Ispitivanje kemijskog sastava provedeno je nerazornom XRF metodom Olympusovim prijenosnim uređajem pomoću fluorescentnih X zraka prikazanim na slici 8.



Slika 8. Olympus Portable X-Ray Fluorescence

Rezultati ispitivanja kemijskog sastava prikazani su u tablici 2. Iz kemijskog sastava određen je tip aluminijske legure 5086. Određeni tip u odnosu na ostale aluminijske legure ima veću korozivsku otpornost kao i bolja svojstva prilikom zavarivanja.

Tablica 2. Kemijski sastav uzoraka

Element	%
Mg	4,49
Al	93,79
Si	1,14
Mn	0,23
Fe	0,34
Zn	0,009

## 8. Priprema uzoraka

### 8.1. Neobrađeni uzorci

Ova skupina ispitnih uzoraka nije bila obrađena prije plastificiranja, a provedeno je samo ispuhivanje stlačenim zrakom. Uzorci pripremljeni ovim postupkom označeni su oznakama N1, N2, N3 i N4. Ispitni uzorci prikazani su na slici 9.



Slika 9. Neobrađeni uzorci

### 8.2. Uzorci pripremljeni ručno brusnim papirom

Kao i u svim ostalim metodama, četiri uzorka pripremljena su ručnom obradom brusnim papirom. Brusni papir korišten u pripremi je Smirdex granulacije P150. Abraziv brusnog papira je aluminijev oksid, te nam oznaka 150 govori kako je prosječna veličina abraziva 100  $\mu\text{m}$ . U svrhu uklanjanja nepoželjnih makro čestica, uzorci su prije nanošenja praha ispuhani stlačenim zrakom. Uzorci pripremljeni ovom metodom nose oznake R1, R2, R3 i R4 te su prikazani na slici 10.



Slika 10. Uzorci pripremljeni ručno brusnim papirom

### 8.3. Uzorci pripremljeni električnim alatom

Sljedeća metoda pripreme bila je obrada uzorka ručnim električnim alatom - brusilicom.

Uzorci su čišćeni pri 11 500 o/min s diskom za poliranje (3M SC A CRS Scotch Brite). Navedeni disk koristi se za čišćenje i umanjivanje površinskih nedostataka na svim metalima.

Isti su uzorci kasnije, zbog uklanjanja mikro i makro nečistoća te masnoća, oprani nitro razrjeđivačem. Uzorci pripremljeni na ovaj način označeni su s B1, B2, B3 i B4.

Uzorci su prikazani na slici 11. prije obrade, te na slici 12. nakon obrade.



Slika 11. Uzorci prije obrade električnim ručnim alatom



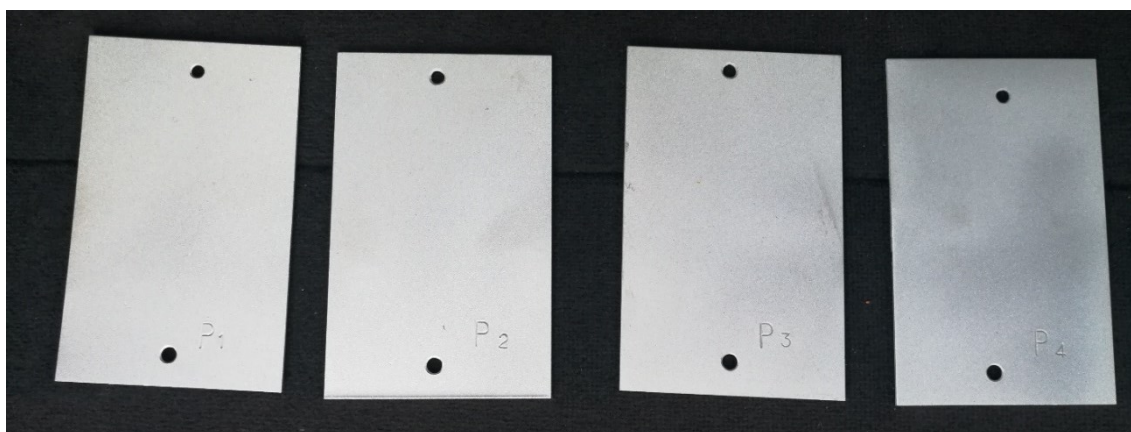
Slika 12. Uzorci nakon obrade električnim ručnim alatom



#### 8.4. Pjeskareni uzorci

Ovi ispitni uzorci pripremljeni su pjeskarenjem kvarcnim pijeskom. Pjeskareno je pod velikim kutom, koristeći abrazivne čestice 0,1 mm – 0,8 mm promjera, te pod pritiskom zraka od 6 bara. S uzoraka je odneseno dosta materijala koji poprima mat sivu boju i hrapavu površinu. Ovim uzorcima su prije pjeskarenja utisnute oznake P1, P2, P3 i P4.

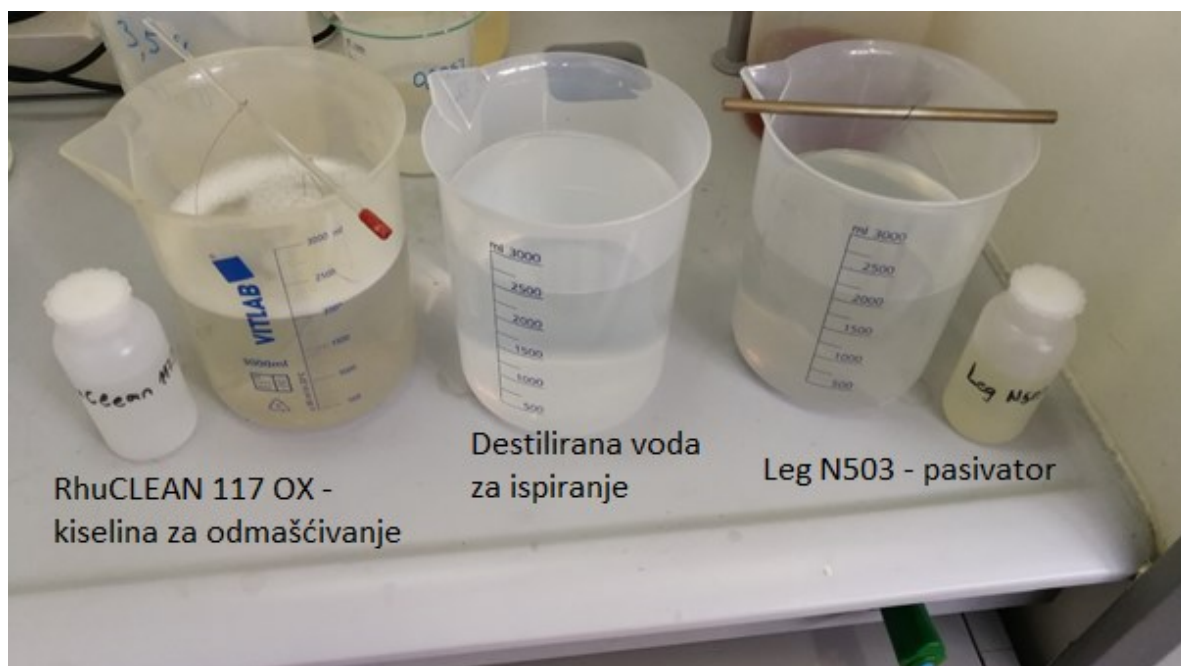
Uzorci nakon obrade pjeskarenja prikazani su na slici 13.



Slika 13. Uzorci pripremljeni pjeskarenjem

#### 8.5. Kemijski obrađeni uzorci

Dio uzoraka čišćen je kemijskim putem. Čišćenje je obavljano u kiselini pH vrijednosti  $2 \pm 1$  te kasnije pasivirano također kiselom otopinom, nanotehnoškim multimetallnim pasivatorom, slika 14. Nakon pripremanja kiseline za odmašćivanje prema uputama proizvođača, uzorci K1 i K2 su bili uronjeni u kiselini 5 minuta, dok su uzorci K3 i K4 bili izvađeni iz kiseline nakon 8 minuta. Neposredno nakon vađenja iz kiseline za odmašćivanje, uzorci su oprani u destiliranoj vodi. Sva 4 uzorka bila su identično vrijeme od 4 minute u pasivatoru. Po izlasku iz pasivatora uzorci su bili sušeni pomoću strujanja toplog zraka. Uzorci su poprimili karakterističan izgled, različit od drugih metoda pripreme, glatku i mat površinu. Postupak kemijskog čišćenja i pasiviranja prikazan je na slici 14. u kojoj su navedena i korištena sredstva za čišćenje i pasiviranje.



Slika 14. Posupak kemijskog čišćenja i pasiviranja



Slika 15. Uzorci obrađeni u kiselini i pasivatoru



## 9. Postupak plastifikacije

Ispitni uzorci tvorili su šaržu koja je, zbog niskih temperatura, predgrijana na otprilike 120 °C. Predgrijavanje pospješuje prijanjanje na hladni metal. Na uzorke je nanesen poliesterski prah RAL 7016 (antracit), mat, glatke površine koji je predviđen za materijale izložene vanjskim vremenskim utjecajima. Predviđena temperatura tzv. pečenja praha je 180 °C i traje 20 minuta. Postupak plastificiranja proveden je u pogonu tvrtke PIMEX d.o.o. Deklaracija korištenog praha nalazi se na slici 16.

Ime izdelka / Product name / Produktname / Nazwa produktu / Název produktu / Наименование товара				
<b>CPC 20-3 RAL 7016</b>				
Koda art. / Art.Code / Produktcode / Kod proizvoda / Код производа	SAP koda / SAP code / SAP number / SAP kod / SAP kod / SAP nos	Koda stranke / Customer code / Kundennummer / Kod klienta / Код заказчика / Код клиента	Št. kartona / Box No. / Gebändnummer / Nr. Karton / C. krabice / Картон №	Serie / Lot / Chargennummer / Partia / Šarža / Партия
20930	45659202	92	1895343	
Uporabno do / Best before / Mindestens haltbar bis / Przydatne do / До срока годности / Истечение срока годности	Tip / Type / Typ / Typ / Typ	Površina / Surface / Oberfläche / Powierzchnia / Poverch / Поверхность		
04.10.2023	Poliester / Polyester / Полиэфирная	Gladka / Smooth / Glatt / Gladka / Hladký / Гладкая		
Niansa / Color shade / Farbon / Odbojka / Оттенок / Цвет	Sijaj / Gloss / Glanzgrad / Polysk / Lesk / Енец	Dod. info. / Addit. info. / Zusatzinformation / Info. dod. / Dop. info. / Дод. інфо.	Temp. sušjevanja / Curing temp. / Einbrenntemperatur / Čas sušenja / Выпалovací teplota / Режим сушки	
RAL 7016	Mat / Matt / Матовая	Outdoor	20 min / 180°C	

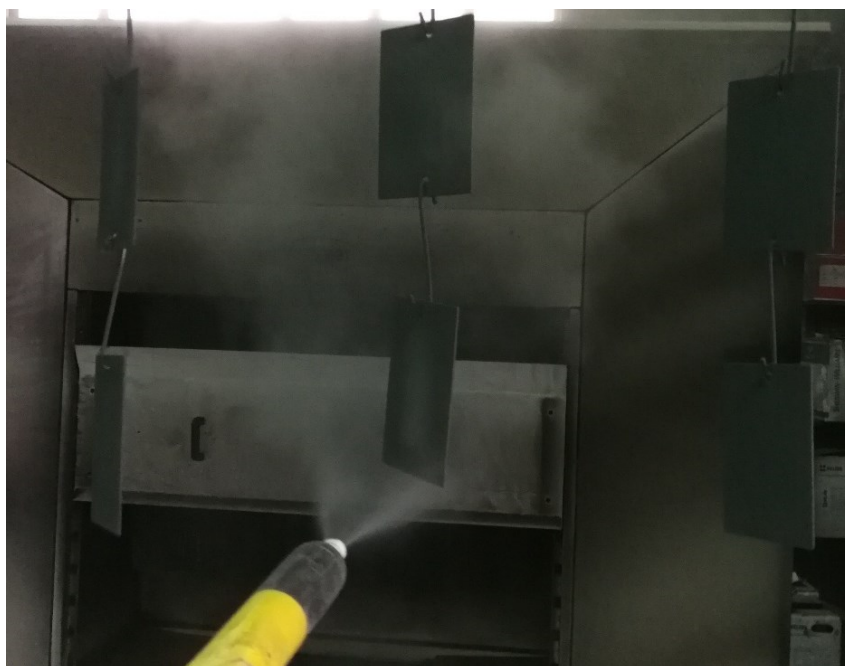
Slika 16. Deklaracija korištenog praha

Prah je nanesen pomoću elektrostatskog pištolja marke Wagner, slika 17.



