

# Zaštita čeličnih konstrukcija vodorazrijedivim premazima

---

**Martinković, Željko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2009**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:082096>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-25**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Željko Martinković**

**Zagreb, 2009.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Mentor**

**Prof. dr. sc. Ivan Juraga**

**Željko Martinković**

**Zagreb, 2009.**

## SAŽETAK

Diplomski rad sastoji se od teorijskog dijela u kojemu se obrađuje zaštita čeličnih konstrukcija vodorazrijedivim premazima i premazima sa smanjenim udjelom hlapivih organskih spojeva te eksperimentalnog dijela u kojemu se ispituju svojstva premaza kroz niz laboratorijskih ispitivanja.

Teorijski dio prikazuje razvoj vodorazrijedivih premaza, prednosti i nedostatke, primjere iz prakse te budućnost zaštite čeličnih konstrukcija primjenom premaza.

U eksperimentalnom dijelu ispituju se svojstva premaza na čeličnim i aluminijskim uzorcima nakon određenih ubrzanih ispitivanja (npr. tvrdoća, adhezija itd.). Nanošenje premaza odvijalo se u poduzeću Ziegler d.o.o. dok su sva laboratorijska ispitivanja obavljena na Katedri za zaštitu materijala.

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	1
<b>2. OPĆENITO O KOROZIJI</b>	2
2.1 Klasifikacija korozije	2
2.2 Uzroci nastajanja korozije	3
<b>3. METODE ZAŠTITE OD KOROZIJE</b>	4
3.1 Načela i načini površinske zaštite	4
3.1.1 Elektrokemijska zaštita	4
3.1.2 Zaštita obradom korozivne sredine	5
3.1.3 Zaštita prevlakama	6
<b>4. ZAŠTITA OD KOROZIJE PREMAZIMA</b>	8
4.1 Klasifikacija premaza	10
4.2 Komponente zaštitnog premaza	12
4.2.1 Veziva	12
4.2.1.1 Fizikalno sušenje	12
4.2.1.2 Kemijsko sušenje	13
4.2.1.3 Svojstva osnovnih tipova veziva	15
4.2.2 Otapala	19
4.2.3 Pigmenti	21
4.2.4 Aditivi	22
4.3 Priprema površine	22
4.4 Metode nanošenja premaza	25
<b>5. NORMA ISO 12944</b>	28
5.1 ISO12944-1; Generalna uputstva	28
5.2 ISO 12944-2; Klasifikacija medija	30
5.3 ISO 12944-3; Oblikovanje konstrukcija	31
5.4 ISO 12944-4; Tipovi površina i priprema površine	31
5.5 ISO 12944-5; Zaštitni premazni sistemi za čelične konstrukcije	31
5.6 ISO 12944-6; Laboratorijsko ispitivanje svojstava	33
5.7 ISO 12944-7; Izvršavanje i inspekcija postupka premazivanja	34
5.8 ISO 12944-8; Razvoj i specificiranje projekata i održavanje	34
<b>6. VODORAZRIJEDIVI PREMAZI</b>	35
6.1 Uvod	35
6.2 Povijesni pregled	35
6.3 Tipovi vodorazrijedivih premaza	36
6.3.1 Vodene otopine	36
6.3.2 Vodene disperzije	36
6.3.3 Vodene emulzije	37
6.4 Prednosti i nedostaci vodorazrijedivih premaza	38
6.5 Primjeri vodorazrijedivih premaznih sistema	38
6.6 Vodorazrijedivi premazi za morske uvjete	39
6.7 Hibridni premazni sistemi	39
6.8 Vodorazrijedivi premazi za zaštitu konstrukcija u jako agresivnim medijima	40

