

# Fizikalno-kemijska svojstva vodorazrjedivog premaza

---

**Belošević, Andrija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

*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:235:213394>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-22**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Andrija Belošević**

Zagreb, 2016. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Vesna Alar, dipl. ing.

Student:

Andrija Belošević

Zagreb, 2016. godina.

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

Zahvaljujem se svim djelatnicima Katedre za zaštitu materijala Fakulteta strojarstva i brodogradnje na ukazanoj pomoći i strpljenju tijekom izrade ovog rada.

Andrija Belošević



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

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

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Andrija Belošević**

Mat. Br.:0035192506

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Fizikalno-kemijska svojstva vodorazrjedivog premaza**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Physical and chemical properties of the waterborne coating**

Opis zadatka:

Zaštita premazima spada u tehnologiju zaštite od korozije koja ima vrlo široku primjenu, a koja se i danas intenzivno razvija. U radu je potrebno dati prikaz metoda zaštite od korozije koje se koriste u zaštiti čeličnih proizvoda. Opširnije prikazati metodu zaštite premazima s osvrtom na vodorazrjedive premaze. Opisati prednosti, nedostatke i područje primjene te trendove razvoja.

U eksperimentalnom dijelu zadatka potrebno je ispitati fizikalno-kemijska svojstva, i to:

- debljinu suhog filma premaza prema normi ISO 2808
- prionjivosti premaza prije i nakon ispitivanja u vlažnoj komori prema normi ISO 2409 (cross-cut test)
- tvrdoću premaza
- otpornost na udar
- sjaj i RAL nijansu
- otpornosti prema agresivnim otopinama.

Analizirati rezultate te dati zaključak.

Zadatak zadan:

25. studenog 2015.

Rok predaje rada:

1. rok: 25. veljače 2016.
2. rok (izvanredni): 20. lipnja 2016.
3. rok: 17. rujna 2016.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 29.2., 02. i 03.03. 2016.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2016.
3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Vesna Alar

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS OZNAKA .....	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY .....	IX
1. UVOD.....	1
2. PODJELA KOROZIJE.....	2
2.1. Kemijska korozija .....	3
2.2. Elektrokemijska korozija .....	3
2.3. Opća korozija .....	4
2.4. Selektivna korozija.....	5
2.5. Interkristalna korozija .....	5
2.6. Lokalna korozija.....	5
3. MEHANIZMI ZAŠTITE MATERIJALA OD KOROZIJE.....	8
3.1. Zaštita konstrukcijskim mjerama i oblikovanjem .....	8
3.2. Primjena materijala koji su korozijski postojani .....	9
3.3. Zaštita inhibitorima korozije .....	10
3.4. Elektrokemijska zaštita .....	12
3.4.1. Katodna zaštita.....	12
3.4.2. Anodna zaštita.....	15
3.5. Zaštita prevlačenjem konstrukcijskog materijala.....	15
3.5.1. Zaštita metalnim prevlakama .....	15

---

3.5.2. Zaštita nemetalnim anorganskim prevlakama.....	16
4. ZAŠTITA PREMAZIMA.....	17
4.1. Komponente premaza.....	17
4.1.1. Vezivo .....	17
4.1.2. Otapala .....	18
4.1.3. Pigmenti .....	18
4.1.4. Punila .....	19
4.1.5. Aditivi .....	19
4.2. Podjela premaza prema načinu sušenja.....	20
4.3. Priprema površine .....	20
5. VODORAZRJEDIVI PREMAZI .....	22
5.1. Vrste vodorazrjedivih premaza .....	24
5.1.1. Vodotopljive smole .....	24
5.1.2. Vodene disperzije.....	24
5.1.3. Vodene emulzije .....	25
5.2. Prednosti i nedostaci vodorazrjedivih premaza.....	25
6. EKSPERIMENTALNI DIO .....	27
6.1. Ispitni uzorci.....	27
6.2. Ispitivanje debljine suhog filma premaza .....	29
6.3. Ispitivanje sjaja i određivanje nijanse premaza.....	31
6.3.1. Ispitivanje sjaja premaza .....	31
6.3.2. Određivanje nijanse premaza prema RAL-u.....	33
6.4. Ispitivanje u slanoj komori.....	34
6.5. Ispitivanje prionjivosti premaza.....	36
6.6. Ispitivanje otpornosti na udar.....	39

---

6.7. Ispitivanje tvrdoće premaza .....	41
6.8. Ispitivanje otpornosti premaza prema agresivnim otopinama .....	43
7. ZAKLJUČAK.....	46
LITERATURA.....	47



**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Klasifikacija korozijskih procesa [1].....	2
Slika 2.	Elektrokemijska korozija - teorija lokalnih članaka [4] .....	4
Slika 3.	Opća korozija zupčanika [5].....	4
Slika 4.	Grafitizacija sivog lijeva [6].....	5
Slika 5.	Rupičasta korozija [6].....	6
Slika 6.	Galvanska korozija [6] .....	7
Slika 7.	Zaštita elektronike vrećicom impregniranom VCI inhibitorom [10] .....	12
Slika 8.	Katodna zaštita s vanjskim izvorom struje i inertnom anodom [2].....	13
Slika 9.	Katodna zaštita s žrtvovanom anodom [1] .....	14
Slika 10.	Listićavi pigmenti u premazu [1] .....	19
Slika 11.	Podjela premaza prema načinu sušenja [1] .....	20
Slika 12.	Shematski prikaz formiranja filma vodenih disperzija [13].....	25
Slika 13.	Ispitni uzorci [14] .....	27
Slika 14.	Uređaj za mjerenje debljine suhog sloja premaza [14] .....	30
Slika 15.	Grafički prikaz debljina premaza .....	30
Slika 16.	Instrument i postupak mjerenja sjaja [14] .....	32
Slika 17.	Kartice za određivanje RAL-a [14] .....	33
Slika 18.	Ispitni uzorci prije stavljanja u slanu komoru [14].....	35
Slika 19.	Ispitni uzorci prije (lijevo) i nakon (desno) ispitivanja [14].....	35
Slika 20.	Uzorci nakon ispitivanja u slanoj komori [14] .....	36
Slika 21.	Postupak ispitivanja prionjivosti -"cross cut" test [14] .....	37
Slika 22.	Površina uzoraka nakon ispitivanja prionjivosti (prije slane komore) [14] .....	37
Slika 23.	Površina uzoraka nakon ispitivanja prionjivosti (nakon slane komore) [14].....	38

---

Slika 24.	Stupanj oštećenosti površine [15].....	38
Slika 25.	Prikaz aparature i ispitivanja otpornosti na udar [14] .....	40
Slika 26.	Stanje površina ispitnih uzoraka nakon ispitivanja otpornosti na udar [14] .....	40
Slika 27.	Oprema i postupak mjerenja tvrdoće [14].....	42
Slika 28.	Ispitni uzorci nakon ispitivanja tvrdoće [14].....	42
Slika 29.	Ispitivanje otpornosti premaza prema agresivnim otopinama [14] .....	44
Slika 30.	Stanje površina nakon ispitivanja otpornosti prema agresivnim otopinama [14] .	44

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Relativna otpornost na koroziju nekih nezaštićenih materijala [8] .....	10
Tablica 2. Trend u industriji premaza u Europskoj uniji [1] .....	23
Tablica 3. Usporedba vodorazrjedivog premaza i premaza sa organskim otapalom [12].....	23
Tablica 4. Vrste premaza ispitnih uzoraka [14].....	29
Tablica 5. Statistički podaci mjerenja debljine premaza [14] .....	31
Tablica 6. Izmjerene vrijednosti sjaja ispitnih uzoraka [14] .....	32
Tablica 7. Boje i RAL vrijednosti premaza [14] .....	34
Tablica 8. Rezultati ispitivanja prionjivosti [14].....	39
Tablica 9. Rezultati ispitivanja otpornosti na udar [14] .....	41
Tablica 10. Rezultati ispitivanja tvrdoće [14] .....	43

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
HOS	-	hlapivi organski spojevi

## **SAŽETAK**

Završni rad sastoji se od teorijskog dijela u kojem je dan prikaz metoda koje se koriste u zaštiti čelika od korozije. Također, zaštita premazima detaljnije je prikazana posebnim poglavljem nakon kojeg je napravljen osvrt na vodorazrjedive premaze.

U eksperimentalnom dijelu rada ispituju se fizikalno-kemijska svojstva vodorazrjedivih premaza. Eksperiment se sastoji od raznih ispitivanja, nakon kojih su prikazani rezultati i dana je analiza istih.

## **SUMMARY**

This thesis consists of a theoretical part where methods of corrosion protection of steel have been represented. Also, coating protection has been shown in more detail. At the end of the theoretical part, a review of waterborne coatings has been done.

In the experimental work, physical and chemical properties of the waterborne coating have been tested. The experiment consists of various tests, after which the results and their analysis have been made.

## 1. UVOD

Korozija se u današnje vrijeme smatra jednim od najvećih problema prilikom održavanja trajnosti metalnih konstrukcija. Za čovjeka ona predstavlja štetu u svakom smislu te riječi (materijalna šteta, zagađenja okoliša, trošenje ljudskih resursa, nepotreban ljudski rad te ono najbitnije, ljudske žrtve koje korozijski procesi mogu izazvati) što je čini jednim od najvećih gospodarskih problema današnjice. Koroziju možemo pronaći u raznim oblicima, na raznim mjestima, u različitim uvjetima, ali je istu, unatoč njezinoj nepredvidivosti, često moguće spriječiti znanjima i spoznajama koja su dosad usvojena. Razni cjevovodi, spremnici, rezervoari, razne ukopane konstrukcije, mostovi, brodovi te mnoge druge konstrukcije izloženi su korozijskom djelovanju ako nisu provedene zaštitne mjere u svrhu prevencije korozije. Zaštita od korozijskog razaranja metala može biti svakojaka, od samog izbora materijala za određene uvjete eksploatacije, zaštitnih premaza koji se nanose na štice konstrukciju do raznih drugih metoda koje bi na neki način spriječile, odnosno smanjile brzinu i afinitet korozijskog procesa.

Zaštita premazima u današnje vrijeme nezamjenjiva je metoda zaštite metala od korozijskog razaranja. Metalne konstrukcije mogu se zaštititi raznim metodama zaštite, kao što su elektrokemijske metode, pravilnim izborom konstrukcijskog materijala, lokacijom i izvedbom konstrukcije, inhibitorima korozije i sl. Unatoč brojnim mogućnostima korozijske zaštite, premazna sredstva redovito se koriste u kombinaciji s drugim metodama zbog relativno jednostavne aplikacije, te izrazito dobrih antikorozivnih svojstava.

Kako je upotreba premaznih sredstava vrlo česta, štetan utjecaj premaza na bazi organskih otapala na okoliš je vrlo značajan. U svrhu smanjenja zagađenja okoliša, vodorazrjedivi premazi sve češće nalaze svoju primjenu, te se kao takvi nameću jednim od najvažnijih premaza bliske budućnosti.

## 2. PODJELA KOROZIJE

Koroziju možemo pronaći u raznim oblicima ovisno o čimbenicima koji u tom trenutku najviše uvjetuju pojavi iste . Tako možemo i izvršiti podjelu prema mehanizmu procesa, odnosno mediju u kojem se materijal nalazi, pa tako postoji **kemijska korozija** koja nastaje djelovanjem agresivnog kemijskog elementa na površinu materijala, a zbiva se u medijima koji ne provode električnu struju (ovdje spada najčešća pojava plinske korozije uzrokovana plinovima izgaranja na visokim temperaturama) te **elektrokemijska korozija** koja se javlja kada je metal uronjen u elektrolit.

Prema geometrijskom obliku razaranja, koroziju dijelimo na opću, lokalnu, selektivnu, odnosno interkristalnu. Podjela procesa korozije prikazana je slikom 1 [1].



Slika 1. Klasifikacija korozijskih procesa [1]



## 2.1. Kemijska korozija

Kemijska korozija je proces koji se zbiva isključivo u mediju koji ne provodi električnu struju, odnosno u neelektrolitima. Nastaje djelovanjem agresivnog kemijskog elementa na površinu metala čime nastaje molekula spoja — korozijski produkt. Najčešći neelektroliti u kojima se kemijska korozija pojavljuje su vrući plinovi (plinska korozija) te organske tekućine.

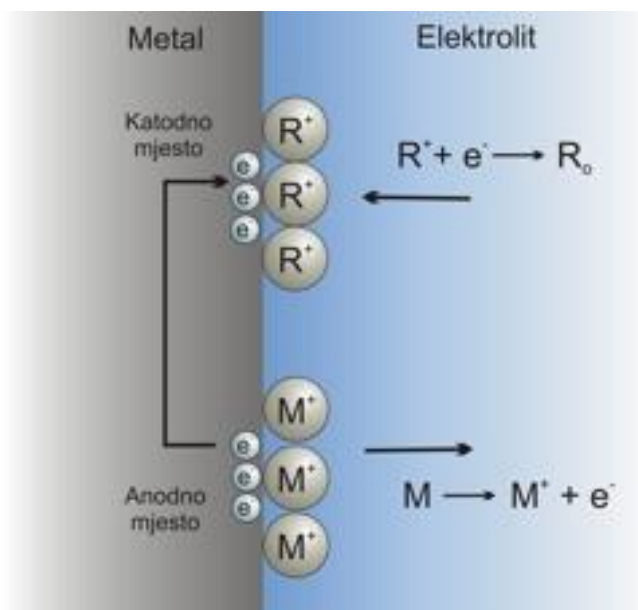
Uzrok plinske korozije najčešće su plinovi nastali izgaranjem pri visokim temperaturama, stoga je česta pojava ovakvog procesa korozije u raznim ventilima, ispušnim cijevima motora, zavarivanju, toplinskoj obradi čelika, u termoenergetskim postrojenjima, uređajima koji rade pri visokim temperaturama i sl. Kemijska korozija koju uzrokuju organske tekućine, najčešća je pojava pri transportu nafte, odnosno derivata iste (gdje pod utjecajem sumpora ili njegovih spojeva dolazi do razaranja metala), zatim kod primjene raznih otapala za odmašćivanje i razrjeđivanje lakova i boja te pri djelovanju maziva na komponente strojeva [1].

## 2.2. Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija je proces, koji se za razliku od već navedene kemijske korozije, zbiva u medijima koji provode el. struju — elektrolitima (nosioci naboja su ioni). Usred elektrokemijskih reakcija koje se odvijaju u elektrolitu te u kojima sudjeluju metali ili legure dolazi do spontanog razaranja, odnosno otapanja istih. Ovakva vrsta procesa događa se na granici faza metal/elektrolit te je uzrokovana nepostojanošću površine samog metala (makro i mikro uključci na površini metala, heterogenost legure), odnosno elektrolita u kojem se nalazi (različite koncentracije metalnih iona u pojedinim dijelovima elektrolita, članci diferencijalne aeracije itd.) – u sustavu metal/elektrolit, elektrokemijska korozija je redukcijsko-oksidacijski proces (redoks proces). Pri redoks procesu dolazi do reakcija otapanja metala, odnosno, dolazi do oksidacije — deelektronacije metala (metal oksidira u slobodni kation – anodna reakcija) pri čemu se istodobno odvija reakcija redukcije (depolarizator – oksidans veže na sebe oslobođene elektrone).