Slika 17. Uređaj za elektrostatsko raspršivanje praha

Postupak nanošenja praha je brz i jednostavan, pogotovo za jednostavne oblike kao što je pločica malih dimenzija. Potrebno je osigurati dobar kontakt između uzorka i nultog potencijala koji dolazi sa uređaja za naprašivanje. Bitan dio nanošenja praha je i zaštita djelatnika koji obavlja proces, stoga je potrebno imati komoru za usisavanje neprimljenog praha kao i dobar ventilacijski sustav s filterima na kraju. Postupak nanošenja praha na ispitne uzorke prikazan je na slici 18.



**Slika 18. Postupak nanošenja praha**

Nakon prije opisanog postupka tzv. pečenja, uzorci se vade iz peći, kako je prikazano na slici 19., nakon što su se izvadili iz peći bili su podvrgnuti hlađenju prirodnom cirkulacijom zraka. Nakon hlađenja do sobne temperature napravljeno je dešaržiranje, slika 20. S uzorcima je potrebno u ovim trenucima postupka postupati oprezno u svrhu što manjeg oštećivanja prevlake. Nakon dešaržiranja uzorke je potrebno odgovarajuće zaštititi, te pogotovo treba obratiti pažnju prije transporta na lokaciju eksploatacije ili u ovom slučaju do laboratorija. Prilikom tog procesa dešaržiranja uzorci su vizualno pregledani i ustanovljeno je da ni jedan uzorak nema vizualne defekte, vidljivo na slici 19. i 20.



Slika 19. Vađenje uzoraka iz peći



Slika 20. Hlađenje uzoraka

## 10. Ispitivanja polimerne prevlake

### 10.1. Ispitivanje debljine prevlake

Na svim uzorcima, ispitana je debljina prevlake pomoću uređaja „Elcometer“ prema normi HRN EN ISO 2808:2008. Ispitivanje je prikazano na slici 21.



Slika 21. Ispitivanje debljine prevlake

Rezultati ispitivanja debljina prevlaka po uzorcima prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. Rezultati mjerenja debljina prevlake

Uzorak br.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Prosjek
<b>N1</b>	73,7	40,7	38,5	51,4	44,4	84,3	60,6	62,2	45,4	47,6	<b>54,88</b>
<b>N2</b>	60,9	52,2	68,6	48	47,9	71,3	46,3	75	55,2	80,9	<b>60,63</b>
<b>N3</b>	48,1	41,1	58,2	67,2	63,6	73,4	64	77,2	79,2	81,2	<b>65,32</b>
<b>N4</b>	70,2	74	76,8	91,8	91,2	89,7	96,2	113	105	107	<b>91,49</b>
<b>K1</b>	79,8	93,2	107	77,9	82,4	93,5	89	96,8	95,9	98,2	<b>91,37</b>
<b>K2</b>	45,7	44,7	72,9	47,8	46,1	56,3	50,9	62,1	49,7	51	<b>52,72</b>
<b>K3</b>	63,3	77,4	82,3	79,4	64,3	99,4	75,6	82,1	85	65,8	<b>77,46</b>
<b>K4</b>	54,7	55,2	54,4	60,3	56,9	51,8	62,1	53,6	64,7	72,6	<b>58,63</b>
<b>B1</b>	41,8	73,4	66,4	70	63,3	79,1	45,2	67,5	35,8	70,1	<b>61,26</b>
<b>B2</b>	46,1	69,2	67,9	77,8	70,7	89,5	52,6	50,5	87,4	56,9	<b>66,86</b>
<b>B3</b>	69,7	70,2	62,1	88,2	128	119	124	79,1	73,4	120	<b>93,37</b>
<b>B4</b>	147	151	120	143	108	125	117	108	95,1	90,2	<b>120,43</b>
<b>P1</b>	60,3	73,2	60,6	61,9	78	67,6	59,6	90,7	80,6	77,1	<b>70,96</b>
<b>P2</b>	58,4	68,8	61,2	93,6	97,7	103	86,6	103	64,7	88,6	<b>82,56</b>
<b>P3</b>	122	81,5	117	80,7	102	133	78,7	82,6	119	84	<b>100,05</b>
<b>P4</b>	57,1	53	59,6	75,4	74,7	73,3	75,7	65,5	60,7	82,4	<b>67,74</b>
<b>R1</b>	158	148	172	157	160	168	142	155	175	173	<b>160,8</b>
<b>R2</b>	83,9	117	113	132	123	129	120	112	123	95,3	<b>114,82</b>
<b>R3</b>	69,5	81,3	93,5	92,5	71,8	107	75,1	118	68,7	123	<b>90,04</b>
<b>R4</b>	90,1	98,4	96,5	115	86	122	92	132	123	94,4	<b>104,94</b>

Promatrajući debljine prevlaka po uzorcima, može se zamijetiti približno slična debljina u prve četiri grupe, tablica 4. Dok u zadnjoj grupi (R1-R4) nailazimo na veliku razliku u debljini, vjerojatno zbog nesavršenosti ručne obrade, a potencionalno i odabirom pregrubog brusnog papira.

**Tablica 4.      Prosjek debljine prevlake po grupama pripreme**

Uzorci	Prosijek po grupama
N1-N4	<b>68,08</b>
K1-K4	<b>70,05</b>
B1-B4	<b>85,48</b>
P1-P4	<b>80,32</b>
R1-R4	<b>117,65</b>
Ukupni prosjek debljine prevlake	<b>84,32</b>

## 10.2. Ispitivanje otpornosti prevlake na udar prije korozijskih ispitivanja

Kako je već prije spomenuto, uzorci koji su analizirani napravljeni su u četiri ispitne skupine. Skupina jedan ispitana je na otpornost prevlake na udar.

Otpornost prevlake na udar provodi se standardiziranim ispitivanjem prema normi HRN EN ISO 6272. Uzorci se postavljaju ispod kuglice na koju nalijeće uteg od 1 kg s određene visine. Uređaj s kojim se vrše ispitivanja prikazan je na slici 22. Ta visina, s koje naleti uteg, te ne ostavi makroskopsko ili mikroskopsko oštećenje prevlake je visina čiji podatak zapisujemo i uzimamo kao usporedbenu vrijednost.

Nakon nekolicine testiranja na svakom od pet vrsti uzoraka i naknadnim pregledom pod stereomikroskopom „LEICA MZ6“, prikazan na slici 23., ustanovljene su granice otpornosti prevlaka na udar prikazanih na slikama od 24. do 33. te u tablici 5.

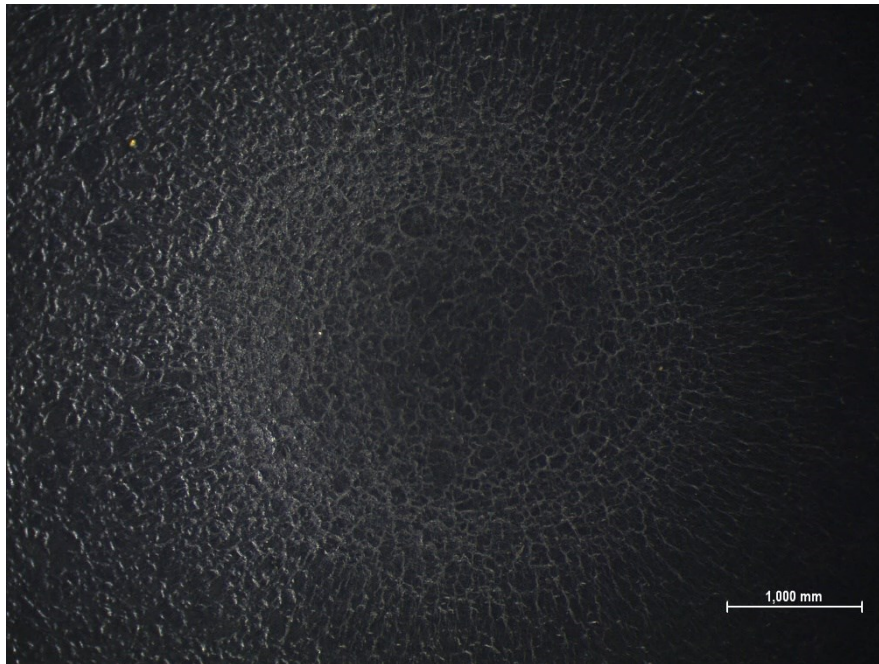


**Slika 22. Ispitivanje otpornosti prevlake na udar**

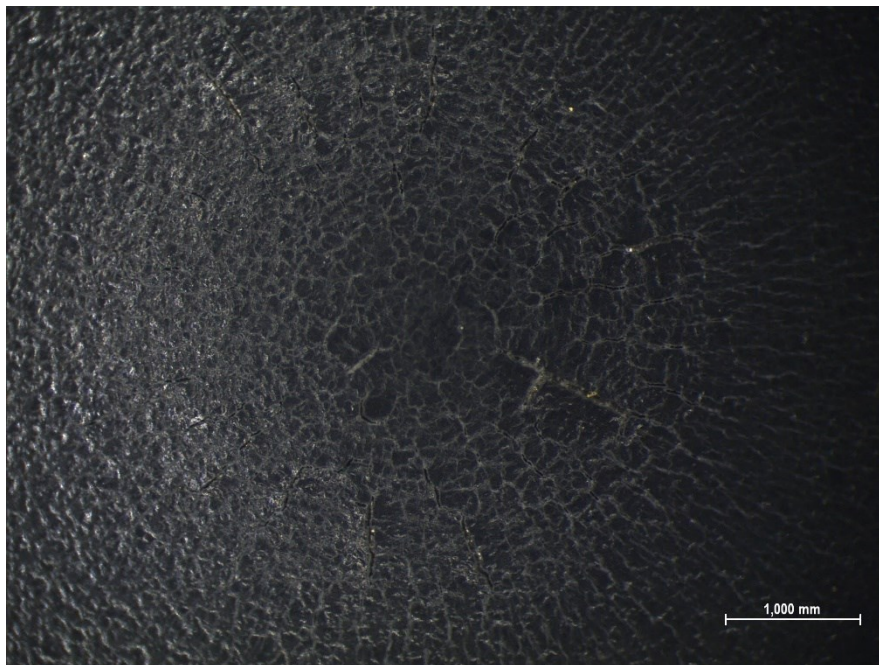


**Slika 23. Prikaz stereomikroskopa LEICA MZ6**

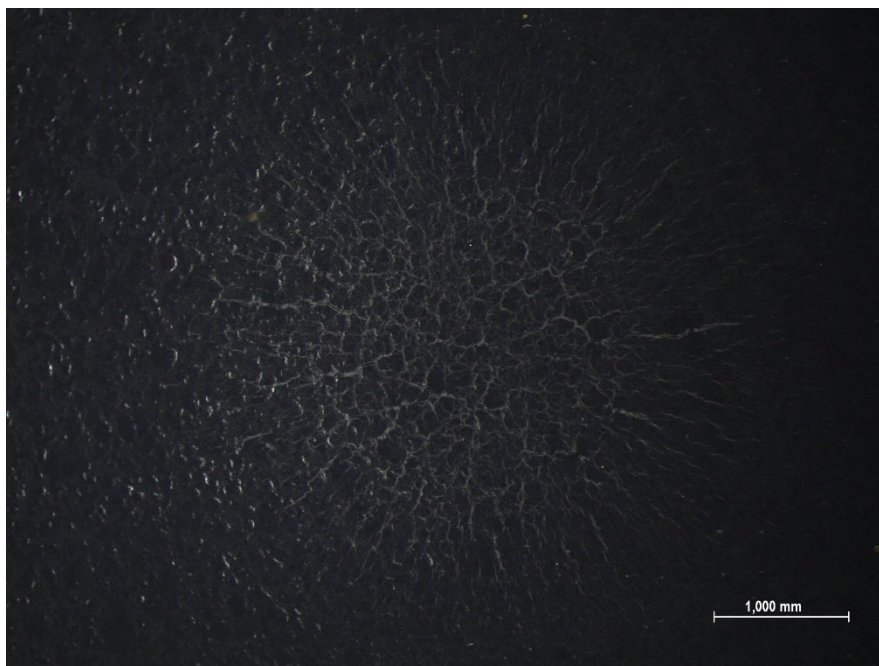




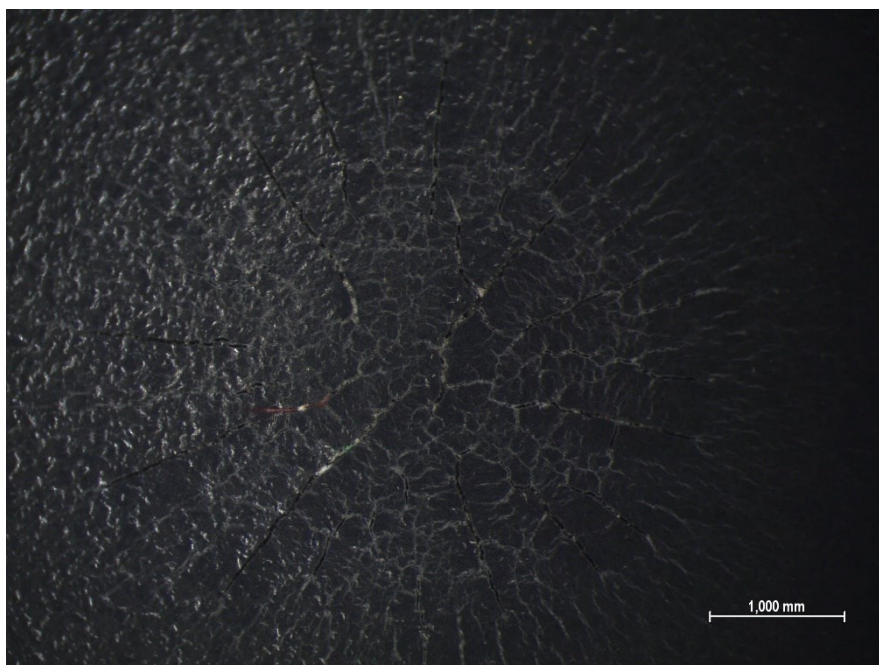
**Slika 24.** Uzorak N1 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 20 cm