6.9 Ekološki propisi i njihov utjecaj na budućnost	44
6.9.1 Zakon o graničnim vrijednostima sadržaja hlapivih organskih spojeva u određenim bojama i lakovima i proizvodima za završnu obradu vozila u Republici Hrvatskoj	45
<b>7. PRIMJERI UPOTREBE VODORAZRIJEDIVIH I HIBRIDNIH PREMAZA</b>	<b>48</b>
<b>8. EKSPERIMENTALNI DIO</b>	<b>51</b>
8.1 Tehnologija nanošenja premaza	51
8.2 Priprema uzoraka za ispitivanje	56
8.3 Mjerenje debljine premaza	57
8.4 Ispitivanje u UV komori	60
8.5 Ispitivanje uranjanjem	62
8.6 Ispitivanje u vlažnoj komori	66
8.7 Ispitivanje u slanoj komori	70
8.8 Ispitivanje tvrdoće premaza	73
8.9 Ispitivanje prionjivosti	74
8.10 Elektrokemijska ispitivanja	78
8.11 Zaključak eksperimentalnog dijela	81
<b>9. ZAKLJUČAK</b>	<b>82</b>
<b>10. LITERATURA</b>	<b>83</b>

## POPIS SLIKA

Slika 1. Podjela prevlaka [4]	8
Slika 2. Barijerna zaštita pomoću lamelarne pigmentacije [5]	9
Slika 3. Katodna zaštita pomoću katodno zaštićujućih pigmenata [5]	10
Slika 4. Prikaz pojedinih slojeva premaza [4]	10
Slika 5. Podjela premaza prema vizuelnom efektu stvorenog filma [1]	11
Slika 6. Podjela premaza prema vrsti otapala [1]	11
Slika 7. Podjela premaza prema broju sastojaka koji se miješaju prije nanošenja [1]	11
Slika 8. Podjela premaza prema načinu stvaranja filma [1]	12
Slika 9. Podjela premaza prema podlogama na koje se nanose [1]	12
Slika 10. Podjela premaza prema zadatku u premaznom sustavu [1]	12
Slika 11. Podjela veziva prema načinu sušenja [6]	13
Slika 12. Fizikalno sušenje boja na bazi otapala [6]	14
Slika 13. Oksidacijsko sušenje boja na bazi otapala [6]	15
Slika 14. Kemijsko sušenje dvokomponentnih boja na bazi otapala [6]	15
Slika 15. Podjela otapala [1]	20
Slika 16. Podjela pigmenata [1]	22
Slika 17. Razlog grešaka na premaznom sloju [6]	24
Slika 18. Mehanizam djelovanja kontaminacije na adheziju [6]	24
Slika 19. Mehanizam djelovanja hrapavosti na adheziju [6]	24
Slika 20. Greške uslijed slabe adhezije [6]	25
Slika 21. Tipovi kistova [9]	26
Slika 22. Lopatica ili spatula [9]	26
Slika 23. Valjak i dodatna oprema [9]	27
Slika 24. Oprema za prskanje [10]	27
Slika 25. Primjer lošeg i dobrog dizajniranja [7]	32
Slika 26. Mehanizam stvaranja filma vodenih disperzija [1], [6]	38
Slika 27. Mehanizam stvaranja filma [12]	38
Slika 28. Hlapljenje vode iz vodorazrijedivog akrilnog završnog sloja [14]	45
Slika 29. Most zaštićen vodorazrijedivim premazom [12]	49
Slika 30. Platforma zaštićena vodorazrijedivim premazom [14]	49
Slika 31. Dijelovi mosta zaštićeni vodorazrijedivim premaznim sistemom [14]	50