Nastanak elektrokemijske korozije moguć je na dva načina — prvi način je stvaranjem mikroelemenata zbog lokalne razlike potencijala na površini metala kada je isti uronjen u elektrolit (isti metal zbog nehomogenosti na površini čini anodu i katodu). Drugi način je stvaranjem galvanskog članka između dva metala i elektrolita (standardni potencijal jednog

metala je negativniji od drugog te dolazi do razlike potencijala između uronjenih metala koji uzrokuje tok elektrona: manje plemeniti metal je anoda u redoks procesu). Na slici 2 prikazan je proces elektrokemijske korozije, pri čemu jedan metal, zbog svoje nehomogenosti, čini anodu i katodu korozijskog članka. Slovo „R“ predstavlja reducens, odnosno tvar koja na sebe veže elektrone otpuštene od strane metala na anodnom mjestu [1,2,3].



Slika 2. Elektrokemijska korozija - teorija lokalnih članaka [4]

### 2.3. Opća korozija

Opća korozija zahvaća čitavu površinu metala, dijeli se na ravnomjernu i neravnomjernu te su istoj najpodložniji konstrukcijski čelici. Ravnomjerna korozija lako je uočljiva te kao takva tehnički ne predstavlja preveliku opasnost jer se dijelovi zahvaćeni ovim oblikom korozije mogu na vrijeme zamijeniti, odnosno zaštititi od korozijskog djelovanja. Neravnomjerna korozija je stoga puno opasnija. Slikom 3 prikazan je primjer opće korozije [1].



Slika 3. Opća korozija zupčanika [5]

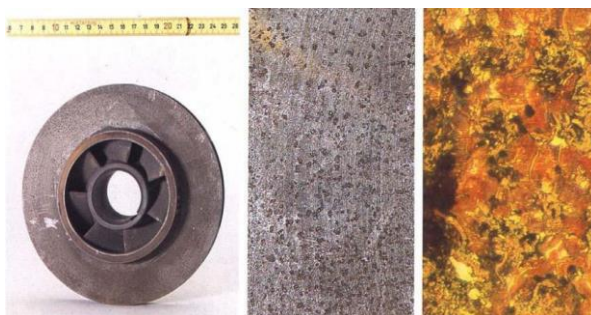
## 2.4. Selektivna korozija

Selektivna korozija jedan je od rijetkih oblika korozije kojima su najčešće zahvaćene metalne legure, odnosno pojedine faze ili komponente iste. Naime, neke komponente ili faze legure elektrokemijski su aktivnije od drugih te se kao takve anodno otapaju u galvanskom kontaktu s plemenitijim fazama ili komponentama.

S obzirom na navedeno, selektivnu koroziju dijelimo na:

- selektivnu faznu koroziju i
- selektivnu komponentnu koroziju.

Najvažniji primjer selektivne fazne korozije je grafitizacija sivog lijeva, prikazana slikom 4, gdje dolazi do selektivnog otapanja ferita kao anode, dok zaostaje porozni grafit pomiješan s hrđom. Komponentna selektivna korozija najčešća je pojava na jednofaznim legurama – najvažnija od njih je decinkacija mjedi s više od 15 % Zn, pri čemu se cink otapa, a ostaje porozna bakrena matrica [1,6].



Slika 4. Grafitizacija sivog lijeva [6]

## 2.5. Interkristalna korozija

Interkristalna korozija je oblik korozije koji najčešće zahvaća austenitne i feritne nehrđajuće čelike. Naime, zbog izlučivanja  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  karbida na granicama zrna (senzibilizacija austenita pri višim temperaturama usred zavarivanja, toplinske obrade i sl.) područja uz granice zrna su osiromašena kromom – više nisu postojana na koroziju. Osiromašena područja tako čine anodu, a izlučeni karbidi katodu u galvanskom članku korozije, čime dolazi do razaranja, odnosno raspadanja metala. Ovakav oblik korozije naglo smanjuje čvrstoću i žilavost materijala, a dugo može ostati neprimjetan što ga čini posebno opasnim. Smanjenje sklonosti koroziji ovakvog tipa postiže se žarenjem, stabilizacijom karbidotvorcima, odnosno snižavanjem udjela ugljika [3].

## 2.6. Lokalna korozija

Oblik korozije koji zahvaća samo neke dijelove površine materijala te je ujedno jedan od oblika koji se najčešće pojavljuju. Dijeli se na pjegastu, rupičastu, potpovršinsku i kontaktnu (galvanska korozija ili korozija u procjepu).

**Pjegasta** korozija ograničena je na pojedine veće dijelove površine, a zahvaća plitko samo anodna mjesta na metalnoj površini [1].

**Rupičasta** („pitting“) korozija kružnog je oblika te izaziva uske i duboke perforacije u materijalu te su istoj najpodložniji nehrđajući čelici. Kada se pasivni sloj na površini metala usred djelovanja klorida razori, dolazi do nakupljanja klorida u jamici koji onemogućuju obnavljanje sloja oksida, odnosno potiču dublje razaranje materijala. Zaštita se najčešće ostvaruje poliranjem zavarenog spoja radi repasivacije, legiranjem čelika, smanjenjem agresivnosti medija ili nekom od elektrokemijskih metoda zaštite. Na slici 5 dan je primjer rupičaste korozije [1,3,6].



**Slika 5. Rupičasta korozija [6]**

**Kontaktna** korozija dijeli se na galvansku koroziju i koroziju u procijepu.

**Galvanska korozija** javlja se kada su dva ili više različita metala uronjena u elektrolit, pri čemu metal s nižim električnim potencijalom korodira. Kako se galvanska korozija javlja na konstrukciji sa različitim metalima, poželjno je da su korozijski potencijali što bliže jedan drugome ili pak da se metali pravilno izoliraju jedan od drugoga. Također, odnos površina katode i anode je od iznimne važnosti. Naime, metal koji u konstrukciji ima najmanju površinu u pravilu bi trebao biti najplemenitiji (mala površina katode, na velikoj površini anode što znači mala gustoća anodne struje). Bitno je naglasiti da su neki materijali skloni pasiviranju usred anodne polarizacije na anodi, čime bi iz aktivnog stanja (anode) prešli u stanje pasivacije, što dovodi do korozije drugog metala (do tada plemenitijeg) u sustavu galvanskog članka. Na slici 6 prikazan je primjer galvanske korozije [1,3].

**Korozija u procjepu** pojavljuje se u uskim procjepima izvedenih konstrukcijom (primjerice preklonni zavareni spoj), pri čemu su oba metala istih korozijskih potencijala (istovrsni materijali). Razlog korozijskog procesa je upravo u nakupljanju nečistoća i

elektrolita u procjepima, čime se povećava agresivnost čimbenika koji uvjetuju koroziji. Anodna mjesta su tako unutar procjepa gdje je izraženo djelovanje agresivnih tvari, dok vanjska strana procjepa čini katodu. Kako bi se smanjila sklonost ovom tipu korozije, potrebno je izbjegavati uske procjepe prilikom konstruiranja, omogućiti drenažu vode sa konstrukcije (voda se ne smije zadržavati u procjepu) i primijeniti katodnu zaštitu [3].



**Slika 6. Galvanska korozija [6]**

**Potpovršinska korozija** uglavnom zahvaća metale koji su bili valjani, čime je došlo do deformacije njihovih zrna. Korozija počinje na zrnima najbliže površini, a metal izgleda kao da se lista u slojevima. Česta je pojava i podfilmske korozije koja se javlja ispod tanke prevlake ili premaza, pri čemu zbog povećanja volumena produkta reakcije dolazi do pucanja istih [1].

### 3. MEHANIZMI ZAŠTITE MATERIJALA OD KOROZIJE

Načelno, korozijska zaštita materijala ostvaruje se smanjenjem korozijskog afiniteta ili povećanjem otpora koroziji. Metode zaštite koje se primjenjuju uglavnom su ostvarive na sljedeće načine [1]:

- promjenom unutrašnjih parametara korozije (obilježja konstrukcijskog materijala)
- promjenom vanjskih parametara korozije (obilježja medija)
- stvaranjem barijere između konstrukcijskog materijala i medija (nanošenje prevlaka).

Uzimajući u obzir navedeno, jasno je da se zaštita od korozije ne može uvijek ostvariti jednim te istim načinom, štoviše, čest je slučaj da se na određenoj konstrukciji koriste dvije, odnosno više metoda zaštite zbog smanjenja troškova ili pak zbog neadekvatne zaštite samo jednom metodom. Temeljne metode zaštite od korozije su [3]:

- zaštita konstrukcijskim mjerama i oblikovanjem
- primjena materijala koji su korozijski postojani
- zaštita inhibitorima korozije
- elektrokemijska zaštita
- zaštita prevlačenjem konstrukcijskog materijala.

#### 3.1. Zaštita konstrukcijskim mjerama i oblikovanjem

Kako je korozija spontani proces (metali i njihove legure u određenim uvjetima uglavnom imaju težnju korodirati), često je korozijske procese moguće spriječiti samim konstruiranjem nekog proizvoda — njegovim pravilnim oblikovanjem ili izborom odgovarajuće tehnologije izrade. Takve mjere pokazuju se efikasne pri suzbijanju korozije u procjepu, gdje se sprječava zadržavanje elektrolita na konstrukciji pravilnim oblikovanjem iste. U pravilu, ispravno izvedeni zavareni spojevi uvijek imaju prednost pred vijčanim ili zakovičnim spojevima zbog nemogućnosti nakupljanja elektrolita u procjepima. Galvansku koroziju moguće je spriječiti izbjegavanjem dodira dvaju metala različitih korozijskih potencijala. Također, **erozijska korozija**, prilikom koje dolazi do naglog nastrujavanja medija na unutrašnju stranu cijevi, čime se zaštitni slojevi na površini materijala skidaju i dolazi do korozije, često se može spriječiti izbjegavanjem naglih i oštih zavoja u cjevovodima, čime je onemogućeno erozijsko oštećenje istih. **Napetosnu koroziju**, kao specijalni oblik korozije koji nastaje uslijed djelovanja agresivnog okruženja i naprezanja

(zaostala naprezanja u materijalu ili vanjsko nametnuta naprezanja), često je moguće spriječiti izbjegavanjem mehaničkih naprezanja gdje god je to moguće.

Dodatne konstrukcijske mjere i smjernice kojih bi se inženjeri prilikom konstruiranja trebali pridržavati odnose se na razna projektna rješenja kojima bi se na neki način smanjili korozijski procesi. Primjerice, razni spremnici i rezervoari moraju se izvesti tako da je omogućeno njihovo lako pražnjenje, omogućiti jednostavnu i brzu zamjenu dijelova koji će relativno brzo korodirati, izbjegavati nagla zagrijavanja konstrukcije zbog ubranog djelovanja korozije, izabrati manje agresivan medij eksploatacije i mnoge druge [3,7].

### **3.2. Primjena materijala koji su korozijski postojani**

Uz mnoge karakteristike materijala proizvoda (mehanička svojstva, cijena, trajnost, zavarljivost i sl.) koje su od velike važnosti prilikom odabira istog, korozijska otpornost čini jedan od najvažnijih kriterija. S obzirom na uvjete eksploatacije različiti metali se i različito ponašaju — neki korodiraju brže, neki korodiraju sporije, te je stoga pravilnim odabirom materijala moguće znatno usporiti korozijske procese, osigurati veću trajnost konstrukcije i olakšati daljnju korozijsku zaštitu iste. Odabir korozijski postojanijih materijala može znatno smanjiti cijenu održavanja i rekonstrukcije tijekom eksploatacije. Korozijski je postojaniji onaj materijal na kojemu u jednakim vremenskim uvjetima dolazi do manje intenzivnog razaranja na površini ili do neželjenih promjena mikrostrukture [3]. Kako se zbog svojih nepovoljnijih mehaničkih i mnogih drugih svojstava te bitno više cijene neki materijali ne mogu koristiti kao konstrukcijski materijali, a imaju relativno visoku korozijsku postojanost, mogu se koristiti u obliku zaštitnih prevlaka. Tablicom 1 prikazane su korozijske otpornosti nekih materijala s obzirom na uvjete eksploatacije. Iz iste je lako uočiti kako su nehrđajući čelici zbog svoje relativno visoke korozijske otpornosti u morskoj, odnosno industrijskoj atmosferi često primjenjivi u raznim granama industrije [8].



**Tablica 1. Relativna otpornost na koroziju nekih nezaštićenih materijala [8]**

Vrsta materijala	Industrijska atmosfera	Slatka voda	Morska voda	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (5...15%)	Lužina (8%)
Niskougljični čelik	1	1	1	1	5
Galvanizirani čelik	4	2	4	1	1
Sivi lijev	4	1	1	1	4
Čelik s 4...6 % Cr	3	3	3	1	4
18 %Cr i 8 %Ni nehrđajući čelik	5	5	4	2	5
18 %Cr i 35 %Ni nehrđajući čelik	5	5	4	4	4
"monel" (70 % Ni i 30 % Cu)	4	5	5	4	5
Nikal	4	5	5	4	5
Bakar	4	4	4	3	3
Mjed (85 %Cu i 15 %Zn)	4	3	4	3	1
Al-bronca	4	4	4	3	3
Novo srebro (65 %Cu, 18 %Ni i 17 %Zn)	4	4	4	4	4
Aluminij	4	2	1	3	1
Al-Cu legura	3	1	1	2	1

Ocjene: 1 = slaba – brzi napad; 2 = osrednja – privremena upotreba; 3 = dobra - umjereno korištenje; 4 = vrlo dobra – pouzdano korištenje; 5 = izvrsna – neograničeno korištenje

### 3.3. Zaštita inhibitorima korozije

Inhibitori korozije su kemijske tvari koje u vrlo malim koncentracijama smanjuju brzinu korozije. Najčešće se primjenjuju pri zaštiti materijala od korozije u elektrolitima te u atmosferskim uvjetima. Izmjenjivači topline, kondenzatori, parni kotlovi, cisterne za transport agresivnih otopina i slične tvorevine redovito se zaštićuju od korozije dodavanjem inhibitora u korozijski sustav. Princip djelovanja inhibitora korozije temelji se na stvaranju barijere između okoline i metala, ili pak o smanjenju korozivnosti okoline u kojoj se naš metal nalazi. Prema načinu djelovanja [1,3,9]:

- anodni inhibitori (koče anodnu reakciju)
- katodni inhibitori (koče katodnu reakciju)
- mješoviti inhibitori (koče i anodnu i katodnu reakciju).

Vrlo često se zaštitno djelovanje znatno povećava korištenjem inhibitorских smjesa gdje dva ili više inhibitora u smjesi djeluju sinergijski pri čemu ukupna koncentracija ostaje ista [3].

**Anodni inhibitori** koče ionizaciju metala. Anodni inhibitori *pasivatori* anodnom pasivacijom na površini osnovnog metala stvaraju tanke oksidne slojeve što rezultira smanjenjem brzine korozije. Često ih se naziva i „opasnim inhibitorima“ jer nedovoljnom koncentracijom može doći do nejednolike pasivacije površine, pri čemu se bitno smanjuje odnos anodne i katodne površine što može rezultirati „pitting“ korozijom. Najvažniji od njih



su kromati, nitriti, molibdati, volframati i vanadati. Anodni *taložni* inhibitori djeluju tako da reakcijom s ionima metala na anodnim mjestima nastaju slojevi korozijskih produkata. Na ovaj način djeluju silikati, karbonati i fosfati u vodi [1,3].