**Slika 25.** Uzorak N1 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 30 cm

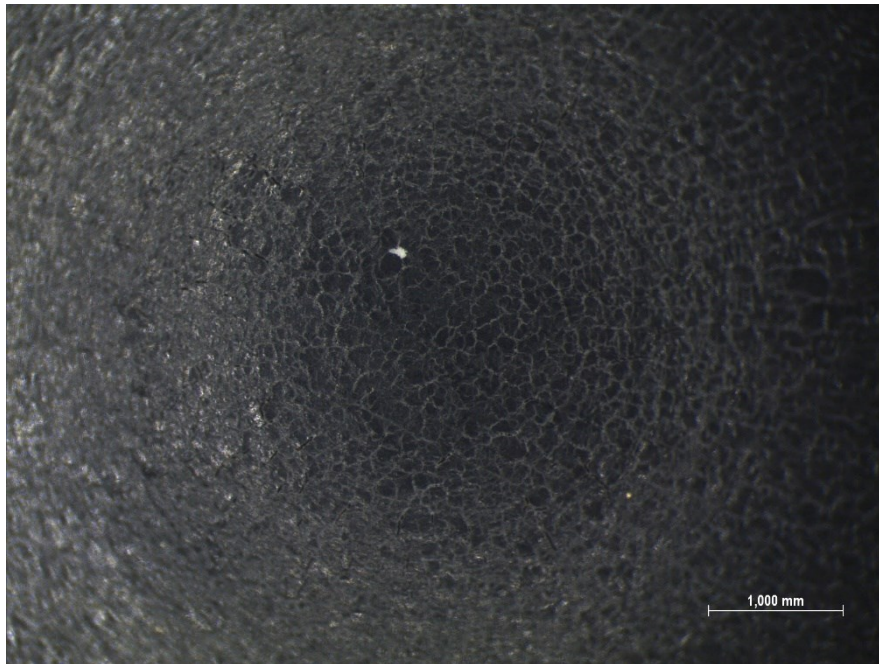


**Slika 26.** Uzorak R1 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 10 cm

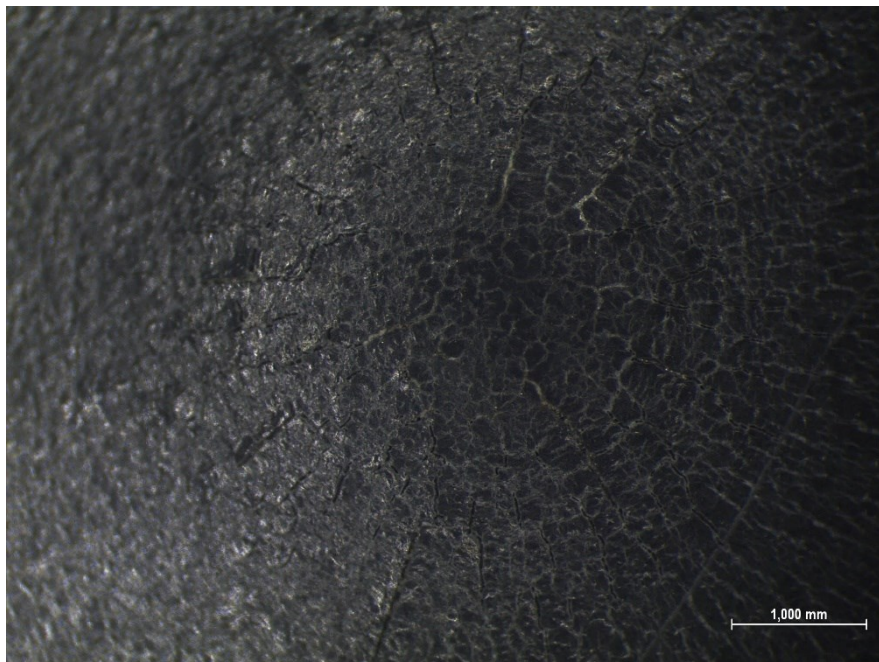


**Slika 27.** Uzorak R1 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 20 cm

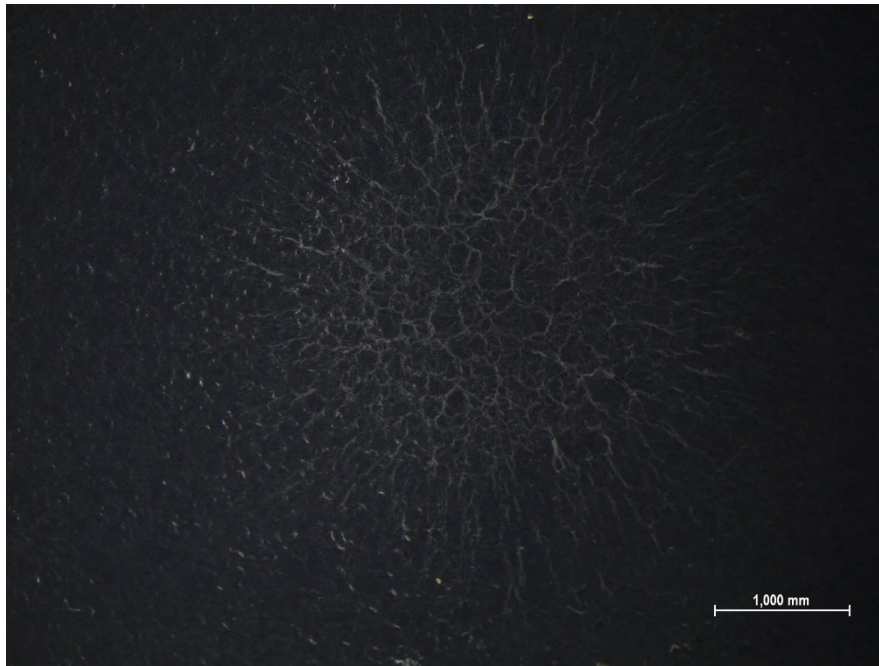




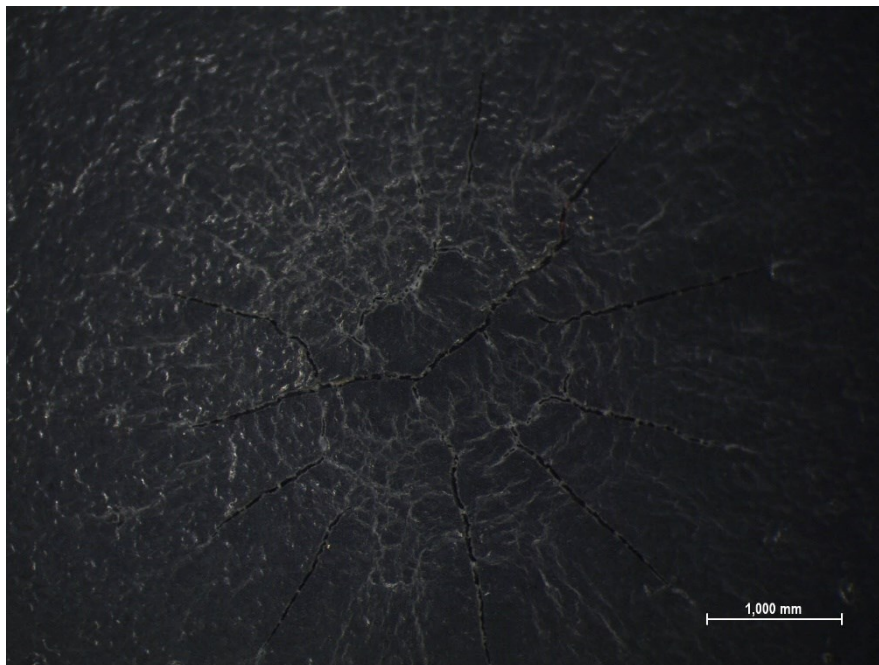
**Slika 28.** Uzorak B1 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 50 cm



**Slika 29.** Uzorak B1 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 55 cm

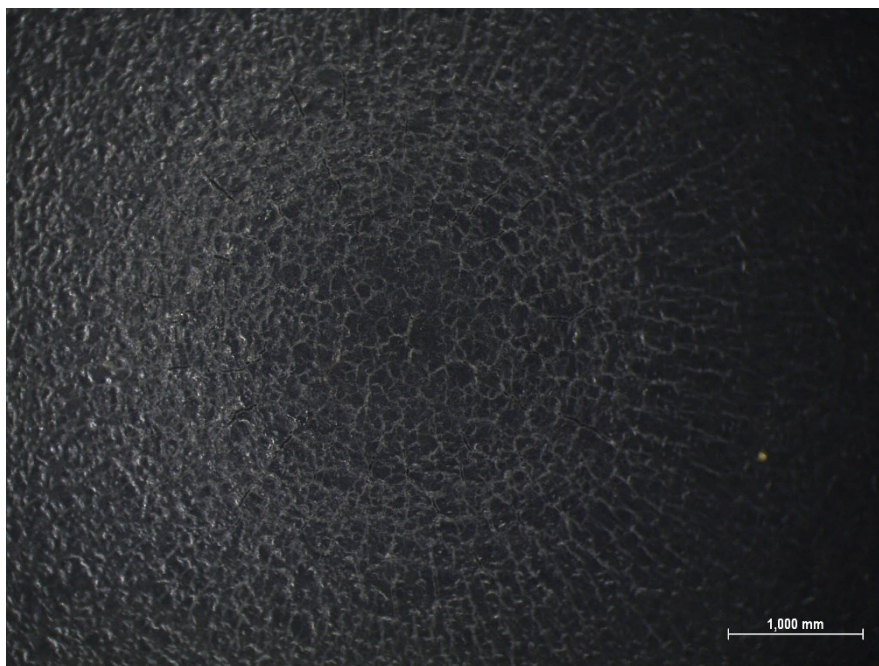


**Slika 30.** Uzorak P1 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 10 cm

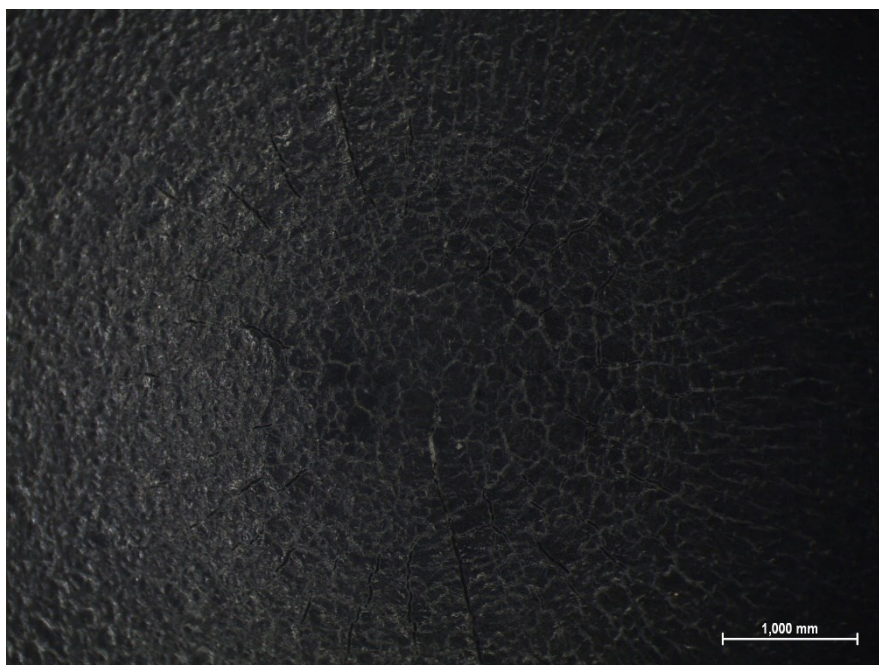


**Slika 31.** Uzorak P1 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 15 cm





**Slika 32.** Uzorak K1 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 25 cm



**Slika 33.** Uzorak K1 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 30 cm

**Tablica 5. Rezultati ispitivanja otpornosti prevlake na udar**

Uzorak br. (priprema)	Visina puštanja bez pojave oštećenja (cm)	Visina puštanja sa pojavom oštećenja (cm)
N1 (nepripremljen)	20	30
R1 (ručna obrada)	10	20
B1 (obrada brusilicom)	50	55
P1 (pjeskareno)	10	15
K1 (čišćeno u kiselini)	25	30

### 10.3. Test prionljivosti prevlake – „Cross cut“ test prije korozijskih ispitivanja

Na uzorcima druge skupine napravljen je test prionljivosti.