Slika 32. Spremnik za naftu zaštićen sistemom boja na bazi otapala i hibridnim sistemom [14]	50
Slika 33. Spremnik za naftu zaštićen hibridnim premaznim sistemom [12]	51
Slika 34. Cjevovod za plin zaštićen hibridnim premaznim sistemom [12]	51
Slika 35. Ručna vibraciona brusilica [17]	52
Slika 36. Uzorci prevučeni temeljnim premazom [17]	53
Slika 37. Uređaj za regulaciju temperature i ventilacije [17]	53
Slika 38. Nanošenje međuslojnog premaza [17]	54
Slika 39. Nanošenje kontrolnog praška [17]	54
Slika 40. Brušenje uzoraka [17]	55
Slika 41. Ispuhivanje prašine [17]	55
Slika 42. Čišćenje uzoraka sredstvom za odstranjivanje prašine [17]	55
Slika 43. Odstranjivanje prašine Würth Staubbindetuch krpom [17]	56
Slika 44. Nanošenje završnog laka [17]	56
Slika 45. Razvrstavanje uzoraka za ispitivanje [17]	57
Slika 46. Mjerenje debljine prevlake po slojevima [17]	58
Slika 47. Minimalne i maksimalne debljine završnih slojeva aluminijskih uzoraka	58
Slika 48. Minimalne i maksimalne debljine temeljnih slojeva aluminijskih uzoraka	59
Slika 49. Minimalne i maksimalne debljine završnih slojeva čeličnih uzoraka	59
Slika 50. Minimalne i maksimalne debljine temeljnih slojeva čeličnih uzoraka	59
Slika 51. UV komora [17]	61
Slika 52. Stanje uzoraka prije i tijekom ispitivanja u UV komori [17]	61
Slika 53. Uređaj za ispitivanje uranjanjem [17]	63
Slika 54. Stanje uzoraka prije i tijekom ispitivanja uranjanjem [17]	64
Slika 55. Vlažna komora [17]	66
Slika 56. Stanje uzoraka prije i tijekom ispitivanja u vlažnoj komori [17]	67
Slika 57. Slana komora [17]	70
Slika 58. Stanje uzoraka prije i tijekom ispitivanja u slanoj komori [17]	71
Slika 59. Stanje uzoraka prije i tijekom ispitivanja tvrdoće [17]	73
Slika 60. Stanje uzoraka prije i tijekom ispitivanja prionjivosti [17]	75
Slika 61. Ispitivanje prionjivosti uzoraka koji su bili na ispitivanjima [17]	76
Slika 62. Uređaj za elektrokemijska ispitivanja [17]	78
Slika 63. Tipični raspored elektroda pri elektrokemijskim ispitivanjima [17]	79



Slika 64. Nezaštićeni uzorci te uzorci zaštićeni premazom [17] 79

Slika 65. Izgled nezaštićenih uzoraka prije i nakon elektrokemijskih ispitivanja [17] 80

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Vanjski i unutarnji faktori oštećivanja [3]	3
Tablica 2: Prikaz inhibitora prema sastavu i svojstvima [2]	7
Tablica 3: Tipovi veziva za fizikalno sušive boje [7]	14
Tablica 4: Tipovi veziva za oksidacijski sušive boje [7]	15
Tablica 5: Epoksi dvokomponentne boje [7]	16
Tablica 6: Poliuretanske dvokomponentne boje [7]	16
Tablica 7: Boje koje otvrdnjavaju reakcijom vlage u okolini i veziva [7]	16
Tablica 8: Kratki pregled osnovnih tipova premaza [2], [8]	19
Tablica 9: Klasifikacija medija; ISO 12944-2 [7]	31
Tablica 10: Odabir premaznog sistema ovisno o kategoriji korozivnosti; ISO 12944-5 [11]	33
Tablica 11: Laboratorijsko ispitivanje svojstava prema ISO 12944-6 [7]	34
Tablica 12: Svojstva vodorazrijedivih premaza [1]	39
Tablica 13: Vodorazrijedivi akrilni premazi [14]	42
Tablica 14: Vodorazrijedivi epoksi premazi [14]	42
Tablica 15: Vodorazrijedivi anorganski cink alkalno silikatni premazi [14]	43
Tablica 16: Usporedba vremena sušenja površine na dodir i sušenja za nanošenje pokrivnog sloja za VRP i BBO [14]	44
Tablica 17: Granične vrijednosti sadržaja HOS-eva u proizvodima koji se stavljaju na tržište i moraju se postići do 31. ožujka 2008. [16]	47
Tablica 18: Granične vrijednosti sadržaja HOS-eva u proizvodima koji se stavljaju na tržište i moraju se postići do 1. siječnja 2010. [16]	47
Tablica 19: Granične vrijednosti sadržaja HOS-eva u proizvodima za završnu obradu vozila koji se stavljaju na tržište i moraju se postići do 31. ožujka 2008. [16]	48
Tablica 20: Raspored uzoraka za ispitivanje	57
Tablica 21: Minimalne i maksimalne debljine premaza po uzorcima	60
Tablica 22: Ocjene prionjivosti [19]	74
Tablica 23: Rezultati elektrokemijskih ispitivanja [17]	80