**Katodni inhibitori** mogu smanjiti brzinu korozije direktnim kočenjem katodne reakcije ili pak uzrokuju taloženje zaštitnih slojeva karbonata ili hidroksida na lokalnim katodama. Pri koroziji neplemenitih metala u neoksidativnim kiselinama često se rabe spojevi s arsenom, bizmutom, antimonom i sl. koji povećavaju prenapon redukcije  $H^+$  i izlučivanja vodika, dok se u slabo kiselim, neutralnim i lužnatim otopinama koriste katodni taložni inhibitori. Bez obzira na koncentraciju, katodni inhibitori ne mogu izazvati rupičastu koroziju [1,3].

**Mješoviti inhibitori** usporavaju i katodnu i anodnu reakciju, a čine ih organski spojevi koji se adsorbiraju na površinu metala te „gomilanjem“ stvaraju zaštitne filmove. Najvažniji predstavnici inhibitora ovog tipa su želatina, agar-agar, škrob, tanin, K-glukonat [1,3].

**Hlapivi inhibitori korozije (VCI)** čine posebnu skupinu inhibitora koji se često koriste za zaštitu čeličnih konstrukcija od atmosferske korozije prilikom transporta i skladištenja (zaštita elektronike, pješačkog naoružanja i sl.).

To su organske tvari u čvrstom stanju koje imaju dovoljno visok tlak para da sublimiraju (izravno isparavanje iz čvrste faze) [3]. Mogu se koristiti u obliku praha ili natapanjem papira, odnosno spužvastih poliplasta, u njihove alkoholne otopine. Zaštitno djelovanje ovih inhibitora ostvaruje se isparavanjem, pri čemu VCI-i putuju prema metalnoj površini te pri dodiru s istom kondenziraju, čime se stvara tanki monomolekularni film koji putem ionskog djelovanja štiti metal. Molekule organskih inhibitora dipolne su, čime se pozitivni dio molekule veže za površinu, a negativni odbija vlagu i kisik iz okoline. Na slici 7 prikazan je primjer korištenja VCI inhibitora pri zaštiti elektronike [1,3].



Slika 7. Zaštita elektronike vrećicom impregniranom VCI inhibitorom [10]

### 3.4. Elektrokemijska zaštita

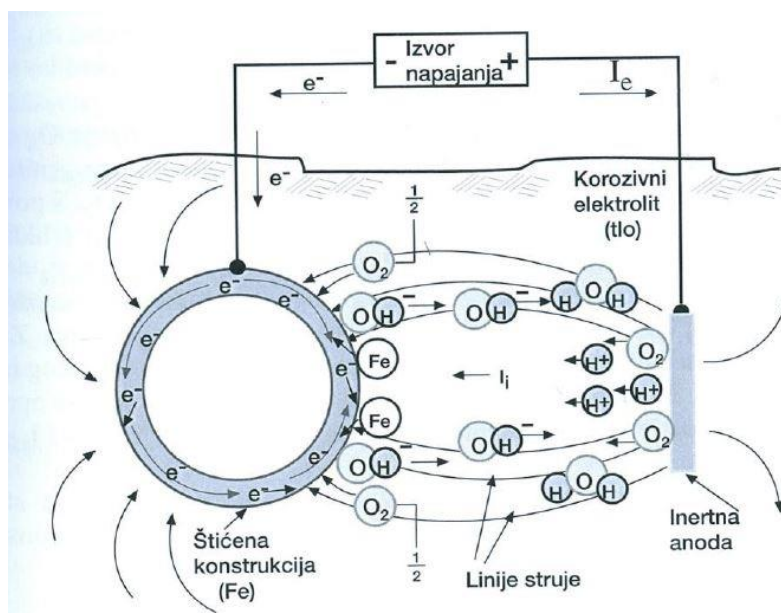
Elektrokemijske metode zaštite temelje se na održavanju metala u pasivnom stanju ili u imunom stanju, pri čemu neće korodirati. Ove metode zaštite nerijetko nalaze svoju primjenu pri zaštiti metalnih konstrukcija koje su uronjene ili ukopane (cjevovodi, brodovi, spremnici, rezervoari i sl.).

#### 3.4.1. Katodna zaštita

Katodna zaštita definirana je kao smanjenje, odnosno uklanjanje korozije metalnih konstrukcija tako da se ista učini električki negativnom na korozivni medij – konstrukcija postaje katoda. Postoje dvije tehnike katodne zaštite koje je moguće primijeniti: *katodna zaštita s žrtvovanom anodom (protektorska zaštita)* i *katodna zaštita s vanjskim izvorom struje*. Kako bi zaštita jednom od navedenih metoda bila moguća, konstrukcija (katoda) i protuelektroda (anoda) moraju istovremeno biti i u električnom i u elektrolitnom kontaktu. Kad se površina metala učini dovoljno negativnom tad se povećava koncentracija elektrona koji će ubrzati odvijanje katodne reakcije, a usporavati brzinu anodne reakcije [2]. Dakle, cilj katodne zaštite je brzinu anodne reakcije svesti na nulu čime se sprječava korozijski proces – kada je to ostvareno, cijela površina metala postaje katoda.

**Katodna zaštita uz vanjski izvor struje** uglavnom se primjenjuje u medijima vrlo visoke električne vodljivosti. Sustav ove metode zaštite sastoji se od izvora istosmjerne struje, regulacijskog uređaja, električnih vodiča i pomoćnih anoda. Na slici 8 shematski je prikazana katodna zaštita s vanjskim izvorom struje. Kao izvori istosmjerne struje koriste se uglavnom ispravljači izmjenične struje ili generatori istosmjerne struje. Pomoćne anode najčešće se izrađuju od grafita (nezatno trošenje, ali dosta lomljive) ili od čelika (jeftine su, čvrste i djelotvorne, ali imaju kratki vijek trajanja). Bitno je naglasiti da se anode u sustavu

katodne zaštite s „narinutom“ strujom ne troše (ili se troše neznatno), za razliku od protektorske katodne zaštite [2].



Slika 8. Katodna zaštita s vanjskim izvorom struje i inertnom anodom [2]

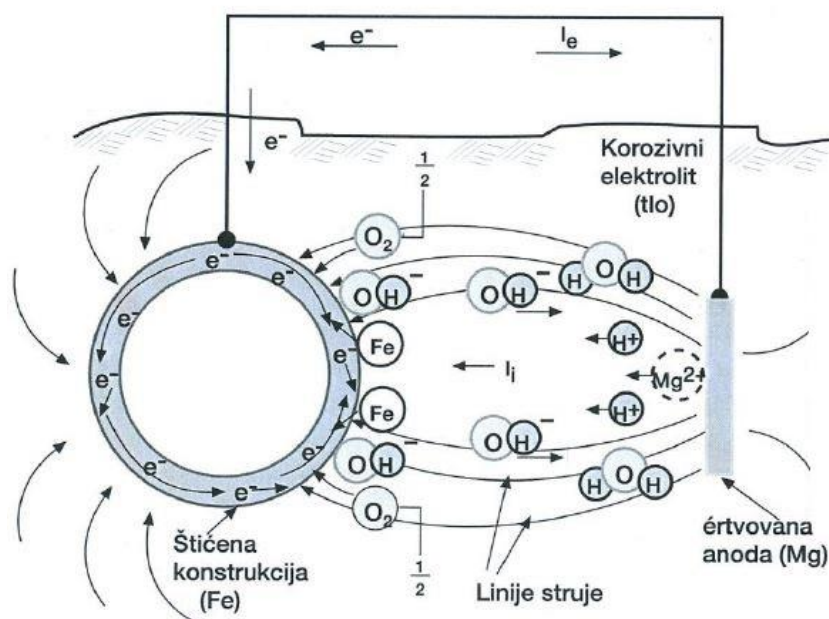
Katodna zaštita s vanjskim izvorom struje izvediva je na dva načina: **konstantnim potencijalom** (potenciostatskom metodom) ili **konstantnom strujom** (galvanostatskom metodom). Katodna zaštita uz konstantni potencijal temelji se na održavanju stalnog konstantnog zaštitnog potencijala  $E_z$  konstrukcije u odnosu na referentnu elektrodu, dok se katodna zaštita uz konstantnu struju temelji na održavanju konstantne struje zaštite  $I_z$ .

Karakteristike katodne zaštite s vanjskim izvorom struje [1,2]:

- početni visoki troškovi
- prejaka struja zaštite može oštetiti zaštitne premaze
- mogućnost regulacije struje i dometa zaštite
- mogućnost primjene katodne zaštite u slabije vodljivim medijima
- prezaštićenost dovodi do razvijanja vodika
- degradacija prevlake
- interferencije lutajućih struja.

**Katodna zaštita s žrtvovanom anodom** temelji se na direktnom električnom kontaktu dva raznovrsna metala uronjenih u isti elektrolit. Ovaj sustav zaštite analogan je korozijskom (galvanskom) članku gdje zbog različitih korozijskih potencijala u vanjskom strujnom krugu

teče elektronska struja, dok u elektrolitu teče ionska struja. Kako je anoda u sustavu zaštite ovakvog tipa izvor struje, dolazi do njenog trošenja – manje plemeniti metal žrtvovan je u korist metala koji želimo zaštititi. Budući da se anoda otapa (troši), potrebno je istu povremeno zamijeniti. Anode koje se najčešće koriste su od magnezija, cinka ili aluminija, ovisno o uvjetima primjene. Veličina zaštitne struje ovisi o razlici potencijala između anode i katode te o električnom otporu elektrolita. Na slici 9 prikazana je shema katodne zaštite s žrtvovanom anodom [1,2].



Slika 9. Katodna zaštita s žrtvovanom anodom [1]

Karakteristike katodne zaštite s žrtvovanom anodom [1,2]:

- jednostavnost ugradnje
- neovisnost o izvoru struje
- rjeđe kontroliranje
- neznatni utjecaj interferencije
- trošenje i zamjena anode
- zagađenje okoliša produktima korozije
- neprimjenjivost u sredinama s većim otporom
- relativno male zaštitne struje.

### 3.4.2. Anodna zaštita

Tehnika anodne zaštite temelji se na principu stvaranja i održavanja pasivnog sloja na površini konstrukcije. Zaštita konstrukcije postiže se njenom anodnom polarizacijom u područje potencijala u kojem postoji elektrokemijski i kemijski pasivni sloj. Kako je za zaštitu potreban pasivni sloj na površini materijala, ova tehnika se može primijeniti samo na metalima koji su skloni pasivaciji. To su: niskolegirani ugljični čelici, nehrđajući čelici, nikal, titan i drugi aktivno-pasivni metali. Pasivnost metalne površine postiže se anodnom strujom iz vanjskog izvora napajanja, dok se radni potencijal na kojem je pasivni sloj elektrokemijski postojan, održava pomoću potenciostata. Bitno je da se prilikom projektiranja anodne zaštite obrati pozornost na brzu pasivaciju pri početnoj anodizaciji, pri čemu valja voditi računa da se osigura dovoljan strujni kapacitet potenciostata (gustoća struje u početnom trenutku mora biti 2 do 3 puta veća od struje u pasivnom području) [2].

### 3.5. Zaštita prevlačenjem konstrukcijskog materijala

Zaštita prevlačenjem metoda je koja se danas najviše koristi u svrhu sprječavanja korozije metala. Princip djelovanja prevlaka je stvaranje barijere između osnovnog materijala i agresivne okoline. Prevlake mogu biti anorganske (metalne ili nemetalne) i organske (nemetalne). Uz primarnu zaštitu od korozije prevlake se mogu upotrijebiti i za zaštitu od mehaničkog trošenja, postizanje određenih fizikalnih svojstava, popravak loših dijelova ili pak zbog estetskog dojma [3,7].

#### 3.5.1. Zaštita metalnim prevlakama

Prevlačenje metalnim prevlakama, osim kao zaštita od korozije, može poslužiti te se često i koristi za povećanje tvrdoće na površini metala ili otpornosti na trošenje. Metalne prevlake mogu biti katodne ili anodne. Katodne prevlake dobre su samo ako su kompaktne, dok anodne, unatoč nekompaktnosti, pružaju korozijsku zaštitu (štite metal i mehanički i elektrokemijski). Najvažniji postupci metalnog prevlačenja su galvanizacija, vruće uranjanje i prskanje metala.

Postupak *galvanizacije* temelji se na elektrolizi ionskih otopina. Naime, obradak (katoda) i metal prevlake (anoda) uronjeni su u otopinu soli i spojeni na izvor istosmjernje struje pri čemu pridošli elektroni reduciraju ione metala u elektrolitu tvoreći galvansku prevlaku.

Prevlaka nastala **vrućim uranjanjem** ostvaruje se uranjanjem osnovnog metala u rastaljen metal prevlake, pri čemu nakon vađenja dolazi do skrućivanja tankog filma tog rastaljenog metala. Da bi postupak bio ostvariv, talište osnovnog metala mora biti znatno više od tališta prevlake.

**Vruće prskanje** – „šopiranje“, provodi se prskanjem rastaljenog metala na podlogu, pri čemu se kapljice spljošte, naglo ohlade i skrutnu čime dobivamo metalnu prevlaku [1,3,9].

### 3.5.2. **Zaštita nemetalnim anorganskim prevlakama**

Nemetalne anorganske prevlake na površinu osnovnog metala nanose se mehaničkim ili kemijskim putem. Najvažnije od njih su emajl te oksidne, fosfatne i kromatne prevlake. **Emajl** je staklena prevlaka koja se koristi za zaštitu metala u vrlo agresivnim okolinama. Nedostatak joj je krhkost i slabije prijanjanje na površinu metala. Jedan od najbitnijih procesa dobivanja **oksidnih prevlaka** je **bruniranje**, pri čemu na površini metala nastaje crni sloj magnetita. Postupak se često koristi pri obradi oružja i dijelova optičkih uređaja. **Fosfatiranje** je proces obrade metala u otopinama fosfata i fosforne kiseline poradi povećanja otpornosti prema atmosferskoj koroziji ili predobrade za bojenje i lakiranje [3]. Najčešća primjena fosfatiranja je na čeliku. **Kromatirane prevlake** ostvaruju zaštitnu funkciju pasiviranjem površine zbog prisutnosti kromatnog iona. Prednost kromatnog sloja je dobra prionjivost i korozijska zaštita, dok je glavni nedostatak štetan utjecaj na okoliš [1,3].

## 4. ZAŠTITA PREMAZIMA

Zaštita organskim prevlakama najzastupljenija je metoda zaštite konstrukcijskih materijala od korozije. U postupke zaštite organskim prevlakama spadaju [1]:

- nanošenje boja i lakova (premazi)
- plastificiranje
- gumiranje
- bitumenizacija
- konzervacija.

Od navedenih postupaka, najveću važnost i primjenu ima postupak nanošenja premaza koji je danas nezamjenjiv u projektiranju korozijske zaštite čeličnih konstrukcija. Premaz je općeniti naziv za jedan ili više međusobno povezanih slojeva na nekoj podlozi koji stvaraju „suhi“ film [3]. Lakovi se općenito razlikuju od boja većim sjajem, glatkoćom i tvrdoćom dobivene prevlake. S obzirom na svrhu njihovog nanošenja, premazi mogu biti zaštitni, dekorativni, dekorativno zaštitni ili specijalni premazi (za el. izolaciju, kitovi, protupožarni premazi itd.).

### 4.1. Komponente premaza

Sastavne komponente svih premaznih sredstava su [1]:

- vezivo
- otapalo
- pigmenti
- punila
- aditivi.