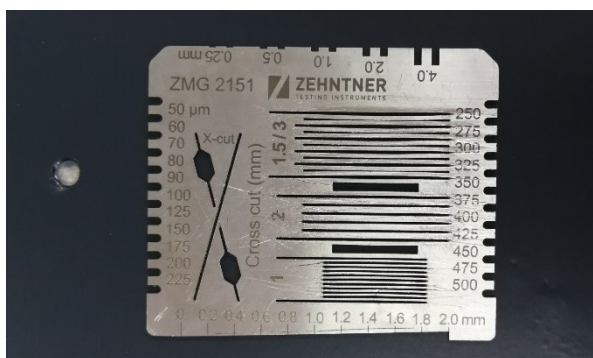
Među najbitnijim karakteristikama prevlake je prionljivost na osnovnu podlogu ili prevlaku koja je na osnovnoj podlozi. Prionljivost direktno utječe na kvalitetu i dugovječnost antikorozijske zaštite stoga je ispitivanje iste bitna stavka. Ispitivanje je provedeno prema normi HRN EN ISO 2409:2013 „Cross cut“ postupkom ili postupkom urezivanja mreže, četkanjem mreže, lijepljenjem trake te naglim povlačenjem trake sa svrhom micanja slabo prionjivih dijelova prevlake, vidljivo na slikama 35. i 36. Pomagalo za urezivanje mreže prikazano je na slici 34.

Ovisno o debljini prevlake urezuju se urezi na različitim udaljenostima, tablica 6.

**Tablica 6. Određivanje potrebnog razmaka između ureza**

Razmak između ureza [mm]	Debljina prevlake [ $\mu\text{m}$ ]
1	60
2	60-120
3	Iznad 120

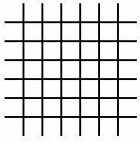
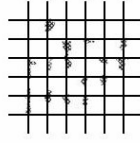
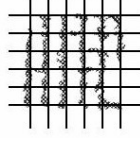
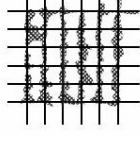
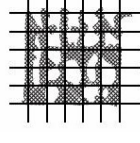
Pomoću tablice 6. određeno je da razmak između ureza mora biti 2 mm, sukladno izmjerenim debljinama prevlake.

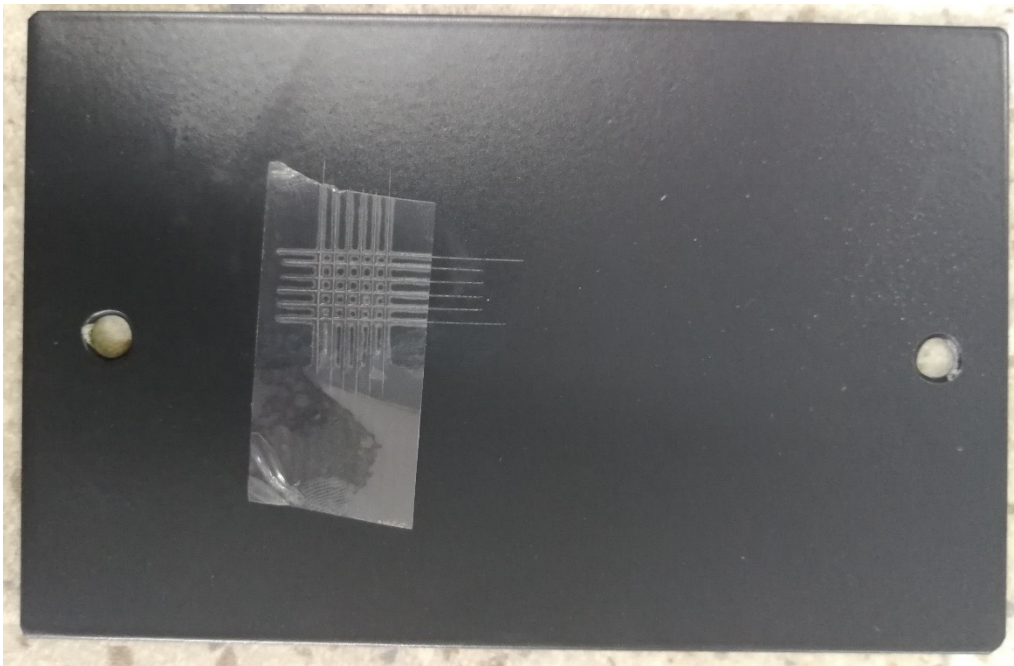


**Slika 34. Pomagalo za ocrtavanje mreže**

Ukoliko ni jedan kvadratić nije otpao, nakon odljepljivanja ljepljive trake, dok su krajevi ureza potpuno glatki, utoliko se prevlaci daje ocjena 0. Ukoliko se odvoji više od 65 % površine mrežica, utoliko prevlaka dobiva 5, kako je to prikazano u tablici 7.

**Tablica 7. Određivanje ocjene prijanjanja prevlake**

Tekstualni opis	HRN EN ISO 2409:2013	
Tragovi reza su potpuno glatki, nijedan kvadratić mreže nije otrhnut	0	
Nešto prevlake je oljušteno na sjecištima u mrežici, manje od 5 % površine je oštećeno	1	
Dio prevlake je oštećena na rubovima i sjecištima u mrežici, 5 % do 15 % površine je oštećeno	2	
Prevlaka je oljuštena duž rubova i unutar kvadratića mrežice, 15 % do 35 % površine je oštećeno	3	
Prevlaka je oljuštena 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



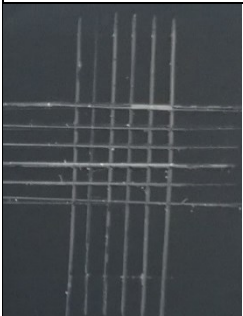
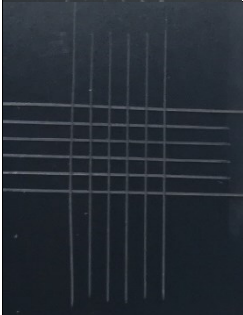
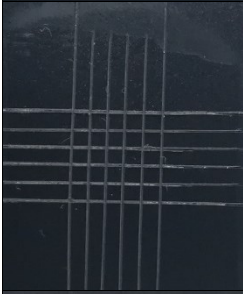
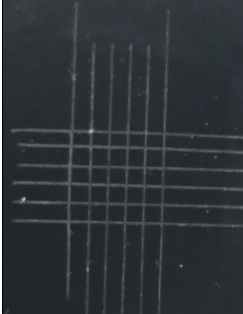
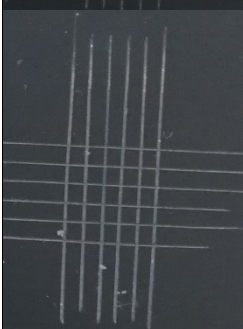
**Slika 35. Ljepljenje trake na mrežu nakon zarezivanja prevlake**



**Slika 36. Očitavanje rezultata ispitivanja**

Rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 8. Iz koje je vidljivo da su svi uzorci ocijenjeni ocjenom 0.

**Tablica 8.      Rezultati ispitivanja prionljivosti prevlake prije izlaganja uzoraka u agresivnim atmosferama**

Uzorak	Ocjena rezultata ispitivanja	
	Uzorak N2	Ocjena 0
	Uzorak R2	Ocjena 0
	Uzorak B2	Ocjena 0
	Uzorak P2	Ocjena 0
	Uzorak K2	Ocjena 0



#### 10.4. Korozijska ispitivanja u vlažnoj komori

Treća skupina pripremljenih uzoraka ispitana je u vlažnoj komori prema normi HRN EN ISO 6270-1.

Model komore u kojoj su provedena ispitivanja je CW Specialist Equipment Corrosion System 3000 AB6, prikazana na slici 37.

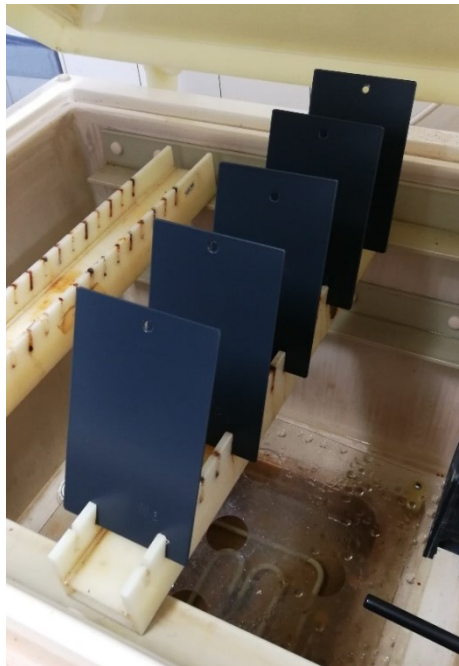


Slika 37. Vlažna komora

Ispitivanja su provedena izlaganjem uzoraka pri uvjetima 100 % relativne vlažnosti i  $40 \pm 2$  °C u trajanju od 20 dana (480h). Slike 38. i 39. prikazuju uzorke u vlažnoj komori.

Uzorci su tijekom cijelog procesa u vlažnoj komori redovito bili promatrani i foto-dokumentirani te je ustanovljeno kako nije došlo do vidljivih vizualnih promjena na prevlaci.





**Slika 38. Uzorci u vlažnoj komori neposredno nakon početka ispitivanja**



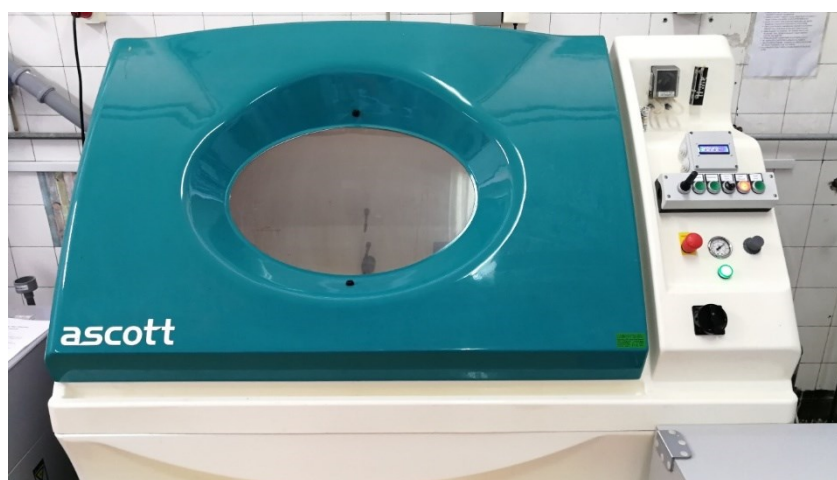
**Slika 39. Uzorci nakon 480h ispitivanja u vlažnoj komori**

## 10.5. Korozijska ispitivanja u slanoj komori

Skupina četiri pripremljenih uzoraka ispitana je u slanoj komori prema normi HRN EN ISO 9227.

Slana komora je komora pomoću koje se simuliraju eksploatacijski uvjeti slanog okruženja. Pripremljene uzorke se šaržiraju u za to predviđene nosače te pokretanjem iste započinje proces ispitivanja korozijske postojanosti.

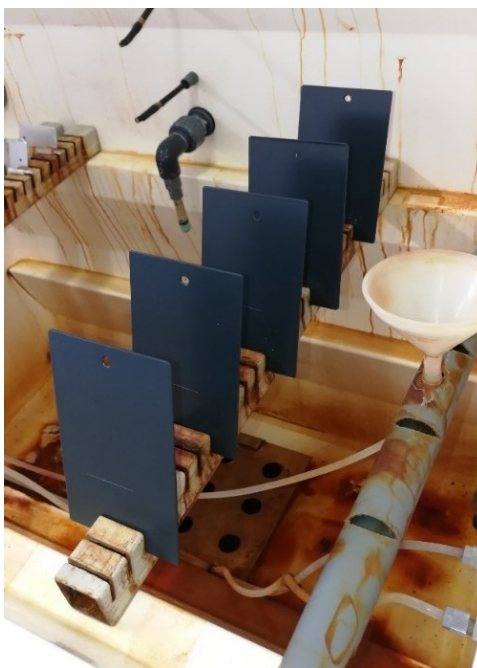
Ispitivanja su provedena u komori Ascott, model S450, slika 40. dok su u tablici 9. prikazani parametri provedenog ispitivanja.