## **POPIS PRILOGA**

- Prilog 1 – Glasurit epoksi temeljni premaz
- Prilog 2 – Glasurit poliakrilni međuslojni premaz
- Prilog 3 – Glasurit modificirani poliakrilni završni premaz
- Prilog 4 – Statistički podaci vezani uz debljinu prevlake

## POPIS OZNAKA I KRATICA

MIO (eng. Micaceous iron oxide) – listićavi željezni oksid

PUR (premaz) – poliuretanski premaz

PVC – poli-vinil-klorid

Shopprimer, eng. – radionički temeljni premaz

LD<sub>50</sub> – smrtonosna doza otapala koja se unosi pokusnim štakorima kroz usta i uzrokuje smrt 50% štakora

LC<sub>50</sub> – smrtonosna koncentracija opasnih para u zraku kojoj su izloženi pokusni štakori kroz određeno vrijeme koja uzrokuje smrt 50% štakora

VRP – vodorazrijedivi premaz

VOC (eng. Volatile Organic Coumpounds) – hlapivi organski spojevi

BBO – boja na bazi otapala

HOS – hlapivi organski spoj

HD (eng. Heavy duty...corrosion protection) – zaštita za jako korozijsko djelovanje

VP – vodorazrijedivi premaz

OP – boja na bazi otapala

20%60° - stupanj sjaja, mjerenje sjaja pod kutem od 60° uz reflektiranje 20% svjetla

ASTM (eng. American Society for Testing and Materials)

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam diplomski rad na temu "**Zaštita čeličnih konstrukcija vodorazrijedivim premazima**" izradio samostalno uz potrebne konzultacije, savjete, uporabu navedene literature i uređaja za ispitivanje.

**Željko Martinković**

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se svojoj obitelji, majci Mariji i ocu Marijanu, sestri Kseniji te rodbini i prijateljima na pruženoj podršci i razumijevanju tijekom mog studiranja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Ivanu Juragi, doc. dr. sc. Vesni Alar, dip. ing. Ivanu Stojanoviću i dip. ing. Vinku Šimunoviću na stručnim savjetima i vođenju kroz izradu mog diplomskog rada.

Hvala poduzeću Ziegler d.o.o. na velikoj pomoći prilikom izrade uzoraka.

## 1. UVOD

U početku su se boje koristile samo za oslikavanje pećina i u dekorativne svrhe sve dok se nije došlo do spoznaje da boje mogu poslužiti i u zaštitne svrhe. Tek dolaskom industrijske revolucije zbog velike upotrebe čelika dolazi do razvoja premaza. Daljnji napredak u proizvodnji premaza bio je prvi svjetski rat. U šezdesetim godinama prošlog stoljeća, organska otapala kao sastavni dio svake boje prepoznata su kao zagađivači što je dovelo do daljnjeg razvoja premaza. Današnji trend su vodotopivi i vodorazrjeđivi premazi, premazi s visokom suhom tvari, praškasti premazi te premazi koji otvrdnjavaju zračenjem [1]. Zbog neštetnosti okolišu i čovjeku, danas se te grupe premaza smatraju ekološkim odnosno "prijateljima okoliša".

## 2. OPĆENITO O KOROZIJI

**Korozija** je nenamjerno razaranje konstrukcijskih materijala uzrokovano fizikalnim, fizikalno-kemijskim i biološkim agensima. Korozija smanjuje uporabnu vrijednost metala, skraćuje vijek trajanja konstrukcija, poskupljuje njihovo održavanje, uzrokuje gubitke u proizvodnji, zastoje u radu, havarije i nesreće, ugroženost zdravlja ljudi, ekološke katastrofe, propadanje kulturne baštine i dr. Prema ovoj općoj definiciji korozije, korodirati mogu ne samo metali, nego i drugi materijali kao keramika, staklo, polimerni materijali i beton. Međutim kada se govori o koroziji, a ne spominje se posebno materijal, misli se na koroziju metala. U današnje je vrijeme potrebno posvetiti puno više pažnje koroziji metala nego ranije zbog:

- povećane upotrebe metala u svim područjima tehnologije,
- upotrebe metalnih konstrukcija sve tanjih dimenzija koje ne toleriraju korozijske napade istog intenziteta kao teške, nekad upotrebljavane konstrukcije,
- upotrebe metala za specijalnu primjenu ili uporabe rijetkih i skupih metala čija zaštita zahtijeva posebne mjere opreza,
- pojačane korozivnosti okoline uslijed povećanog zagađenja vode, zraka i tla [2].