#### 4.1.1. Vezivo

Vezivo je od primarne važnosti za svojstva premaza jer tražena svojstva ovise upravo o kombinaciji veziva u premaznom sredstvu. To su organske nehlapljive tvari koje povezuju sve komponente premaza te čine tvrdi opnu prevlake. Neka od najvažnijih veziva su sušiva ulja, alkidne smole, epoksidne smole, poliuretani, akrilatna veziva, vinilne smole, nezasićeni poliesteri te silikonska veziva.

**Sušiva ulja** dobivaju se iz lana, odnosno tropskih drveća te otvrdnjavaju polimerizacijom uz djelovanje kisika. Uljne boje imaju nisku viskoznost, a dobiveni premazi su žilavi, nepostojani na visokim temperaturama te je vrijeme sušenja relativno dugo.

Premazi na bazi **alkidnih smola**, nisu sušivi na zraku što nakon ispravanja zahtjeva njihovo pečenje da bi kemijski otvrdnuli. Čisti alkidni premazi daju tvrde i glatke prevlake, postoje u atmosferi i slatkoj vodi. Iz tog se razloga, alkidi često modificiraju drugim vezivima kako bi im se poboljšala svojstva kao što su žilavost (dodaju se ulja), postojanost u otopinama (dodaju se epoksidne smole, poliuretani i akrilati), otpornost na abraziju i sl.

**Epoksidne smole** čine vezivo za jednokomponentna premazna sredstva koja se peku, ili pak za dvokomponentna koja otvrdnjavaju katalitički ili pečenjem. Premazi na bazi epoksidnih smola visoke su tvrdoće, dobrih mehaničkih svojstava, male vodopropusnosti, otporni su na trošenje i abraziju. Nedostatak im je sklonost krdanju usred djelovanja ultraljubičastih zraka. Otporni su na kemikalije i postojani pri povišenim temperaturama.

Premazna sredstva na bazi **poliuretana** mogu biti jedno komponentna ili dvokomponentna. Svojstva dobivenih premaza su izuzetna tvrdoća, dobra mehanička svojstva, kvalitetna zaštita i estetski dojam te velika zahtjevnost pri aplikaciji. Koriste se na površinama koje su izložene ekstremnim uvjetima eksploatacije.

**Akrilatna veziva** dijele se na termoplastična i duromerna. Premazi na bazi termoplastičnih smola posjeduju dobra mehanička svojstva te postojanost u razrijeđenim kiselinama i lužinama. Premazi na bazi duromernih smola su pak, uz nešto višu tvrdoću od onih na bazi termoplastičnih smola, slabije postojani u otopinama [1,3,11].

#### **4.1.2. Otapala**

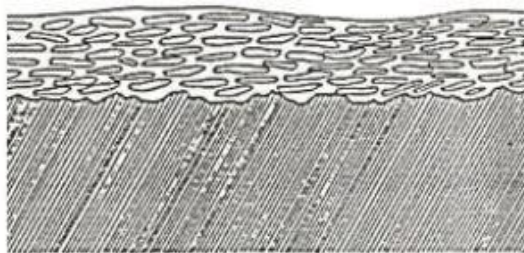
Otapala su niskoviskozne lako hlapive smjese na osnovi alifatskih, aromatskih i kloriranih ugljikovodika, alkohola, ketona i estera [1]. Čine hlapljivi dio medija, što znači da tijekom sušenja premaza, odnosno otvrdnjavanja trebaju ispariti. Upotrebljavaju se za postizanje potrebne viskoznosti zaštitnog sredstva. Otapalo se dodaje u boju pri samoj proizvodnji, dok se razrjeđivač, koji je po sastavu ista tvar kao i otapalo, može dodati naknadno da bi se postigla željena viskoznost. Izbor otapala najčešće se vrši prema svojstvima istog, a to su sposobnost otapanja, vrelište, hlapivost, točka plamišta, cijena i otrovnost [3],[11].

#### **4.1.3. Pigmenti**

Pigmenti su komponente u premazu koje istom daju nijansu i čine ga neprozirnim. Također, zaštitna i mehanička svojstva premaznog sredstva poboljšavaju se korištenjem



odgovarajućeg pigmenta. S obzirom na mehanizam zaštitnog djelovanja, pigmenti mogu biti aktivni i inertni. Aktivni pigmenti se koriste u temeljnom premazu, a zaštitno djelovanje može biti pasivirajuće, inhibitorsko, neutralizirajuće i djelovanje katodnom zaštitom. Inertni pigmenti zaštitno djelovanje postižu formiranjem barijere prema okolini (ostvaruje se debelim premazima). Najvažniji inertni pigmenti su tzv. listićavi pigmenti, koji su prikazani slikom 10, gdje su pigmenti u listićima orijentirani paralelno s površinom čime se znatno otežava put vode do zaštićene površine [1].



**Slika 10. Listićavi pigmenti u premazu [1]**

#### **4.1.4. Punila**

Punila su tvari koje dodane u premazno sredstvo bitno snižavaju cijenu istoga. Također, poboljšavaju mehanička i kemijska svojstva premaza, te djeluju kao dodatna zaštita od korozije zbog poboljšanja učinka barijere prema vodi i agresivnim plinovima. Uz navedene pozitivne učinke, punila se u premaz dodaju radi poboljšanja svojstva tečenja ili mazivosti, za sniženje i povišenje sjaja te kao ugušćivači. Potrebno je osigurati kompatibilnost punila s vezivom i sa podlogom na koju se premaz nanosi [3,11].

#### **4.1.5. Aditivi**

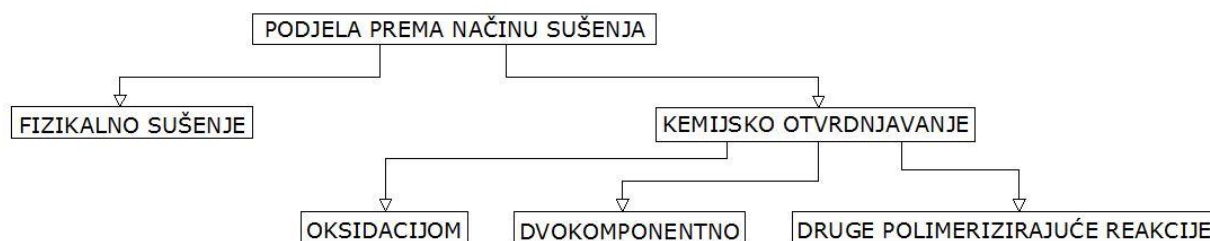
Aditivi, unatoč maloj koncentraciji u kojoj se dodaju premaznom sredstvu (manje od 5 %), bitno poboljšavaju njegova svojstva. S obzirom na svrhu njihove primjene, aditivi se mogu dodavati da se spriječe nedostaci premaza (poput sporog sušenja, pjenjenja prilikom miješanja boje, stvaranja „kože“ na površini premaza i sl.), odnosno da premazi nakon sušenja posjeduju određena specijalna svojstva. Aditivi se mogu upotrebljavati kao [1]:

- katalizatori umrežavanja (ubrzano sušenje)
- organski inhibitori korozije
- organska bojila
- površinski aktivne tvari
- stabilizatori

- antioksidansi.

#### 4.2. Podjela premaza prema načinu sušenja

Podjela premaza prema načinu sušenja najvažnija je podjela premaza te je prikazana slikom 11.



Slika 11. Podjela premaza prema načinu sušenja [1]

**Fizikalnim sušenjem** film se stvara isključivo isparavanjem otapala zbog čega je odabir istog od velike važnosti. U prvoj fazi otapalo ishlapljuje sa površine, čime počinje stvaranje polimera veće koncentracije. Nakon toga slijedi daljnje isparavanje otapala difuzijom kroz već nastale polimerne otopine. Na kraju sušenja otapalo u potpunosti ispari čime se formira suhi film na površini metala.

Prilikom **oksidacijskog sušenja** otapalo hlapi, a film nastaje reakcijom kisika sa vezivom. Oksidacijskom sušenju podvrgnuta su razna ulja te je vrijeme sušenja uglavnom duže i ovisi o temperaturi.

Kod **dvokomponentnog sušenja**, uz osnovu boju, u sastavu se nalazi i sredstvo za otvrdnjavanje gdje se stvaranje filma ostvaruje kemijskom reakcijom između veziva i komponente za otvrdnjavanje uz prethodno isparavanje otapala.

**Ostali mehanizmi sušenja** film ostvaruju reakcijom veziva s vlagom, reakcijom s CO<sub>2</sub> iz zraka ili polimerizacijom pri povišenim temperaturama [1,3].

#### 4.3. Priprema površine

Priprema površine od velike je važnosti za trajnost premaza jer se pravilnim odmaščivanjem i kondicioniranjem (ostvarivanjem potrebne hrapavosti) površine ostvaruje prionjivost i kvalitetna zaštitna svojstva premaznog sredstva. Sastoji se od uklanjanja masnoća, korozivskih produkata, raznih nečistoća, skidanja okujine i sl.

Prije samog nanošenja boje na podlogu, potrebno je izvršiti operacije odmašćivanja te mehaničkih i kemijskih operacija predobrade.

**Odmašćivanje** se provodi u svrhu dobre prionjivosti prevlake na podlogu koja se zaštićuje. Do nakupljanja masnoća na površini metala uglavnom dolazi usred rukovanja proizvodom masnim rukama, tijekom obrade odvajanjem čestica preko sredstva za podmazivanje i ispiranje ili pak prilikom konzerviranja. Kao sredstva za odmašćivanje koriste se organska otapala, razne otopine, emulzije i sl.

**Ručno mehaničko čišćenje** koristi se za male dijelove površine, uglavnom tamo gdje nisu primjenjivi ostali postupci čišćenja te kao takvi ne predstavljaju kvalitetnu predobradu čišćenja. Uglavnom se primjenjuju četke, brusni papir i sl.

**Strojno mehaničko čišćenje** predstavlja produktivniji i kvalitetniji postupak čišćenja površine. Površine se obrađuju uglavnom alatima na električni ili pneumatski pogon kao što su razne brusilice, rotacijske četke, čekići i sl.

**Čišćenje mlazom abraziva** ostvaruje se djelovanjem sitnih abrazivnih čestica na površinu metala. Kinetičku energiju potrebnu za abraziju čestice ostvaruju komprimiranim zrakom ili centrifugalnom silom pomoću turbine. Dobiva se čista i nahrapavljena površina, bez okujine i korozijskih produkata.

**Kemijsko čišćenje** provodi se „nagrizanjem“, odnosno otapanjem korozijskih produkata u kiselim ili lužnatim otopinama te u talinama [1,3].

## 5. VODORAZRJEDIVI PREMAZI

Kako je zaštita čeličnih konstrukcija premaznim sredstvima najraširenija metoda korozijske protekcije, kvaliteta aplikacije premaza mora biti na visokom nivou. Priprema površine i nanošenje boje na štíćenu podlogu moraju biti ispravno izvedeni da bi se ostvarila trajnost korozijske zaštite i svojstava premaza. Uz zahtjeve visoke kvalitete, premazna sredstva u današnje vrijeme moraju zadovoljiti zahtjeve neštetnosti na okoliš i čovjeka. Zakonske regulative sve su strože pa se proizvođači okreću premaznim sredstvima koje sadrže manju ili neznatnu količinu organskih otapala, čime bi se znatno smanjio štetan utjecaj na okoliš. Među tzv. „prijatelje okoliša“ (premazna sredstva kojima se smanjuje zagađenje okoliša) spadaju [1]:

- vodorazrjedivi premazi
- premazi s visokim udjelom suhe tvari i bezotapalni sustavi premaza
- praškasti premazi
- premazi za sušenje zračenjem.

Od navedenih skupina, vodorazrjedivi premazi imaju najveću primjenu te se njihova svojstva, a s time i primjenjivost, razvijaju već duži niz godina pa sve do danas. Osim što su organska otapala otrovna za ljude i okoliš, također su vrlo zapaljiva, što zamjenu otapala vodom čini jednom od najpogodnijih solucija. Razvoj vodorazrjedivih premaza počeo je 1950. godine usred donošenja strožih zakonskih regulativa očuvanja okoliša. Dakako, sa mnoštvom mana i lošijih karakteristika od premaza sa organskim otapalima, vodorazrjedivi premazi nisu mogli opstati na tržištu. Od tada pa do danas razvijena su mnoga vodorazrjediva premazna sredstva koja, osim ekološki pozitivnog utjecaja, posjeduju vrlo dobra antikorozivna svojstva u raznim korozijskim sredinama [3,12].

Usred brojnih istraživanja i eksperimentalnih radova u svrhu poboljšanja svojstava vodorazrjedivih premaza, područja primjene istih u današnje vrijeme zauzima širok spektar. Vodorazrjedivi premazi primjenjuju se za bojenje raznih čeličnih konstrukcija, mostova, spremnika, transportnih kontejnera, automobilskih dijelova, poljoprivrednih strojeva, metalnog namještaja, željezničkih vagona itd. Primjena istih u teškoj industriji još je uvijek ograničena te je njihov udio u zaštiti malen [3].

Tablicom 2 prikazan je trend u industriji premaza u Europskoj uniji.

**Tablica 2. Trend u industriji premaza u Europskoj uniji [1]**

Tehnologija proizvodnje	1997	2002	2007
Konvencionalni premazi sa otapalima	56,8 %	50,5 %	46,3 %
Praškasti premazi	13,2 %	16,0 %	18,1 %
Vodeni premazi	12,0 %	15,3 %	17,2 %
Premazi sa velikim sadržajem suhe tvari	14,0 %	14,1 %	14,2 %
UV otvrdnjavajući premazi	4,0 %	5,1 %	4,2 %

Tablicom 3 prikazana je usporedba svojstava novije generacije (2006. godina) epoksidnog vodorazrjedivog premaza te klasičnog epoksidnog premaza sa organskim otapalom. Iz tablice možemo vidjeti kako su određena svojstva vodorazrjedivog premaza bolja u odnosu na premaz koji koristi organska otapala. Kod vodorazrjedivog premaza ostvaruje se brže sušenje, brže otvrdnuće, veća otpornost na slanu maglu te smanjena emisija hlapivih organskih tvari (HOS). Ostale karakteristike su približno iste [12]

**Tablica 3. Usporedba vodorazrjedivog premaza i premaza sa organskim otapalom [12]**

KARAKTERISTIKE	"TIP 5" VODORAZRJEDIVI EPOKSIDNI PREMAZ	EPOKSIDNI PREMAZ SA ORGANSKIM OTAPALOM
emisija HOS-a	1,02	3,7
vrijeme sušenja [sati]	4	8,5
tvrdća nakon 24h [mjereno olovkom]	2B	2B
tvrdća nakon 14 dana [mjereno olovkom]	H	F
otpornost na udar	140	160
1000 sati u slanoj magli	8F-6F	6F
otpornost prilikom uranjanja u vodu pri 25°C	>250	>250
broj trljanja krpom namočenom u agresivnu otopinu (double rubs)	>300	>300

Dobivanje vodorazrjedivih premaza složenije je nego dobivanje premaza na bazi otapala jer svaka komponenta ima posebnu funkciju. Bitno je odabrati takve komponente koje ne ometaju stvaranje filma, koje pružaju dobra zaštitna svojstva stvarajući barijeru između premaza i okoline te koje pružaju korozijsku otpornost [3].