Slika 40. Slana komora Ascott, model S450

Tablica 9. Parametri ispitivanja u slanoj komori

Parametri ispitivanja	Norma HRN EN ISO 9227	Uvjeti ispitivanja
Trajanje ispitivanja, <i>h</i>	Prema zahtjevu	480
Temperatura ispitnog prostora, °C	35±2	35±0,1
Volumen ispitnog prostora, <i>l</i>	min 400	450
Temperatura ovlaživača komp. zraka, °C	45 - 50	50
Tlak komprimiranog zraka, <i>bara</i>	0,7 – 1,4	1,4
Korištena otopina	<i>NaCl</i>	NaCl
Koncentracija korištene otopine, %	5	5
Količina sakupljenog kondenzata, <i>ml/80cm<sup>2</sup>/h</i>	1,5±0,5	1,9
pH vrijednost kondenzata pri 25±2 °C	6,5 - 7,2	6,6
Provodljivost destilirane vode, $\mu\text{S/cm}$ pri 25±2 °C	max 20	<10



**Slika 41.** Uzorci posloženi u slanoj komori neposredno nakon umetanja



**Slika 42.** Uzorci nakon 480h u slanoj komori

Uzorci su tijekom cijelog procesa u slanoj komori bili promatrani i foto-dokumentirani, te je ustanovljeno kako nije došlo do vidljivih vizualnih promjena na prevlaci.

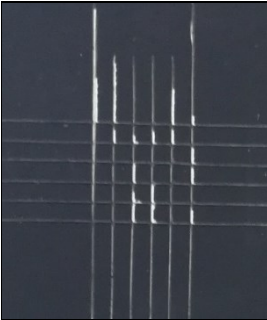
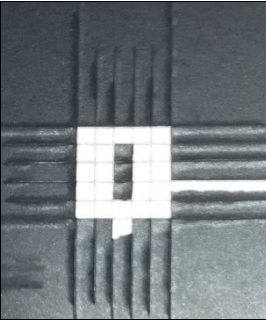
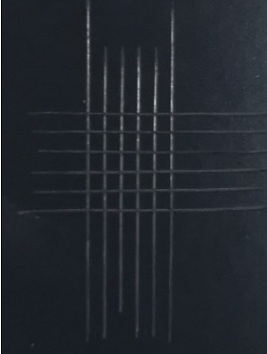
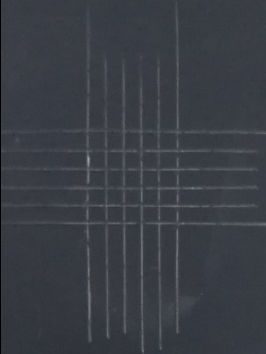
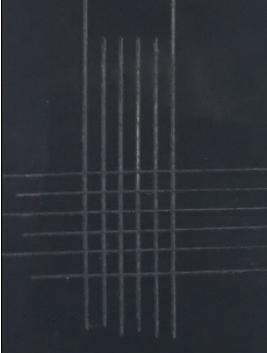
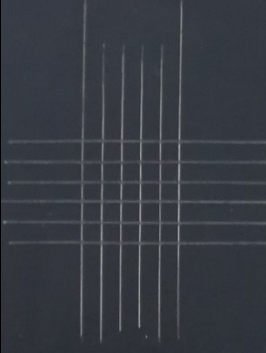
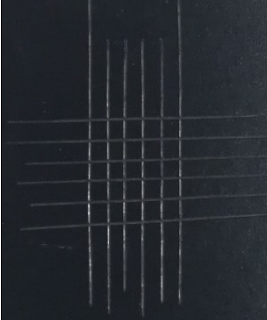
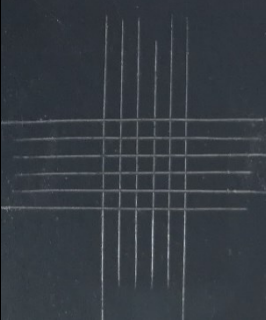
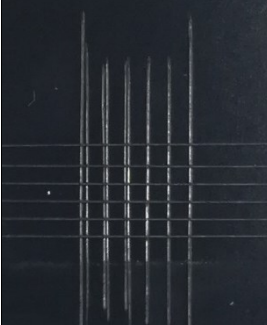
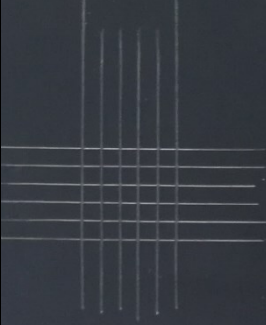
**10.6. Test prionljivosti prevlake – „Cross cut“ test nakon korozijskih ispitivanja**

Nakon izlaganja uzoraka u komori provedeno je ispitivanje prionljivosti prevlake na materijal. Uzorci B3, B4, P3, P4, K3, K4, R3, R4 ocjenjeni su ocjenom 0 na testu prionljivosti, uzorak B3 vidljiv na slici 43. te rezultati ispitivanja prikazani u tablici 10. Detaljnije su promatrani uzorci N3 i N4 na slikama od 45. do 47., te na slici 44. primjer mreže „Cross cut“ postupka snimljenu stereomikroskopom.

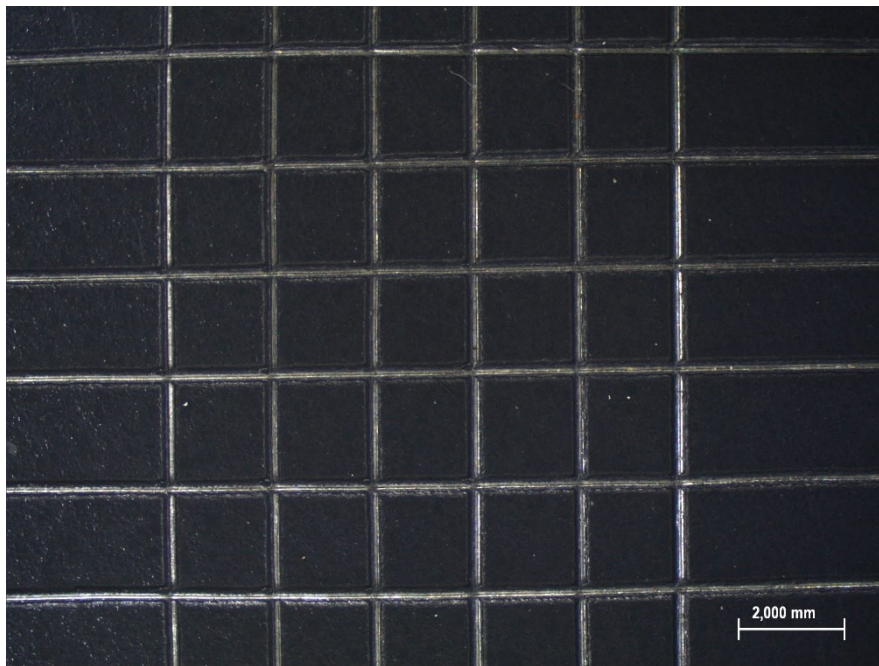


**Slika 43. Test prionljivosti na uzorku B3 poslije vlažne komore**

**Tablica 10. Rezultati ispitivanja prionljivosti nakon izlaganja uzoraka u agresivnim sredinama**

Vlažna komora	Slana komora		
	Uzorak N3 – ocjena 2		Uzorak N4 – ocjena 5
	Uzorak R3 – ocjena 0		Uzorak R4 – ocjena 0
	Uzorak B3 – ocjena 0		Uzorak B4 – ocjena 0
	Uzorak P3 – ocjena 0		Uzorak P4 – ocjena 0
	Uzorak K3 – ocjena 0		Uzorak K4 – ocjena 0



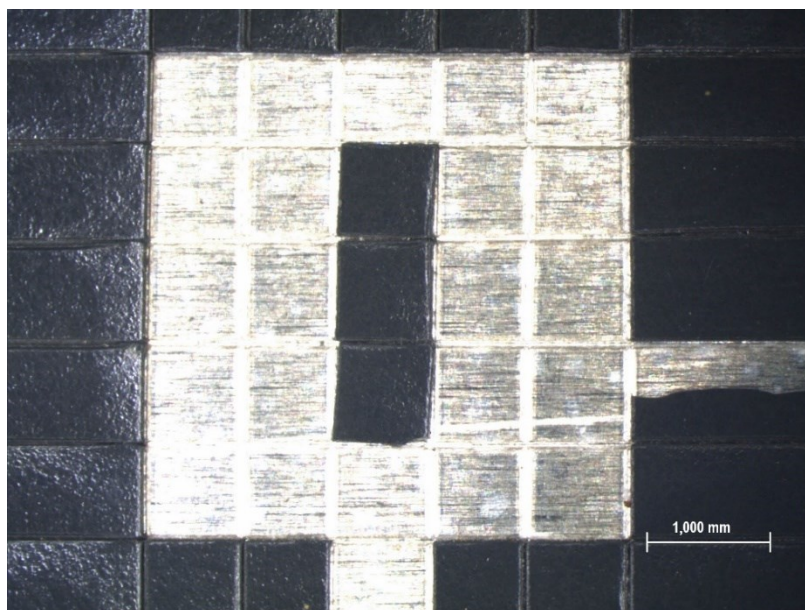


Slika 44. Stereomikroskopna slika mreže Cross cut postupka na uzorku B3



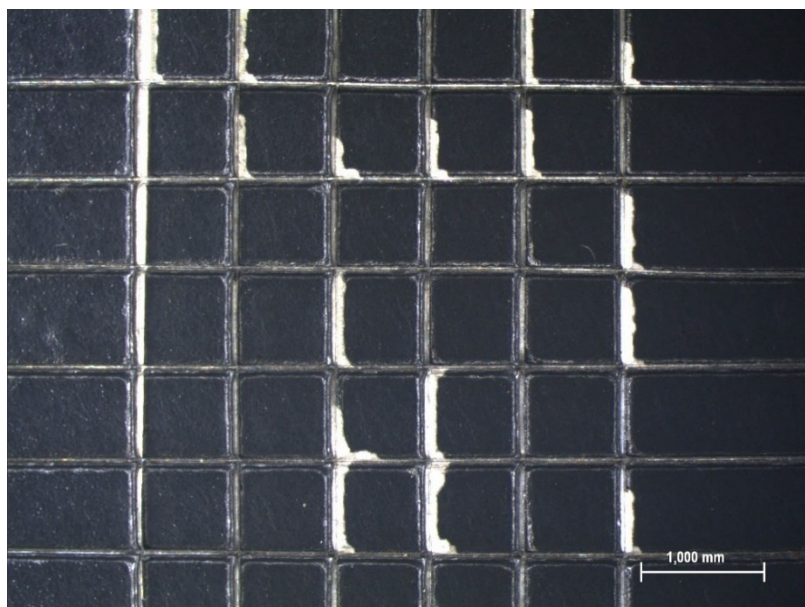
Slika 45. Primjer uzorka sa slabom prionljivošću - uzorak N4

Slika 46. prikazuje uzorak N4 koji je bio izložen agresivnoj atmosferi u slanoj komori. Ocjena prionljivosti je 5.



**Slika 46. Primjer uzorka slabe prionljivosti – uzorak N4**

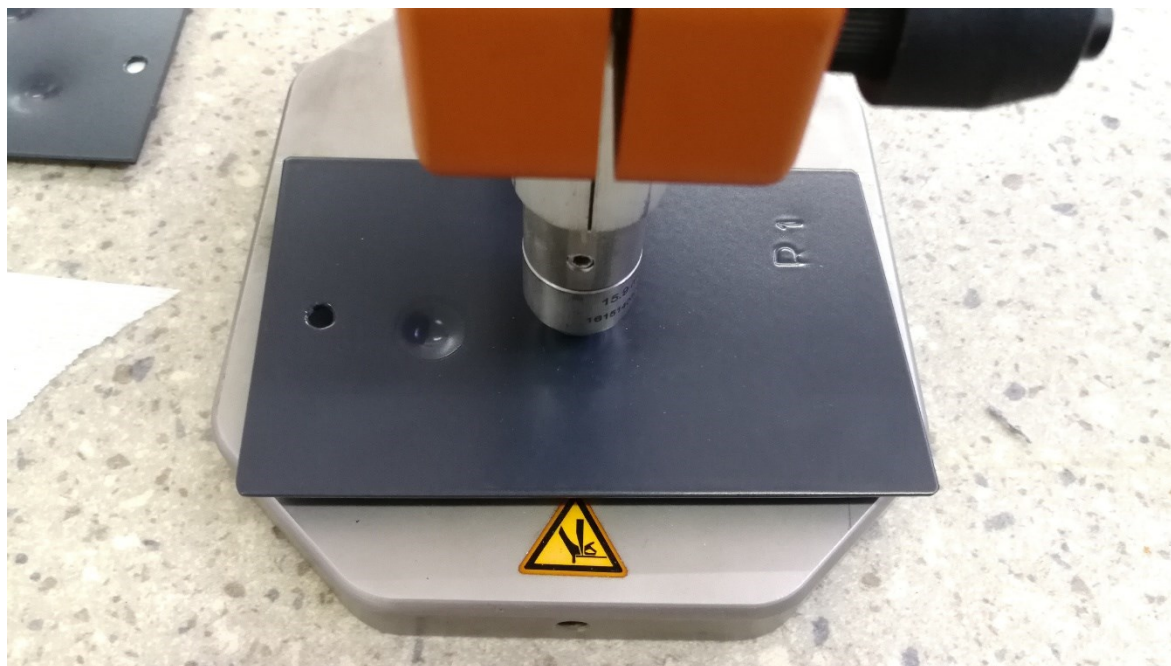
Slika 47. prikazuje uzorak N3 koji je bio izložen agresivnoj atmosferi u vlažnoj komori. Ocjena prionljivosti je 2.