## **5.1. Vrste vodorazrjedivih premaza**

Vodorazrjedivi premazi mogu se svrstati u tri glavne skupine [3]:

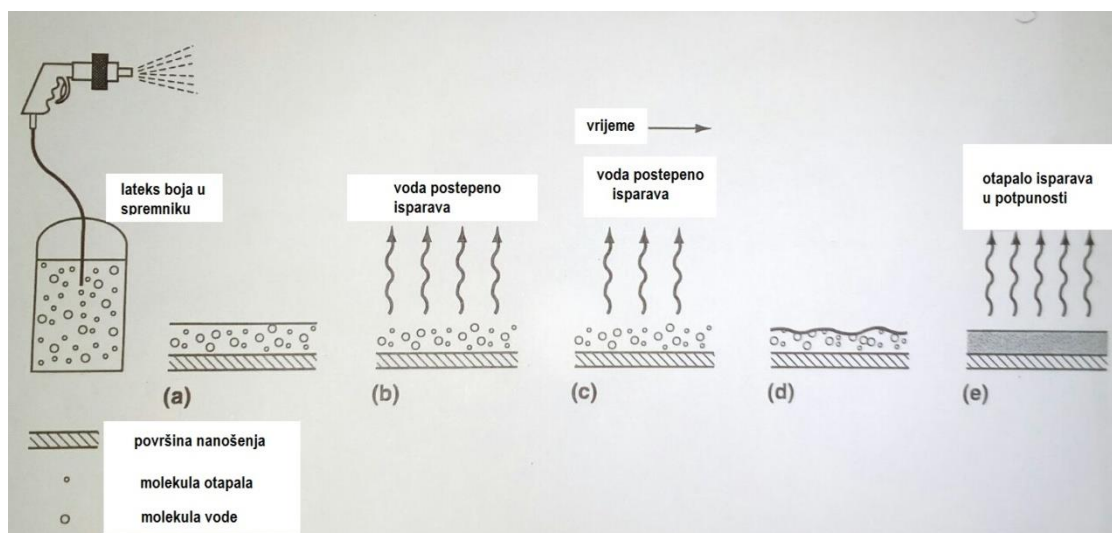
- vodotopljive smole
- vodene disperzije (lateksi)
- vodene emulzije.

### **5.1.1. Vodotopljive smole**

Smole u ovakvim premazima sastoje se od polimera niske molekulske mase i nisu topive u vodi. Iz tog je razloga bitno ostvariti vodotopivost dodavanjem organskih derivata na bazi amonijaka – amina, koji tada omogućuju miješanje polimera sa vodom. Amini tijekom formiranja filma premaza hlape, pri čemu premaz postaje netopiv u vodi. Vodotopljive smole sadrže relativno velik udio otapala (do 15 %) koji, zajedno s vodom, isparavaju tijekom sušenja. Isparavanje vode ovisi o relativnoj vlažnosti zraka, pri čemu je s porastom vlažnosti zraka isparavanje otežano i sušenje traje predugo. Ako se sušenje provodi pri povišenoj temperaturi, bitno je da sva voda ispari prije reakcije umrežavanja. To se vrši ostavljanjem premaza na zraku prije stavljanja u pećnicu, kako ne bi došlo do reakcija umrežavanja prije nego što voda ispari iz premaznog sredstva [3,13].

### **5.1.2. Vodene disperzije**

Vodne disperzije odnosno lateksi su disperzije krutih polimernih čestica u vodi. Sadrže manju količinu otapala koja služe da bi se polimerne čestice lakše spojile nakon što voda ispari iz premaza. Naime, nakon što se nanese premazno sredstvo, voda isparava te omjer otapala i vode u premazu raste, čime dolazi do zbijanja polimernih čestica. Nakon što sva voda ispari, otapalo „rastapa“ i spaja polimerne čestice te u određenom vremenskom periodu hlapi, čime nastaje čvrsti i suhi film. Shematski prikaz formiranja filma prikazan je slikom 12 [3,13].



Slika 12. Shematski prikaz formiranja filma vodenih disperzija [13]

### 5.1.3. Vodene emulzije

Vodene emulzije sastoje se od disperzije tekućine u tekućini, odnosno sitnih čestica polimerne tvari raspršenima u vodi. Kako bi nakupine polimernih čestica bile održive, potrebna je stabilizacija veziva, što se ostvaruje dodavanjem određene emulzije. Vodene emulzije, u odnosu na ostale skupine vodorazrjedivih premaza, imaju dobra mehanička i kemijska svojstva te najveću trajnost [3].

## 5.2. Prednosti i nedostaci vodorazrjedivih premaza

Prednosti vodorazrjedivih premaza su [1,3]:

- smanjena emisija hlapivih organskih spojeva u okoliš
- mogu se rabiti konvencionalni primjenski postupci
- mogućnost primjene na različitim materijalima
- kraći međupremazni interval
- manja otrovnost i miris
- manja zapaljivost
- smanjen ili eliminiran opasan rad
- lako čišćenje
- ostatak osušene boje može se odložiti kao bezopasan otpad.

Nedostaci vodorazrjedivih premaza su [1,3]:

- osjetljivost na temperaturu nanošenja

- osjetljivost na visoku vlagu
- sklonost pjenjenju
- zahtjevaju čistu površinu, bez masnoća i prašine
- ograničeno dobivanje visokosjajnih površina
- smanjena korozijska otpornost prema agresivnim medijima
- manja temperaturna otpornost
- posude za skladištenje te alati za proizvodnju moraju biti od nehrđajućeg čelika radi prisutnosti vode
- viša cijena.

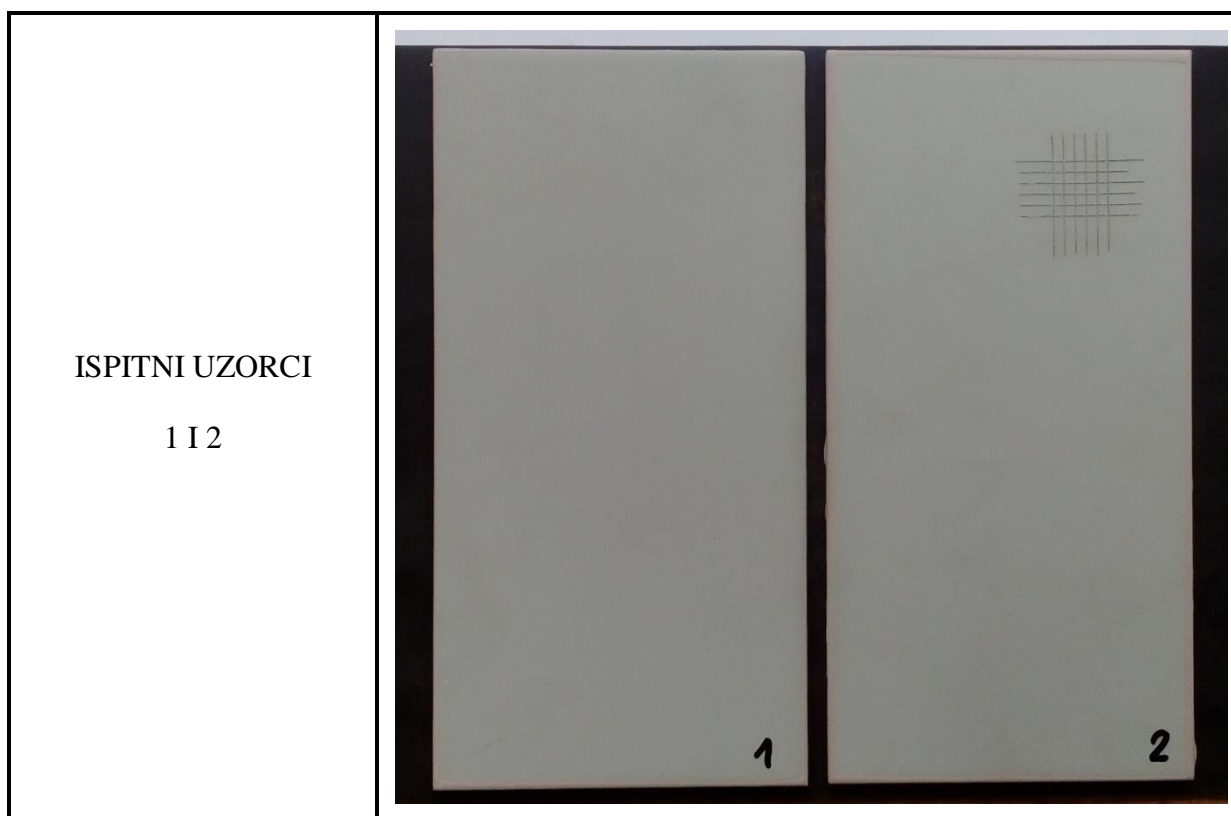


## 6. EKSPERIMENTALNI DIO

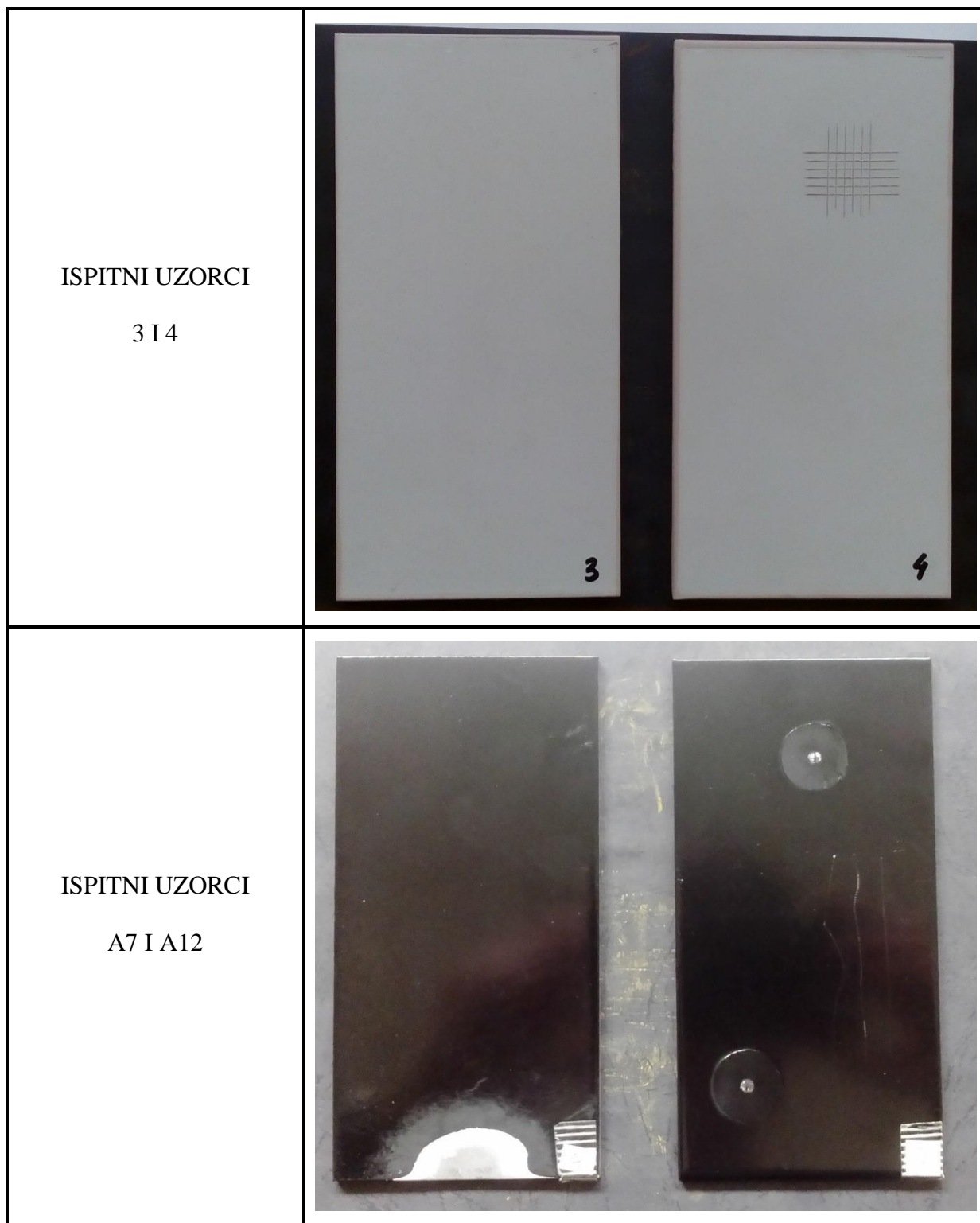
U eksperimentalnom dijelu rada određena su fizikalna i kemijska svojstva uzoraka vodorazrjedivih premaza. Provedena su ispitivanja debljine suhog filma premaza, prionjivosti premaza prije i nakon ispitivanja u slanoj komori, tvrdoće premaza, otpornosti na udar, sjaja i RAL nijanse te otpornosti prema agresivnim otopinama. Sva ispitivanja provedena su u laboratoriju Katedre za zaštitu materijala Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

### 6.1. Ispitni uzorci

Za provedeno ispitivanje, korištene su prethodno pripremljene pločice od ugljičnog čelika, zaštićene s vodorazrjedivim premazom. Ispitana su 3 različita tipa premaza različitih proizvođača. Slikom 13 prikazani su navedeni ispitni uzorci dok su tablicom 4 prikazane vrste premaza na ispitnim uzorcima.



Slika 13. Ispitni uzorci [14]



Slika 13. Ispitni uzorci (nastavak)

Tablica 4. Vrste premaza ispitnih uzoraka [14]

Oznake uzoraka	Sustav premaza	Vrsta premaza
1	temeljni	epoksid
2		
3	temeljni + završni	epoksid + akril
4		
A7	temeljni + završni	epoksid + PUR
A12		

## 6.2. Ispitivanje debljine suhog filma premaza

Kako debljina premaza direktno utječe na korozijsku otpornost, gdje se povećanjem debljine sloja premaza povećava učinak barijere između okoline i površine nanošenja, ispitivanje debljine suhog sloja premaza tako predstavlja vrlo važan parametar za određivanje kvalitete izolacije metalne površine. Uz korozijsku otpornost, također vrlo važan parametar koji sa sobom nosi debljina sloja premaza su i proizvodni troškovi, koji povećanjem debljine sloja rastu. Zbog navedenih razloga vrlo je važno da se pouzdano odredi minimalna debljina sloja premaza. Metode ispitivanja debljine suhog sloja filma premaza mogu biti destruktivne, odnosno nedestruktivne, a ovise o [15]:

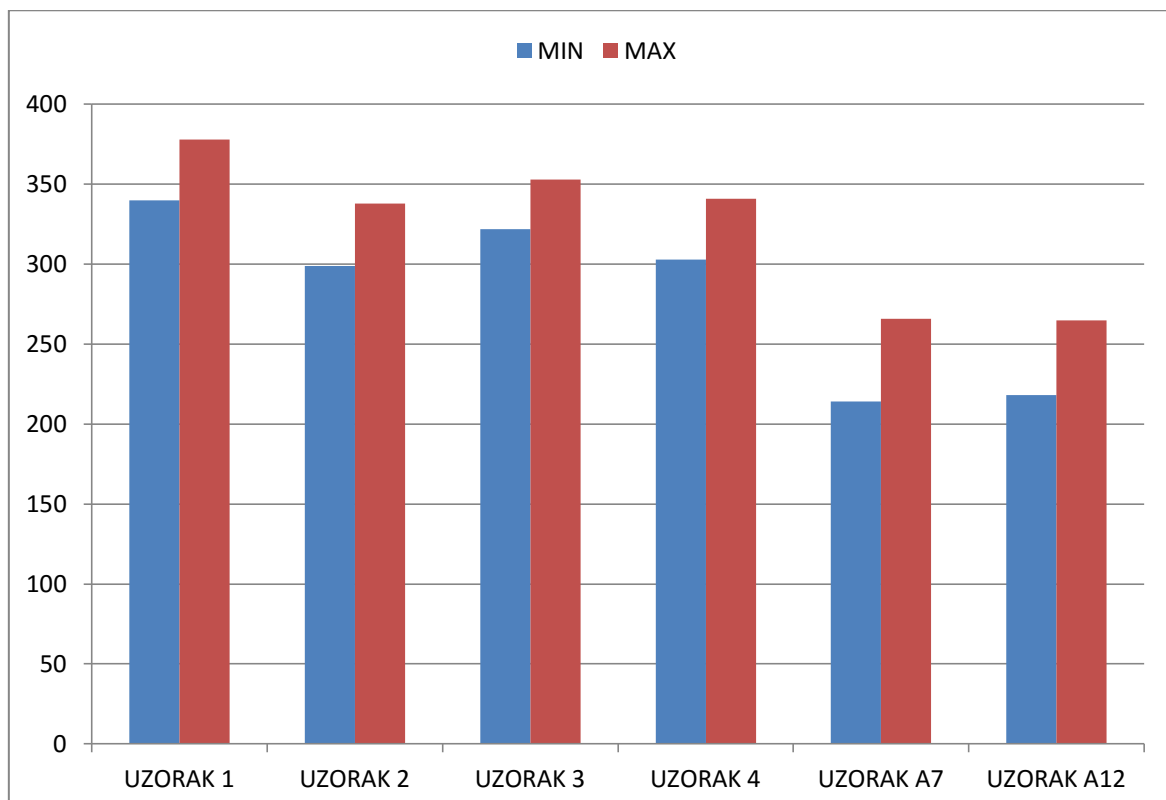
- lokaciji
- materijalu koji se premazuje
- uvjetima premazivanja
- stanju površine.