**Slika 47. Primjer uzorka oslabljene prionljivosti – uzorak N3**

**10.7. Ispitivanje otpornosti prevlake na udar nakon izlaganja u slanoj i vlažnoj komori**

Nakon vađenja uzoraka iz komore i kondicioniranja uzoraka u trajanju od 24h provedena su ispitivanja otpornosti prevlake na udar sukladno normi HRN EN ISO 6272, prikazano na slici 48.

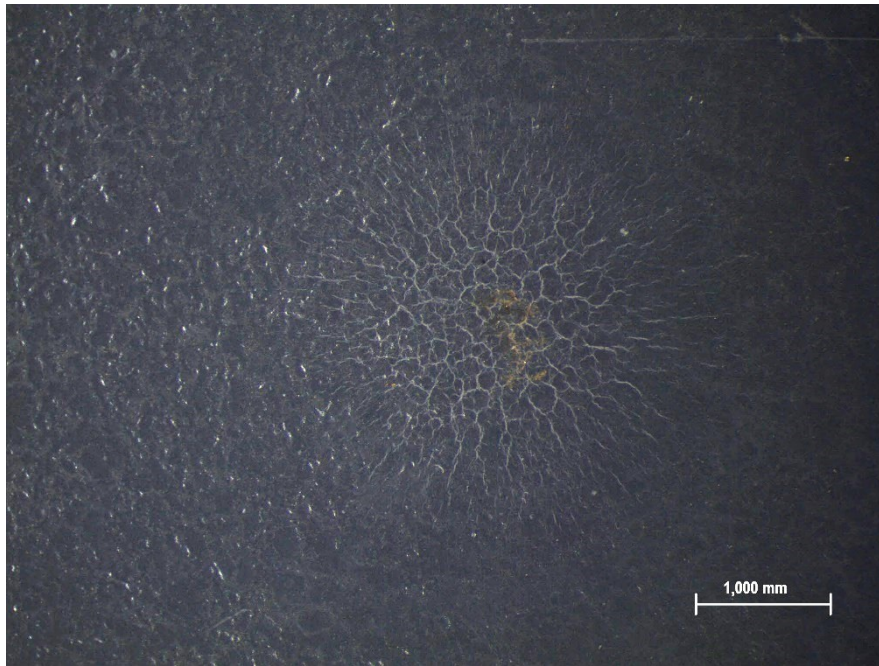


**Slika 48. Ispitivanje otpornosti prevlake na udar nakon izlaganja uzoraka u komorama**

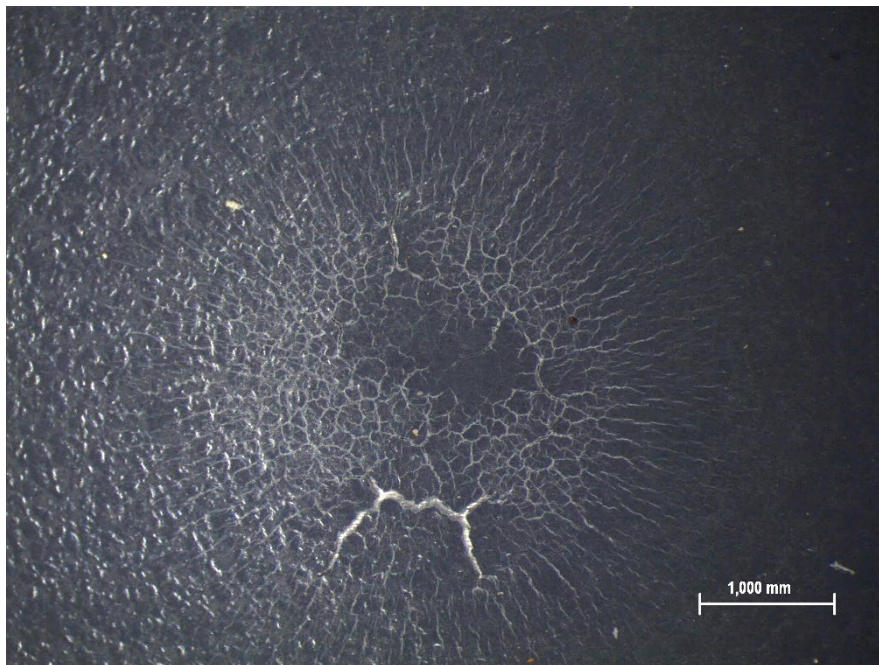
Rezultati ispitivanja otpornosti prevlake na udar kod uzoraka koji su bili izloženi uvjetima slane komore 20 dana, prikazani su na slikama 49. do 58. te u tablici 11.

Rezultati ispitivanja otpornosti prevlake na udar kod uzoraka koji su bili izloženi uvjetima vlažne komore 20 dana, prikazani su na slikama 59. do 64. te u tablici 12.



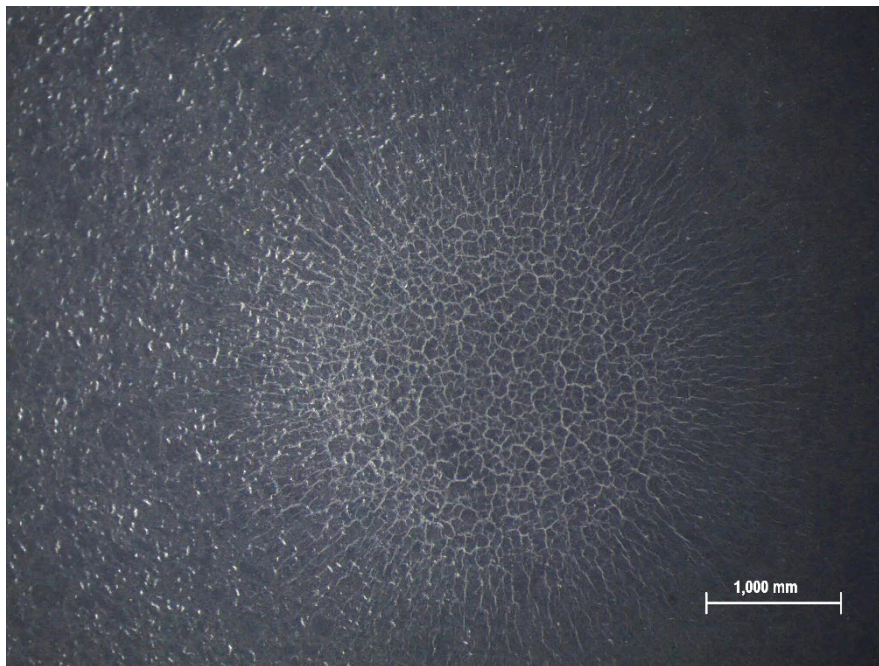


**Slika 49.** Uzorak N4 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 5 cm.

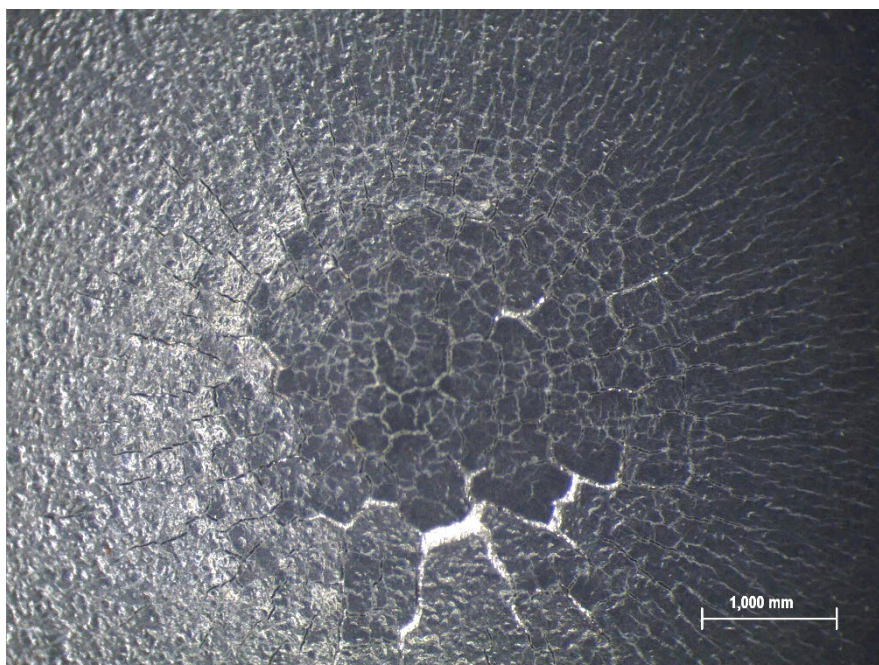


**Slika 50.** Uzorak N4 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 10 cm

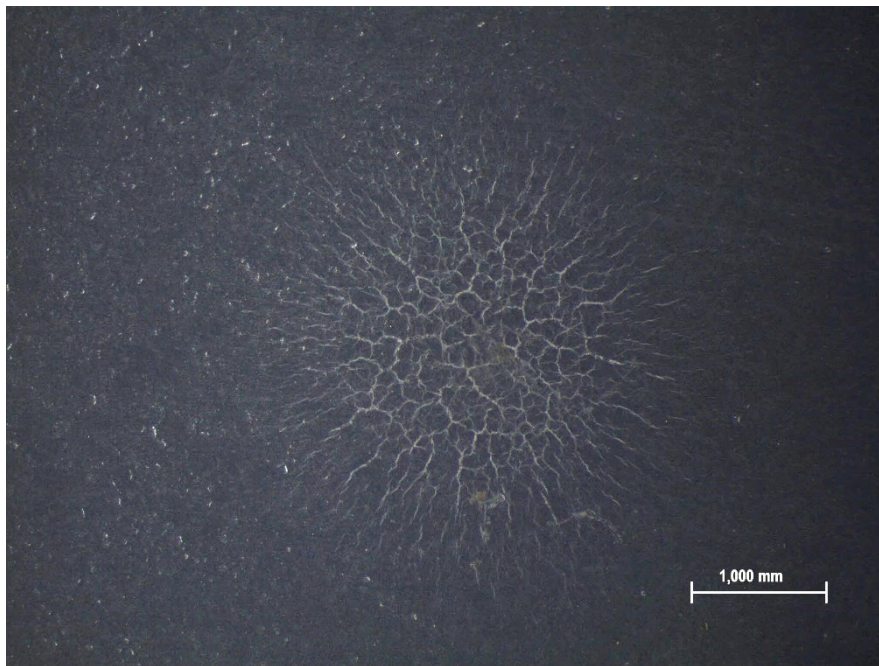




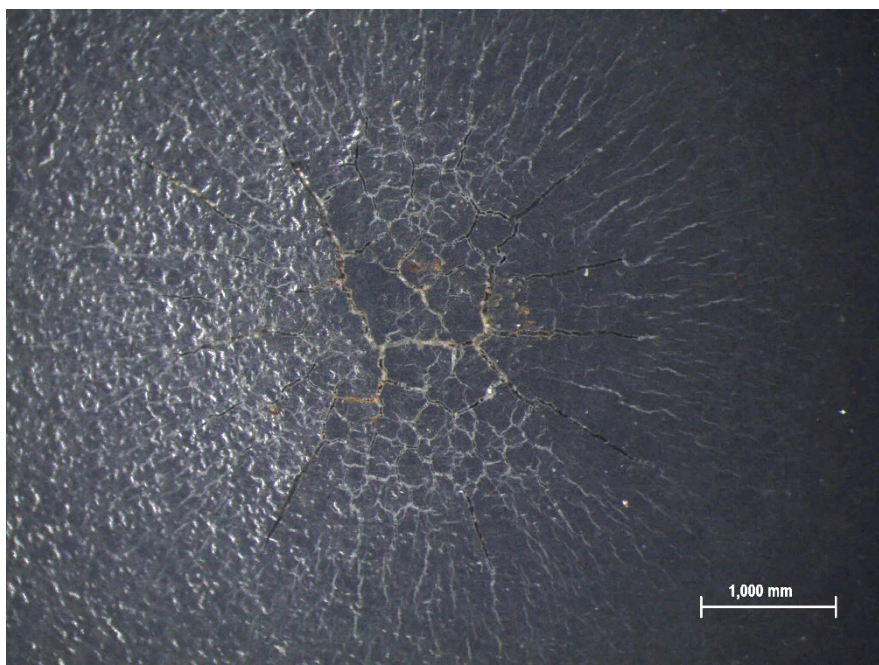
**Slika 51.** Uzorak R4 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 10 cm.