Ispitivanje u ovom radu provedeno je prema normi ISO 2808. Mjerenje je provedeno uređajem Elcometer 456 za mjerenje debljine premaza na magnetskim i nemagnetskim podlogama. Uređaj i način mjerenja debljine prikazano je slikom 14.



Slika 14. Uređaj za mjerenje debljine suhog sloja premaza [14]

Nakon izvršenih 10 mjerenja na svakom uzorku, podaci su preneseni na računalo gdje su statistički obrađeni. Debljine premaza prikazane su slikom 15, dok su statistički podaci prikazani tablicom 5.



Slika 15. Grafički prikaz debljina premaza

**Tablica 5. Statistički podaci mjerenja debljine premaza [14]**

UZORAK	MINIMUM [μm]	MAKSIMUM [μm]	SREDNJA VRIJEDNOST [μm]	STANDARDNA DEVIJACIJA [μm]
1	340	378	361,7	12,01
2	299	338	322,5	11,66
3	322	353	340,2	9,39
4	303	341	322,9	12,56
A17	214	266	243,7	16,84
A12	218	265	245,7	14,75

### **Analiza rezultata mjerenja debljine premaza**

Iz priloženih rezultata mjerenja možemo zaključiti kako su uzorci A7 i A12 znatno manje debljine negoli ostali uzorci. Također, vidljivo je da prosječna odstupanja debljine od srednje vrijednosti nisu velika, što nam govori da su premazi relativno dobro nanošeni na podlogu.

## **6.3. Ispitivanje sjaja i određivanje nijanse premaza**

### **6.3.1. Ispitivanje sjaja premaza**

Ispitivanje sjaja premaza provedeno je prema normi ISO 2813. Sjaj se mjerio pomoću refleksije svjetlosne zrake koja pada na određenu površinu, odnosno mjerila se jačina reflektiranog svjetla od površine koja se ispitala. Mjerenja se provode pod kutom osvjetljavanja od 20°, 60° ili 85°. Kut od 60° koristi se za predmete srednjeg sjaja (10-70 jedinica GU), kut od 20° koristi se za predmete visokog sjaja (>70 jedinica GU), a kut od 85° koristi se za predmete niskog sjaja (<10 jedinica GU). Baždarenje instrumenta provodi se etalonom crnog tijela. Nakon što se etalonom odredi vrijednost 100% sjaja, uzorci se mjere i vrijednosti se izražavaju u postotku prema etalonu [15].

Instrument za mjerenje sjaja marke TQC i postupak mjerenja prikazani su slikom 16, dok je tablicom 6 dan prikaz izmjerenih vrijednosti sjaja za sve ispitne uzorke.



Slika 16. Instrument i postupak mjerenja sjaja [14]

Tablica 6. Izmjerene vrijednosti sjaja ispitnih uzoraka [14]

	MJERNI KUT	1. MJERENJE [GU]	2. MJERENJE [GU]	3. MJERENJE [GU]
MJERNI ETALON	20°	96,3	-	-
	60°	97	-	-
	85°	101,4	-	-
UZORAK 1	20°	1,0	0,9	0,9
	60°	4,9	4,4	4,8
	85°	32,1	30,3	34,6
UZORAK 2	20°	0,8	0,8	1,1
	60°	3,6	4,0	5,1
	85°	18,7	26,5	30,1
UZORAK 3	20°	13,8	13,2	14,4
	60°	56,2	52,0	54,7
	85°	67,5	79,4	70,7
UZORAK 4	20°	14,5	11,7	12,0
	60°	55,5	55,0	46,5
	85°	68,5	40,7	63,1
UZORAK A7	20°	24,2	24,0	22,6
	60°	55,9	56,2	52,8
	85°	100,0	100,0	99,4
UZORAK A12	20°	13,9	15,2	14,1
	60°	50,0	50,8	49,1
	85°	94,0	91,5	95,4

### 6.3.2. Određivanje nijanse premaza prema RAL-u

Određivanje nijanse premaza provedeno je prema RAL-u. RAL je registar za usklađivanje boja koji se koristi u Europi. Registar RAL-840 HR sastoji se od 158 kartica raznih nijansi premaza [15]:

- žuta RAL 1000 – 1032,
- narančasta RAL 2000 – 2008,
- crvena RAL 3000 – 3027,
- ljubičasta RAL 4000 – 4007,
- plava RAL 5000 – 5022,
- zelena RAL 6000 – 6029,
- siva RAL 7000 – 7039,
- smeđa RAL 8000 – 8025,
- bijela RAL 9000 – 9018.

Određivanje nijanse provodi se pomoću kartica koje se sastoje od raznih nijansi, pri čemu je RAL premaza ona nijansa na kartici koja se najviše podudara sa nijansom premaza. Kartice za određivanje RAL-a prikazane su slikom 17. Boje i RAL vrijednosti premaza dane su u tablici 7.



Slika 17. Kartice za određivanje RAL-a [14]

**Tablica 7. Boje i RAL vrijednosti premaza [14]**

UZORAK	BOJA	RAL
1 i 2	siva	7047
3 i 4	siva	7047
A7 i A12	crna	9005

**Analiza rezultata mjerenja sjaja i RAL nijanse**

Iz tablice rezultata mjerenja sjaja jasno je vidljivo da uzorci A7 i A12 pokazuju najveće vrijednosti izmjenjenog sjaja, čime površinu istih smatramo kao površinu visokog sjaja. Uzrok tome je završni poliuretanski premaz koji daje postojanu nijansu i sjaj. Uzorci 3 i 4 pokazuju srednje vrijednosti sjaja, dok su uzorci 1 i 2 površine niskog sjaja.

Određivanjem nijanse prema RAL-u zaključujemo da su uzorci 1, 2, 3 i 4 „sivkaste boje“, dok su uzorci A7 i A12 crne nijanse.

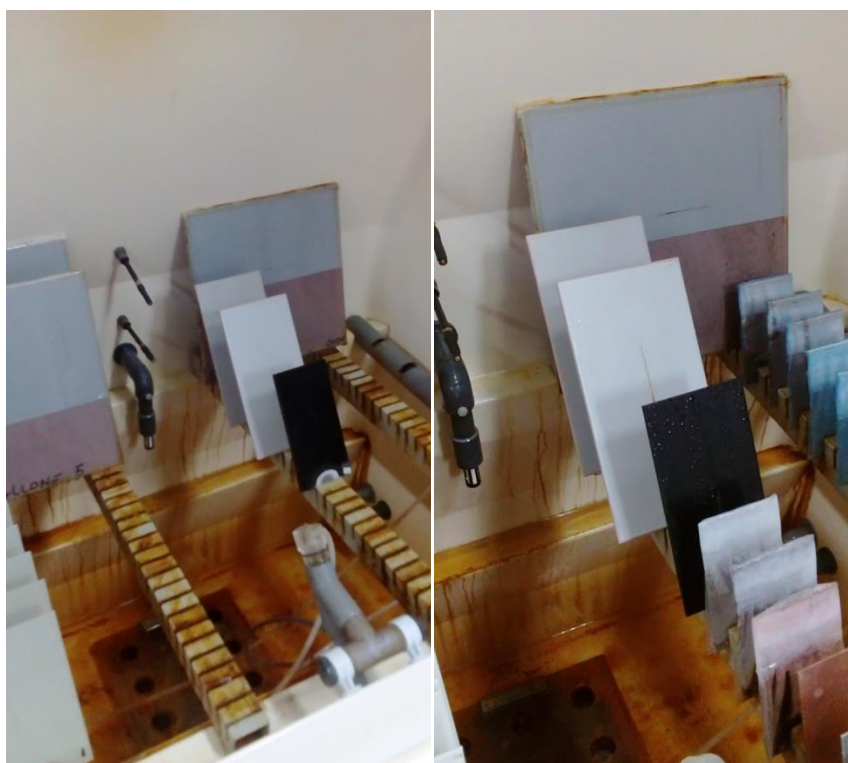
**6.4. Ispitivanje u slanoj komori**

Ispitivanje u slanoj komori provedeno je prema normi HRN ISO 9227. Prilikom ispitivanja korištena je slana komora Ascott, model S450. Ispitni uzorci koji su podvrgnuti ispitivanju prije stavljanja u komoru zarezani su skalpelom radi ubrzanja procesa korozije, odnosno da bi se utvrdilo širenje korozije iz „ureza prema van“. Na slici 18 prikazani su ispitni uzorci prije stavljanja u slanu komoru. Uzorci koji su ispitivani u slanoj komori su uzorak 1, uzorak 2 i uzorak A7. Slikom 19 prikazani su ispitni uzorci u slanoj komori prije, odnosno nakon ispitivanja.



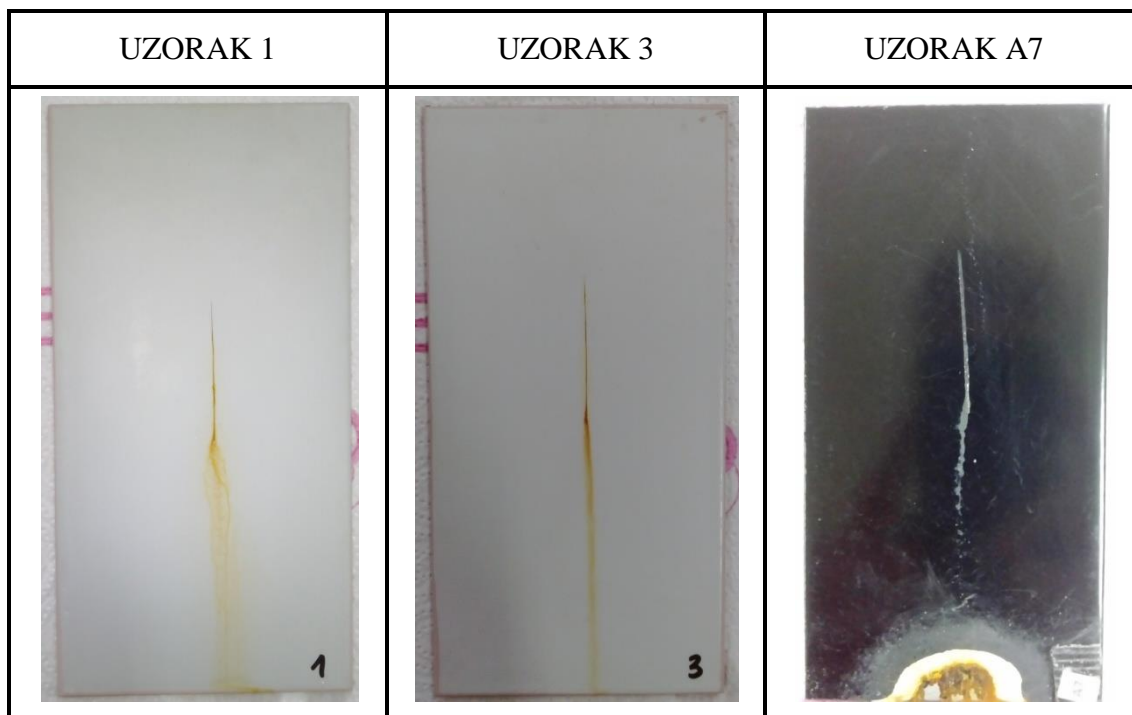


Slika 18. Ispitni uzorci prije stavljanja u slanu komoru [14]



Slika 19. Ispitni uzorci prije (lijevo) i nakon (desno) ispitivanja [14]

Ispitivanje u slanoj komori prevedeno je u vremenskom periodu od 10 dana (240 h), a uzorci nakon vađenja iz komore prikazani su slikom 20.



Slika 20. Uzorci nakon ispitivanja u slanoj komori [14]

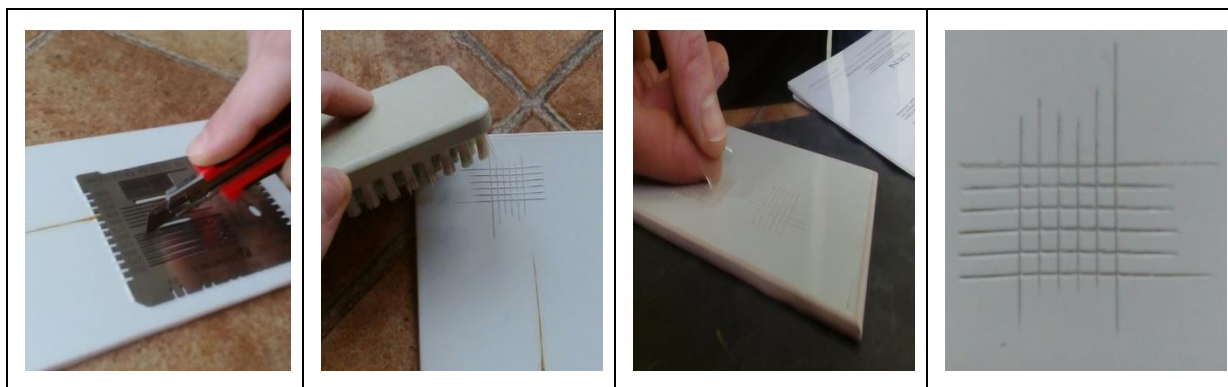
### **Analiza rezultata ispitivanja u slanoj komori**

Ispitivanje je pokazalo vidljive korozijske produkte uzduž linije zarezavanja, no nije se dogodilo nikakvo bubrenje i izobličenja premaza, čime možemo reći da su se vodorazredivi premazi pokazali postojanim u uvjetima slane atmosfere.