**Slika 52.** Uzorak R4 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 20 cm

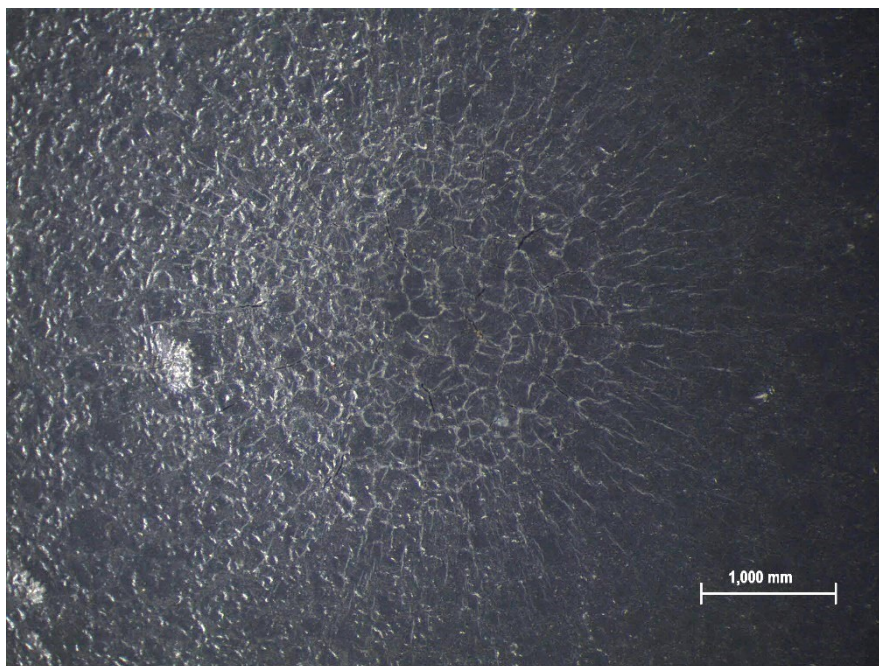


**Slika 53.** Uzorak B4 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 10 cm.

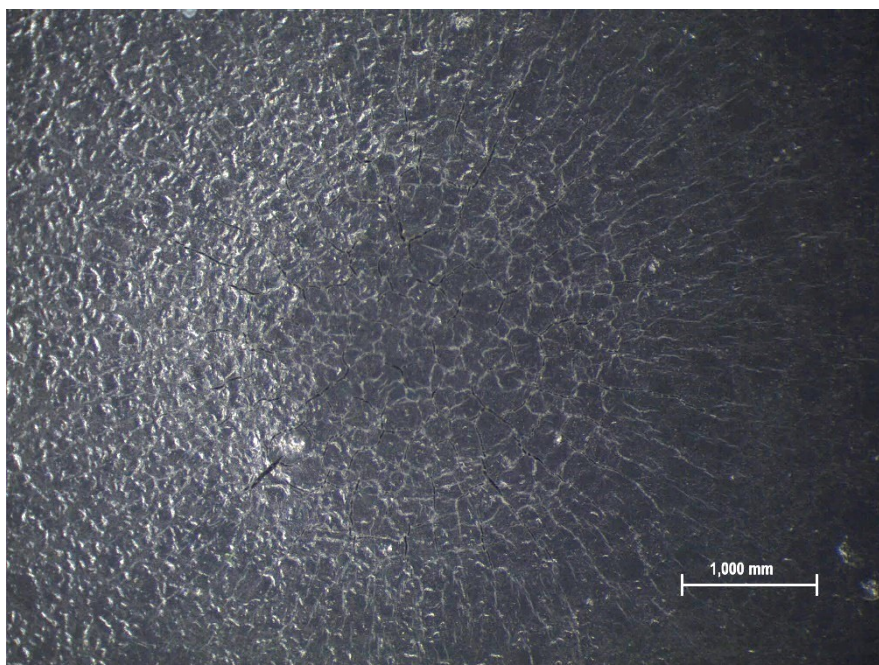


**Slika 54.** Uzorak B4 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 15 cm



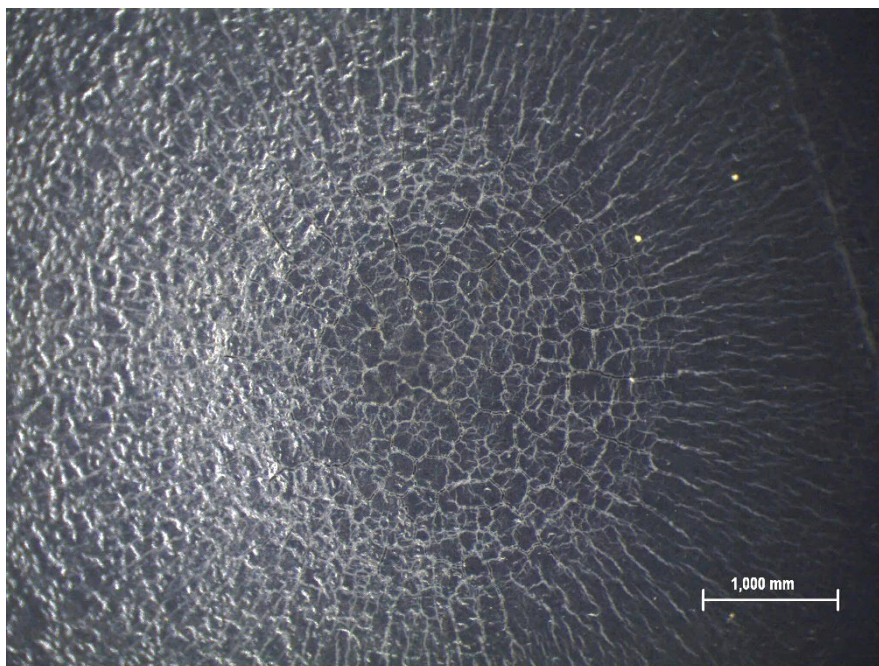


**Slika 55.** Uzorak P4 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 15 cm.

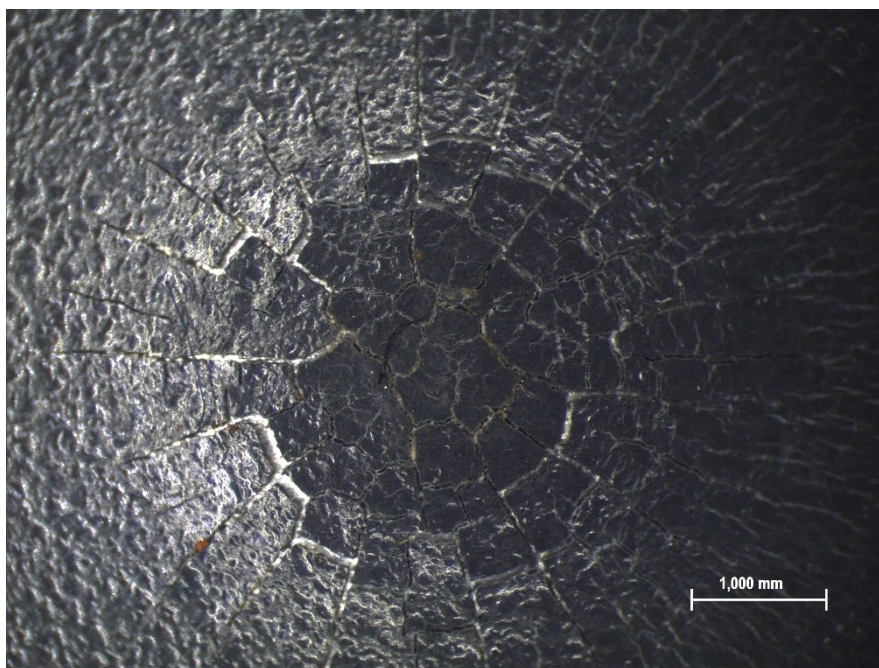


**Slika 56.** Uzorak P4 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 20 cm





**Slika 57.** Uzorak K4 – zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 20 cm.



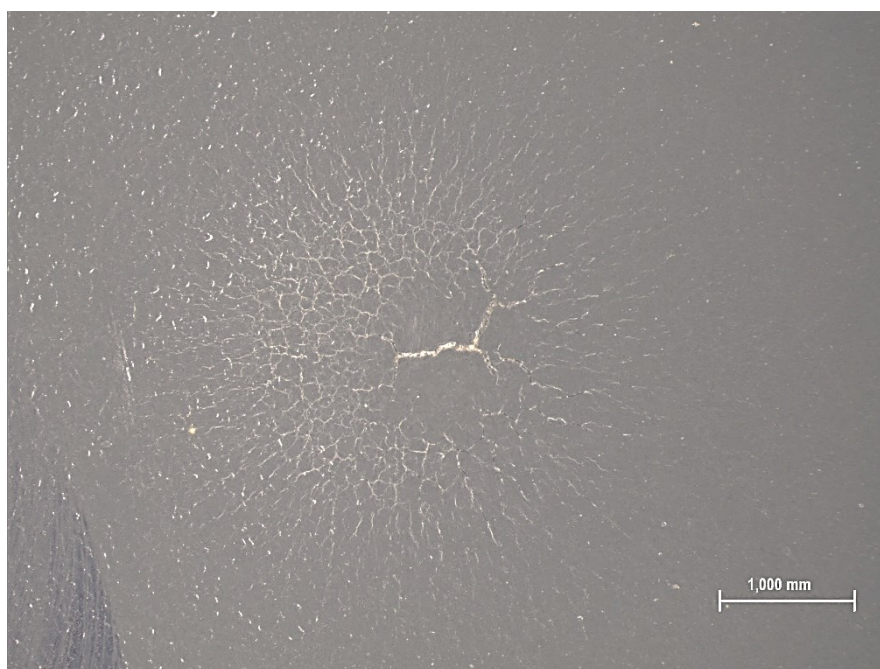
**Slika 58.** Uzorak K4 – ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 30 cm

**Tablica 11. Rezultati ispitivanja otpornosti prevlake na udar nakon ispitivanja u slanoj komori**

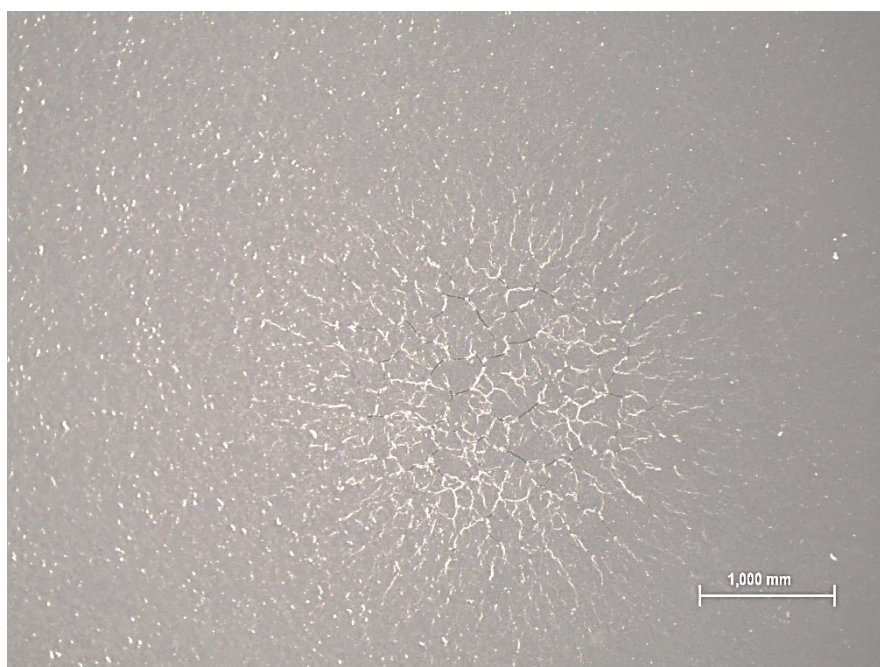
Uzorak br. (priprema)	Prije izlaganja u komorama		Poslije izlaganja u slanoj komori	
	Visina ispitivanja bez pojave oštećenja (cm)	Visina ispitivanja sa pojavom oštećenja (cm)	Visina ispitivanja bez pojave oštećenja (cm)	Visina ispitivanja sa pojavom oštećenja (cm)
N1/N4 (neobrađen)	20	30	5	10
R1/R4 (ručna obrada)	10	20	10	20
B1/B4 (obrada brusilicom)	50	55	10	15
P1/P4 (pjeskareno)	10	15	15	20
K1/K4 (čišćeno u kiselini)	25	30	20	30

Analizirajući rezultate ispitivanja otpornosti prevlaka na udarna opterećenja prije i nakon izlaganja slanoj atmosferi, na uzorcima skupine jedan i četiri, ustanovljen je pad vrijednosti rezultata.

Najveća degradacija vrijednosti ustanovljena je kod uzoraka pripremljenih ručnim električnim alatom, dok najnižu vrijednost otpornosti ima neobrađen uzorak.

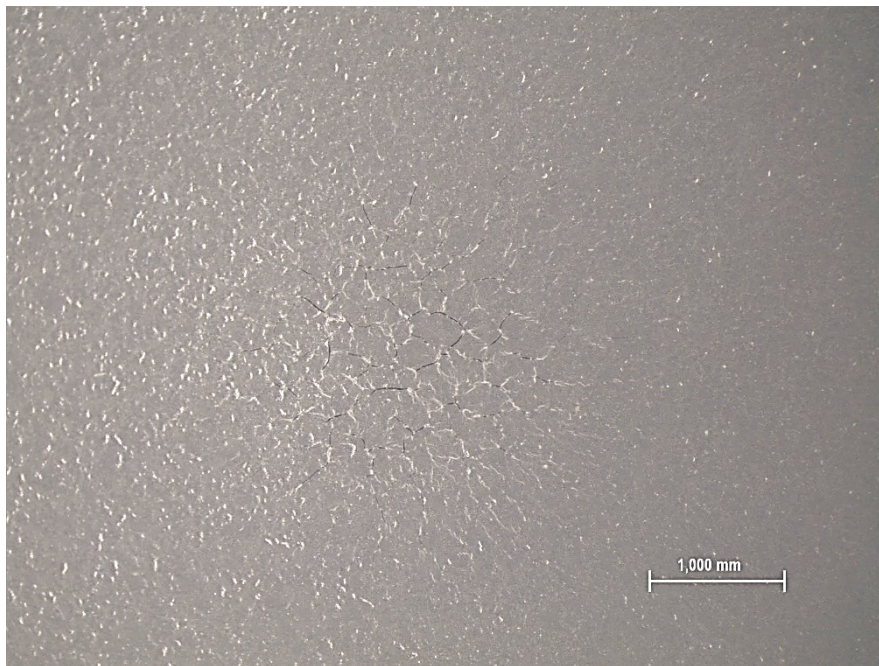


**Slika 59.** Uzorak N3 - ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 5 cm

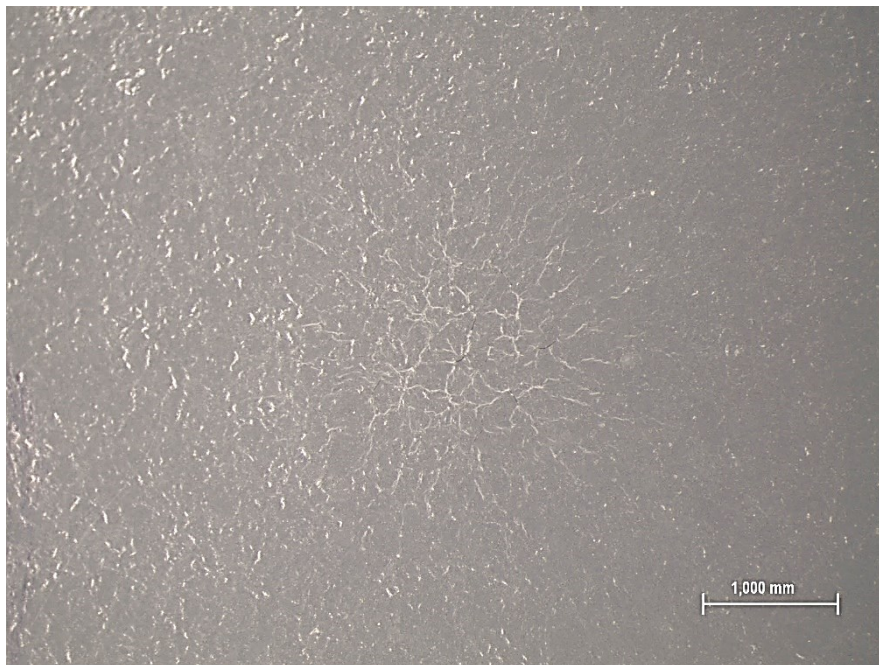


**Slika 60.** Uzorak R3 - ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 5 cm



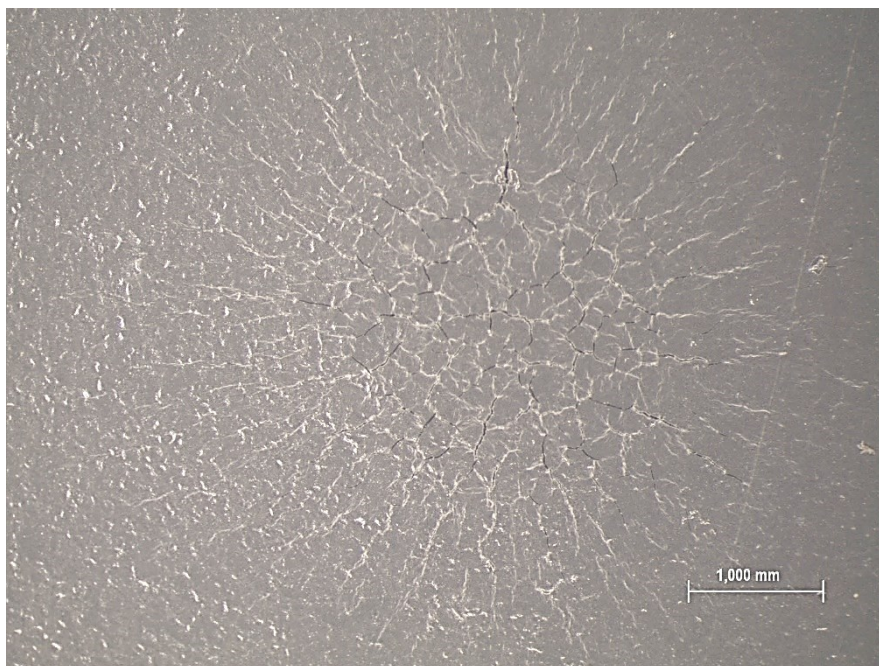


**Slika 61.** Uzorak B3 - ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 5 cm



**Slika 62.** Uzorak P3 - zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj je prevlaka zadržala svoja svojstva kao i mikro i makro konzistentnost iznosi 5 cm





**Slika 63.** Uzorak P3 - ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 10 cm



**Slika 64.** Uzorak K3 - ne zadovoljava; visina s koje je pušten uteg pri kojoj prevlaka nije zadržala svoja svojstva kao ni mikro i makro konzistentnost iznosi 5 cm

**Tablica 12. Rezultati ispitivanja otpornosti prevlake na udar nakon ispitivanja u vlažnoj komori**

Uzorak br. (priprema)	Prije izlaganja u komorama		Poslije izlaganja u vlažnoj komori	
	Visina ispitivanja bez pojave oštećenja (cm)	Visina ispitivanja sa pojavom oštećenja (cm)	Visina ispitivanja bez pojave oštećenja (cm)	Visina ispitivanja sa pojavom oštećenja (cm)
N1/N3 (neobrađen)	20	30	0	5
R1/R3 (ručna obrada)	10	20	0	5
B1/B3 (obrada brusilicom)	50	55	0	5
P1/P3 (pjeskareno)	10	15	5	10
K1/K3 (čišćeno u kiselini)	25	30	0	5

Analizirajući rezultate ispitivanja otpornosti prevlaka na udarna opterećenja prije i nakon ispitivanja u vlažnoj komori može se zaključiti da se otpornost na udar kod svih uzoraka značajno smanjila nakon ispitivanja. Također se može zaključiti i da se otpornost na udarna opterećenja smanjila i u odnosu na uzorke ispitivane u slanoj komori.

## 11. ZAKLJUČAK

Obzirom na značaj prevlaka, bilo iz estetskih razloga ili razloga antikorozivne zaštite, potrebno je posvetiti pažnju prilikom proučavanja eksploatacijskih uvjeta, odabira prevlake, metode pripreme i metode nanošenja prevlake u svrhu dobivanja što boljih rezultata. Pravilno odrađeni prethodno navedeni koraci smanjuju vremenske i financijske gubitke uz bitno povećanje sigurnosti. Za kvalitetno rješavanje problema šteta uslijed korozije, potrebno je upoznati se i s uzrokom, a ne samo s posljedicama. Stoga je izrazito bitno shvatiti procese nastajanja korozije, oblik korozije te brzinu propagacije. Zbog korištenja praha bez potrebe za otrovnim otapalima, kao i zbog jednostavnosti procesa, metoda plastificiranja elektrostatskim naprašivanjem postaje sve zastupljenija.

U eksperimentalnom dijelu završnog rada provedena su ispitivanja na uzorcima od aluminijske legure tipa 5086 pripremljenih s pet različitih metoda pripreme (neobrađeni uzorci, ručno obrađeni, obrađeni električnim alatima, mlazom abraziva i kemijski očišćeni uzorci). Prilikom ispitivanja kvalitete prevlake neposredno nakon nanošenja, ispitivanjima adhezije prevlake „Cross cut“ metodom, ustanovljena je izvrsna prionljivost na uzorcima svih priprema.

Prilikom ispitivanja otpornosti prevlake na udar, zamjećena je razlika u otpornosti. Uzorak pripremljen ručnim električnim alatom postigao je rezultate zamjetno bolje od ostalih. Nakon izlaganja uzoraka u slanoj i vlažnoj komori, prema zahtjevima normi HRN EN ISO 9227 i HRN EN ISO 6270-1 u trajanju od 480h, rezultati na uzorcima nakon oba ispitivanja su lošiji nego rezultati prije izlaganja agresivnim atmosferama. Zamjetna razlika u rezultatima kod uzoraka, koji su ispitivani u slanoj komori, utvrđena je kod uzoraka pripremljenim ručnim električnim alatima na testu otpornosti na udar, dok je najmanja razlika kod uzorka pripremljenim mlazom abraziva. Zamjetna razlika rezultata ispitivanja otpornosti na udar utvrđena je kod svih uzoraka koji su bili izloženi uvjetima u vlažnoj komori. Zaključeno je kako su ti uzorci, točnije prevlake na njima, postale neotporne na udarna opterećenja. Sve prevlake su izgubile svoju konzistentnost čak i pri najmanjim visinama ispitivanja, nekoliko puta manjima od vrijednosti prije izlaganja u vlažnoj komori. Kod uzoraka koji su bili podvrgnuti ispitivanju adhezije, nailazimo na ne toliko značajne promjene u rezultatima, osim u slučaju neobrađenih uzoraka. Neobrađeni uzorci iz vlažne i slane komore pokazali su degradaciju rezultata, dok su ostali uzorci zadržali ocjenu 0 pri ispitivanju, što dovoljno govori o važnosti odgovarajuće pripreme površine s ciljem osiguranja odgovarajućih zaštitnih svojstava.

---

**LITERATURA**

- [1] Juraga, Alar, Stojanović, Korozija i zaštita premazima, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje (2014.)
- [2] Esih, I., Dugi, Z., Tehnologija zaštite od korozije, Zagreb: Školska knjiga (1990.)
- [3] Dr. Vincent, L. D. , The protective Coating Users Handbook, second edition, (2010.)
- [4] Stupnišek-Lisac, E., Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, Zagreb: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije (2007.)
- [5] Gojić, M., Površinska obrada materijala, Zagreb: Metalurški fakultet (2010.)
- [6] Galvanski članak (2017.) – pristupljeno 10.02.2022.  
<https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=galvanski+%C4%8Dlanak>
- [7] Eurosaj toplo cinčanje (2018.) – pristupljeno 14.02.2022.  
<https://www.surtec-eurosaj.com/bs/article/25/toplo-cincanje>
- [8] Esih, I., Osnove površinske zaštite, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje (2003.)
- [9] Šimunović, V., Juraga, I., Polimerne prevlake: Osvrt na mnogobrojne mogućnosti i načine primjene. Polimeri. 1/05, str. 12-17. (2005.)
- [10] Abrazivno pjeskarenje površina (2022.) – pristupljeno 14.02.2022.  
<https://hr.gardendecorgalore.com/6851091-abrasive-blasting-of-surfaces-what-is-needed-and-where-it-is-applied>
- [11] Vitek, M., Pasiviranje površine aluminija (2016.)
- [12] Kralj, M., Pavković, K., Stojanović, I., Anđal, J., Prionljivost i zaštitna svojstva DTM premaza u odnosu na premaze s temeljnim slojem (2019.)
- [13] Prikaz rada slane komore (2022.) – pristupljeno 18.02.2022.  
<https://www.ascott-analytical.com/about-ascott-analytical/>