### **6.5. Ispitivanje prionjivosti premaza**

Prionjivost je jedna od najbitnijih svojstava premaza, a ovisi o kvaliteti pripreme površine i o kompatibilnosti premaznih sredstava [15]. Kada se koristi određeni sustav premaza, prionjivost je potrebno osigurati pravilnim temeljnim slojem, odnosno prvi sloj koji se nanosi na površinu, uz čistoću i hrapavost površine, određuje svojstvo prionjivosti [1].

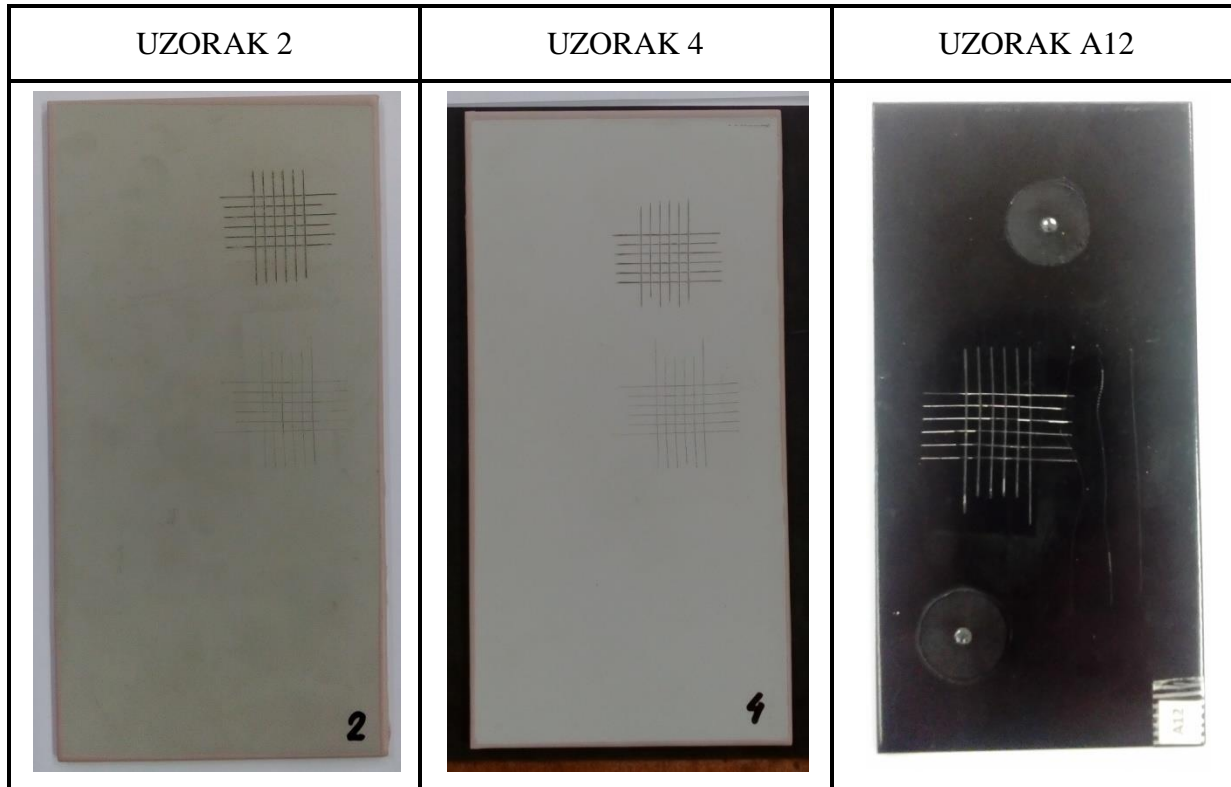
Ispitivanje prionjivosti premaza provedena su prema normi HRN ISO 2409. Metoda koja se koristi je destruktivna te se sastoji od urezivanja mrežice u premaz, za što nam je potreban skalpel, nakon čega se na mrežicu naljepljuje traka koja se naglo povuče te se promatra kvaliteta mrežnih očica. Postupak ispitivanja prionjivosti prikazan je slikom 21.



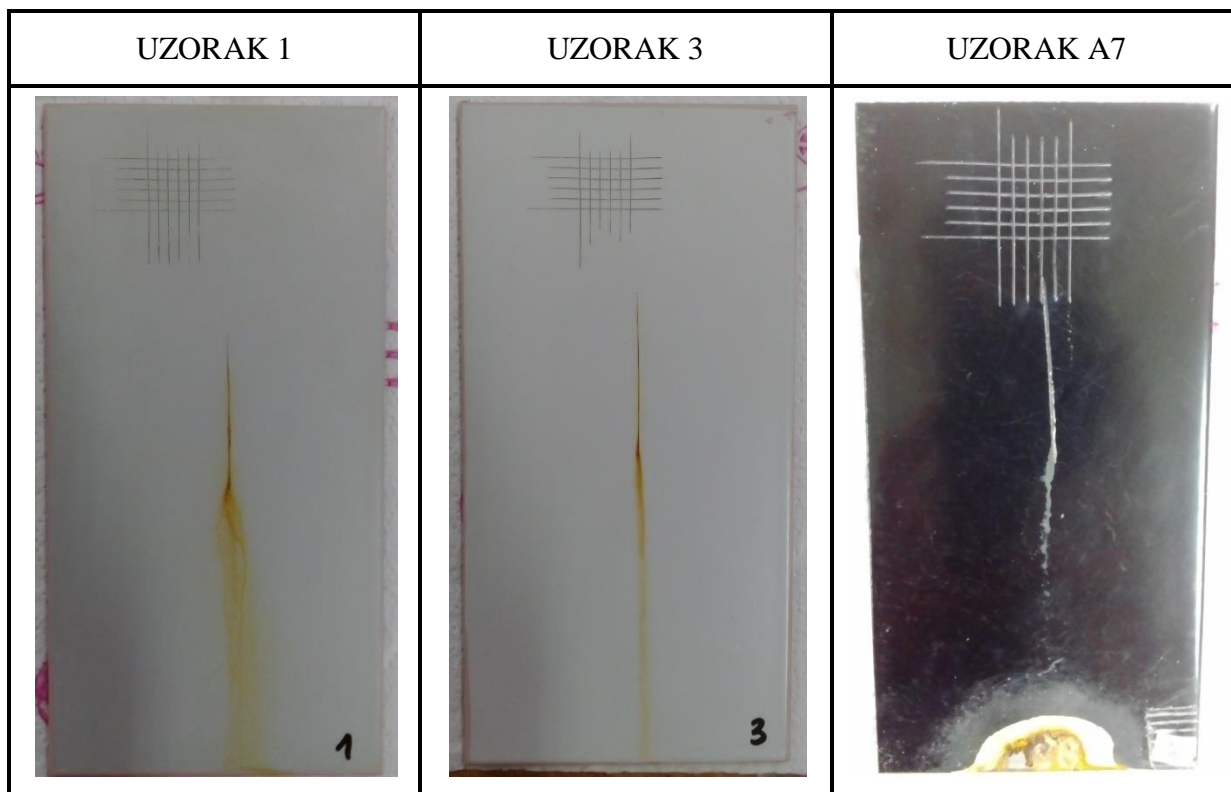
**Slika 21. Postupak ispitivanja prionjivosti -"cross cut" test [14]**

Ispitivanje prionjivosti provedeno je u dva dijela. Prvo ispitivanje odrađeno je na uzorcima 2, 4 i A12, a izgled površine nakon „cross cut“ testa prikazan je slikom 22.

Drugi dio ispitivanja proveden je na uzorcima koji su prije „cross cut“ testa bili 10 dana u slanoj komori. Cilj je bio odrediti utjecaj uvjeta slane komore na prionjivost premaza. Uzorci koji su bili ispitivani su 1, 3 i A7, a izgleda površine nakon „cross cut“ testa prikazan je slikom 23.



**Slika 22. Površina uzoraka nakon ispitivanja prionjivosti (prije slane komore) [14]**



Slika 23. Površina uzoraka nakon ispitivanja prionjivosti (nakon slane komore) [14]

Nakon provedenih ispitivanja kvaliteta površine se određuje prema tablici na slici 24, a rezultati su prikazani tablicom 8.

OPIS	IZGLED POVRŠINE	ISO 2409 i DIN 53151
Tragovi rezova su potpuno glatki, nijedan kvadratić mrežice nije otkinut.		0
Nešto premaza je oljušteno na sjecištima u mrežici, manje od 5% površine je oštećeno.		1
Dio premaza je oljušten 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.	Oštećenje veće od 65 %.	5

Slika 24. Stupanj oštećenosti površine [15]

**Tablica 8. Rezultati ispitivanja prionjivosti [14]**

NAČIN ISPITIVANJA	UZORAK	OCJENA PRIONJIVOSTI
prije slane komore	2	1
	4	1
	A12	1
nakon slane komore	1	1
	3	1
	A7	1

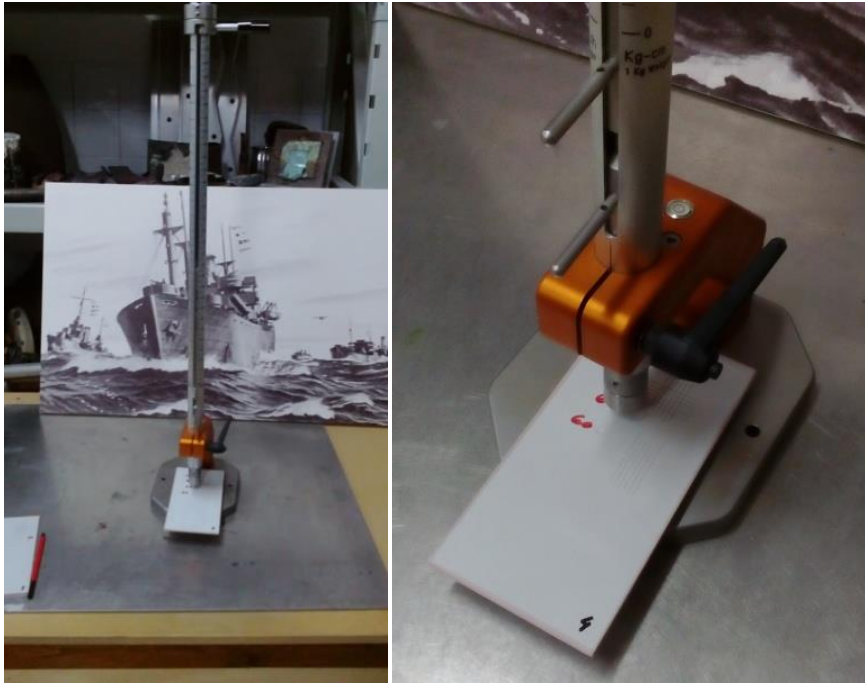
**Analiza rezultata ispitivanja prionjivosti premaza**

Provedenim ispitivanjem i priloženim rezultatima može se zaključiti da je prionjivost uzoraka koji su bili podvrgnuti „cross cut“ testu prije slane komore vrlo dobra, odnosno da je premaz tek malo oljušten na sjecištima u mrežici. Također, uzorci koji su prije „cross cut“ testa bili u slanoj komori u određenom vremenskom periodu nisu pokazali bitnu razliku u prionjivosti u odnosu na one koji nisu bili u slanoj komori, čime zaključujemo da slana atmosfera nije znatno utjecala na prionjivost premaza.

**6.6. Ispitivanje otpornosti na udar**

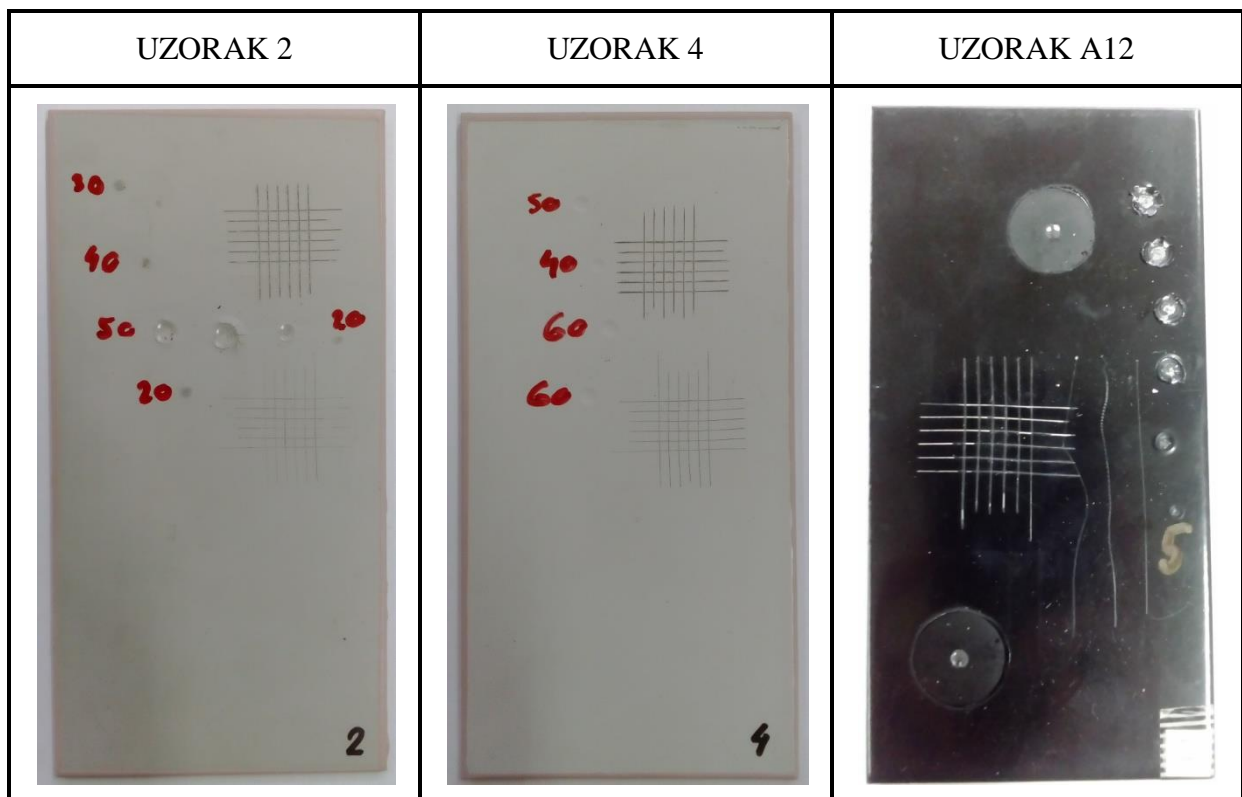
Ispitivanje otpornosti premaza na mehanički udar izvršeno je prema normi ISO 6272. Norma se temelji na puštanju utega sa određene visine slobodnim padom, pri čemu ne smije doći do pucanja premaza. Uteg se nalazi u metalnoj vodilici, a na dnu vodilice nalazi se čelični penetrant sfernog oblika. Ispitivanje se provodi tako da se uteg pušta sa određene visine, utvrđuje se je li došlo do pucanja premaza te se visina smanjuje sve dok ne dođe do pucanja premaza. Prikaz aparature za izvođenje testa otpornosti na udar vidljiv je na slici 25.





Slika 25. Prikaz aparature i ispitivanja otpornosti na udar [14]

Ispitivanje je provedeno na uzorcima 2, 4 i A12, a stanje istih nakon ispitivanja prikazano je slikom 26.



Slika 26. Stanje površina ispitnih uzoraka nakon ispitivanja otpornosti na udar [14]

Tvrdoća premaza, kako je definirano normom, određuje se prema visini s koje je pušten uteg, pri čemu nije došlo do pucanja premaza. Rezultati ispitivanja dani su u tablici 9.

**Tablica 9. Rezultati ispitivanja otpornosti na udar [14]**

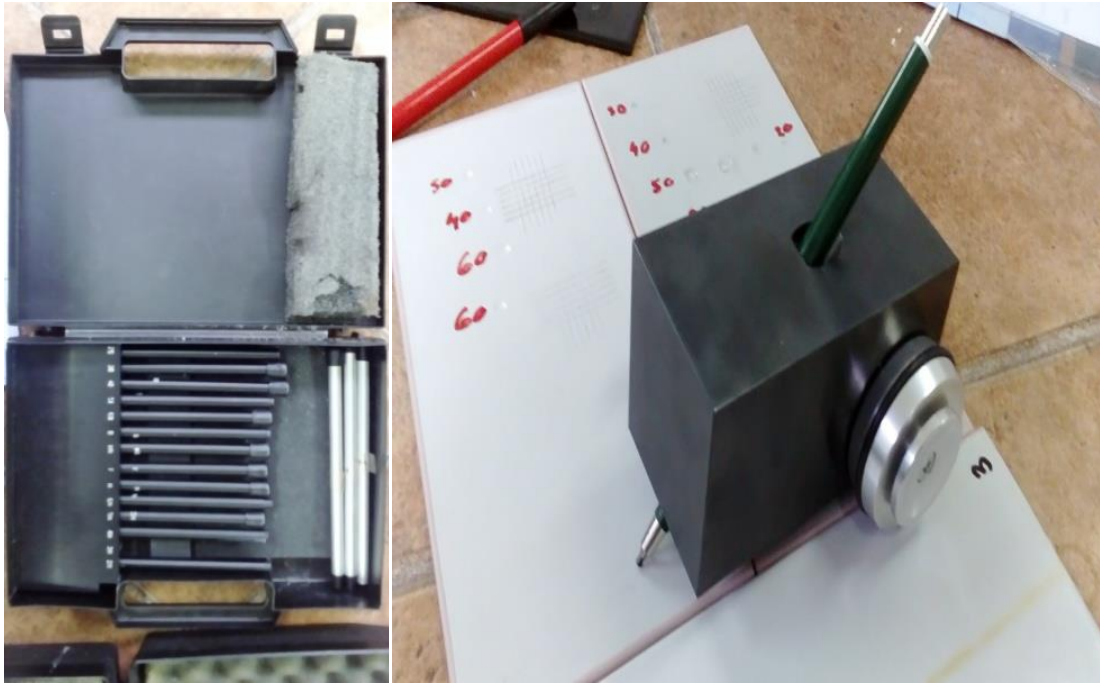
UZORAK	OTPORNOST PREMAZA NA UDAR PREMA ISO 6272 [cm]
2	20
4	60
A12	5

### **Analiza rezultata ispitivanja otpornosti na mehanički udar**

Ispitivanjem otpornosti na udar može se zaključiti da je uzorak broj 4 znatno otporniji na mehanički udar od uzoraka 2 i A12. Uzrok tome je veća žilavost premaza.

### **6.7. Ispitivanje tvrdoće premaza**

Ispitivanje tvrdoće premaza provedeno je prema normi ISO 15184. Ispitivanje se temelji na povlačenju grafitnih olovaka različitih tvrdoća preko površine prevlake. Oprema se sastoji od seta olovaka (20 olovaka različitih tvrdoća) te držača koji omogućuje držanje olovke pod kutem od 45°, odnosno njeno pravilno opterećenje (sila od 7.5N). Nakon što se držač s olovkom postavi na površinu, držač se gura u smjeru vrha olovke, pri čemu olovka ostavlja otisak. Nakon ispitivanja otisak se obriše vlažnom krpom te se pod indirektnim svjetlom promatra je li napravljen zarez u površini premaza. Od 20 olovaka, koliko ih je ukupno u setu, kreće se od najtvrđe (9H) do najmekše (9B). Olovka koja ne ostavi zarez u prevlaci definira njenu tvrdoću. Oprema i postupak mjerenja tvrdoće prikazani su slikom 27.



Slika 27. Oprema i postupak mjerenja tvrdoće [14]

Ispitivanju su podvrgnuti uzorci 2, 4 i A12 te su isti prikazani slikom 28, dok se rezultati ispitivanja dani u tablici 10.

UZORAK 2	UZORAK 4	UZORAK A12
Uzorak 2: Prikazuje otiske na uzorku s ručno napisanim brojevima 30, 40, 50, 20, 20. Na dnu su označena mjesta 3H, 2H, H, F. Broj 2 je u donjem desnom kutu.	Uzorak 4: Prikazuje otiske na uzorku s ručno napisanim brojevima 50, 40, 60, 60, 4B, 4B, 2H, 3H, H, F, 2H, 3H. Broj 4 je u donjem desnom kutu.	Uzorak A12: Prikazuje otiske na uzorku s ručno napisanim brojevima 50, 40, 60, 60, 4B, 4B, 2H, 3H, H, F, 2H, 3H. Broj 5 je u donjem desnom kutu.

Slika 28. Ispitni uzorci nakon ispitivanja tvrdoće [14]



**Tablica 10. Rezultati ispitivanja tvrdoće [14]**

UZORAK	TVRDOĆA PREMAZA PREMA ISO 15814
2	F
4	4B
A12	4B

**Analiza rezultata mjerenja tvrdoće**

Tvrdoća premaza uzorka 2 je tvrdoće F te kao takav spada u **srednje tvrde premaze**. Uzorci 4 i A12 su vrijednosti tvrdoće 4B te spadaju u **meke premaze**.

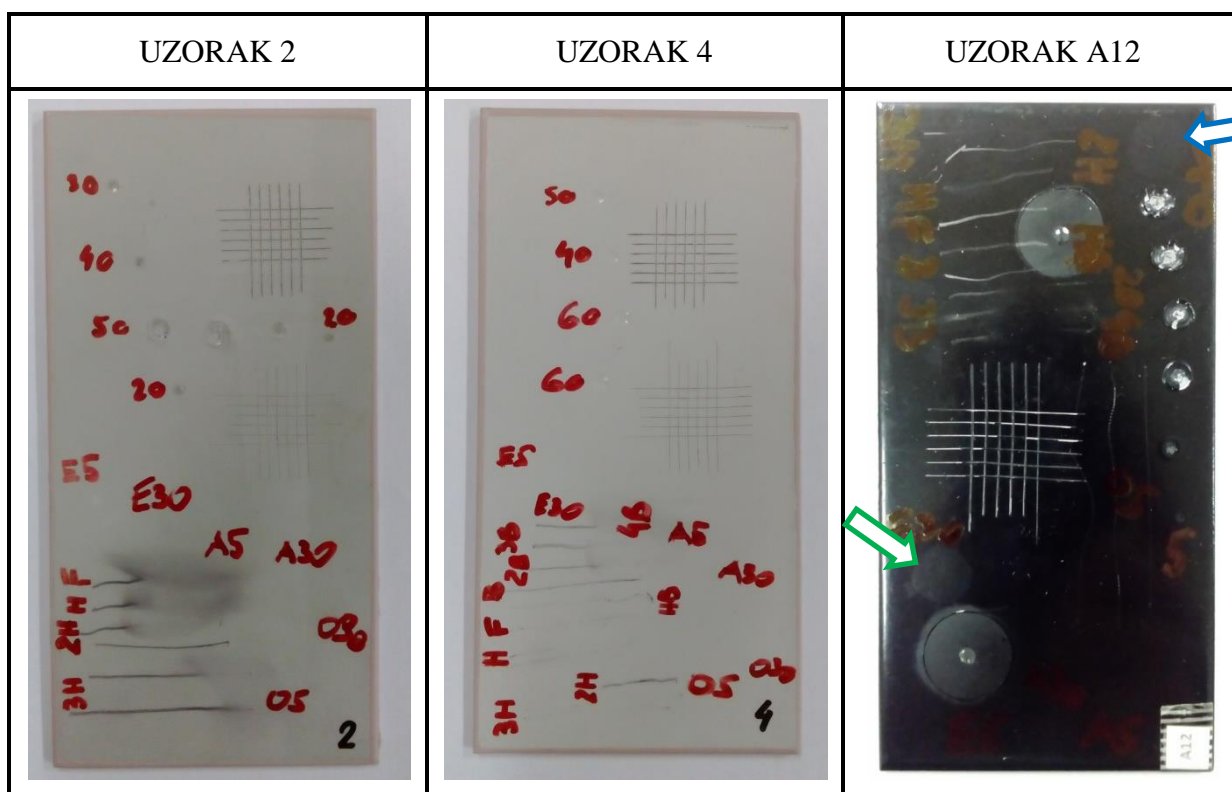
**6.8. Ispitivanje otpornosti premaza prema agresivnim otopinama**

Ispitivanje kemijske otpornosti premaza prema agresivnim otopinama provedeno je prema normi EN ISO 2812. Eksperiment se vrši tako da se premazi izlože različitim tekućinama u određenom vremenskom periodu, nakon čega se promatra stanje na površini premaza te se procjenjuju, bilježe i analiziraju eventualne promjene. Ispitivanjem se određuje je li premaz „otporan“, „djelomično otporan“ ili „neotporan“ na razne kemijske otopine u određenom vremenskom periodu [15].

Postupak ispitivanja provodi se tako da se filter papir, namočen u tekućinu kojom se ispituje premaz, položi na ispitivanu površinu i prekrije. Tekućine kojima su premazi bili podvrgnuti su etanol, aceton te octena kiselina. Prvo ispitivanje provelo se u vremenskom razdoblju od 5 min nakon čega se analiziralo stanje površine. Nakon toga postupak je ponovljen, ali u vremenskom razdoblju od 30 min, poslije čega se također procijenilo stanje površine. Slikom 29 prikazan je postupak ispitivanja, dok je na slici 30 vidljivo stanje površine uzoraka nakon ispitivanja. Ispitivanju su bili podvrgnuti uzorci 2, 4 i A12.



Slika 29. Ispitivanje otpornosti premaza prema agresivnim otopinama [14]



Slika 30. Stanje površina nakon ispitivanja otpornosti prema agresivnim otopinama [14]

Mjesta na površinama uzoraka koja su bila ispitivana označena su početnim slovom otopine kojom su bili ispitivani te vremenskim periodom ispitivanja (npr. mjesto gdje je octena kiselina držana na premazu 30 min označena je sa O30).

**Analiza rezultata ispitivanja otpornosti prema agresivnim otopinama**

Nakon analize površine utvrđeno je da su se uzorak 2 i uzorak 4 pokazali otpornima prema tekućinama etanola i octene kiseline, dok se na mjestima gdje je se ispitivanje provodilo acetonom pojavljuju tek male promjene u stupnju sjaja. Navedene promjene u stupnju sjaja nakon ispitivanja od 30 min malo su izraženije negoli one nakon 5minutnog ispitivanja, čime možemo zaključiti da bi se vrlo vjerojatno u nekom daleko dužem periodu ispitivanja počele dešavati značajnije promjene iste naravi. Uzorak A12 se pokazao manje otpornim na etanol i octenu kiselinu, pri čemu je i na priloženoj slici vidljiva razlika u stupnju sjaja nakon ispitivanja od 30 min (zelena strelica označuje mjesto ispitivanja etanolom, dok plava strelica označuje mjesto ispitivanja octenom kiselinom).

## 7. ZAKLJUČAK

Zaštita premazima najvažnija je i najzastupljenija metoda zaštite metala od razvijanja korozije. Kao takva, njena upotreba je neizostavna, a nedostaci sve više dolaze do izražaja. Jedan od tih nedostataka, kod primjene premaza s organskim otapalima, je utjecaj na zagađenje okoliša koji predstavlja veliki problem usred sve strožih zakonskih regulativa. Vodorazrjedivi premazi, kao premazi koji koriste neznatne količine organskih otapala, tako predstavljaju sinergiju kvalitetne zaštite metalnih konstrukcija i očuvanja okoliša. Uz konstantan razvoj i poboljšanje svojstava vodorazrjedivih premaza, isti sve više nalaze primjenu u raznim područjima industrije. Konstantnim unapređenjem, vodorazrjedivi premazi u raznim korozivnim sredinama pokazuju svojstva približno jednaka premazima s organskim otapalima.

Na temelju eksperimentalnog rada u kojem su kroz niz ispitivanja ispitana fizikalna i kemijska svojstva vodorazrjedivih premaza, možemo zaključiti da vodorazrjedivi premazi posjeduju vrlo dobra svojstva prionjivosti, dok je otpornost prema agresivnim otopinama srednje dobrih vrijednosti zbog površinskih promjena u sjaju premaza nakon provedenih testova. Također, korozijska otpornost u slanoj atmosferi relativno je dobra. Najveću tvrdoću pokazuje epoksidni premaz, dok je najbolja žilavost, prilikom ispitivanja otpornosti na mehanički udar, izražena kod sustava premaza sa epoksidnim premazom kao temeljnim, te akrilatnim premazom kao završnim slojem.

## LITERATURA

- [1] V. Alar: Predavanja Površinska zaštita (nastavni materijali), FSB, 2014.
- [2] B. Jarić, A. Rešetić: Korozija, Elektrokemijske osnove i katodna zaštita, Korexpert, Zagreb, 2013
- [3] I. Juraga, V. Alar, I. Stojanović: Korozija i zaštita premazima, FSB, Zagreb, listopad 2014
- [4] <http://pierre.fkit.hr/korozija/korozija1.php>, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2008 (08.02.2016.)
- [5] <http://ansidotrg.blogspot.hr/2011/07/corrosion.html#axzz2eQAqEDpX>, American National Standards Institute (08.02.2016.)
- [6] [https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/TKM\\_02.predavanje\\_Mehanizam\\_korozije\\_metala.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/TKM_02.predavanje_Mehanizam_korozije_metala.pdf) (10.02.2016.)
- [7] I. Esih: Osnove površinske zaštite, FSB, Zagreb, 2003.
- [8] T. Filetin: Izbor materijala pri razvoju proizvoda, FSB, Zagreb, 2000.
- [9] [https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/TKM\\_3.\\_Predavanje\\_ZASTITA\\_METALA\\_OD\\_KOROZIJE.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/TKM_3._Predavanje_ZASTITA_METALA_OD_KOROZIJE.pdf) (10.02.2016.)
- [10] <http://www.agmcontainer.com/vpci-126-blue-heat-sealable-transparent-bags.html>, AGM Container Controls, Inc, 2016. (dostupno 16.02.2016.)
- [11] Nada Rački-Weihnacht:BOJE I LAKOVI jučer danas sutra, Chromos boje i lakovi d.d., Zagreb, 2004.
- [12] Michael J. Watkins, Daniel J. Weinmann, Jim D. Elmore: Formulating High-Performance Waterborne Epoxy Coatings, Canada, Rujan 2006.
- [13] ASM handbook: Corrosion: Fundamentals, Testing and protection, ASM International, Ohio, SAD, 2003.
- [14] Arhiva vlastitih fotografija
- [15] V. Alar: Podloge za vježbe iz kolegija „Mehanizmi zaštite od korozije“, FSB, Zagreb, 2014.