### 2.1 Klasifikacija korozije

Budući da je područje korozije vrlo široko i raznovrsno, postoji više različitih podjela, no osnovna podjela korozije je na *koroziju metala* i *koroziju nemetala*.

Sljedeća bitna podjela je prema [2]:

- a) mehanizmu procesa,
  - b) geometrijskom obliku korozijskog razaranja,
  - c) vremenskom tijeku,
  - d) korozivnom mediju.
- a) Podjela korozijskih procesa prema mehanizmu procesa
  - *kemijska korozija metala* zbiva se u neelektrolitima
  - *elektrokemijska korozija metala* zbiva se u elektrolitima
  - *korozija* ili *degradacija nemetala* u fluidima
- b) Podjela korozijskih procesa prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja
  - *opća, ravnomjerna* ili *neravnomjerna korozija* zahvaća čitavu izloženu površinu materijala



- *lokalna korozija* zahvaća dio izložene površine materijala, a može biti pjegasta (školjkasta), jamičasta (pitting)
- *interkristalna korozija* napreduje uzduž granica zrna u unutrašnjost materijala, a na površini je često nevidljiva
- *selektivna korozija* različitom brzinom napada pojedine faze

c) Podjela korozijskih procesa prema vremenskom tijeku

- *linearna korozija* odvija se konstantnom brzinom
- *usporena korozija* odvija se sve sporije
- *ubrzana korozija* odvija se sve brže
- *miješana i diskontinuirana korozija* odvijaju se brzinama koje se postupno ili naglo mijenjaju u pojedinim razdobljima

d) Podjela korozijskih procesa prema korozivnom mediju

Prema korozivnom mediju razlikuju se atmosferska korozija, korozija u tlu, korozija u suhim plinovima, korozija u elektrolitima, kontaktna korozija, korozija uz naprezanje, biokorozija i dr.

## 2.2 Uzroci nastajanja korozije

Da bi došlo do procesa oštećivanja konstrukcijskih materijala, mora u promatranom sustavu postojati kemijska, mehanička, biološka ili neka druga pokretna sila.

*Pokretna sila* je uzrok korozije pa je brzina razaranja razmjerna pokretnoj sili (npr. razlika potencijala). Djelovanju pokretne sile protive se fizikalni i kemijski otpori pa ovisno o veličini tih otpora postoje aktivni, pasivni i imuni materijali. Kod aktivnih materijala postoji afinitet prema koroziji tj. otpori nisu preveliki dok su pasivni u određenim uvjetima elektrokemijski neaktivni. Imuni materijali kao što su zlato i platina prirodno su imuni na koroziju. Pokretna sila ovisi o vanjskim i unutarnjim faktorima oštećivanja koji u manjoj ili većoj mjeri direktno utječu na koroziju.

Tablica 1: Vanjski i unutarnji faktori oštećivanja [3]

<b>Vanjski faktori</b>	<b>Unutarnji faktori</b>
sastav medija	kemijski sastav materijala
temperatura i tlak	struktura materijala
mehanička opterećenja	usmjerenost / kristaliničnost
brzina gibanja medija	zaostala naprezanja
turbulencija	stanje površine
čestice u fluidu	
položaj predmeta	

Iz svega navedenoga proizlazi da pokretna sila mora biti što manja, a to se postiže metodama zaštite od korozije.

### 3. METODE ZAŠTITE OD KOROZIJE

Kako bi se izbjeglo nepoželjno trošenje metala i reducirala šteta uslijed korozije, nužno je pravovremeno i kvalitetno zaštititi konstrukciju. Istraživanja su pokazala da se četvrtina šteta od korozije može spriječiti primjenom suvremenih tehnologija zaštite.

#### 3.1 Načela i načini površinske zaštite

Konstruktivski materijali podložni su koroziji koja se nastoji usporiti ili spriječiti. Ovim tehnologijama se bavi posebna tehnička disciplina, a to je zaštita materijala, tj. površinska zaštita materijala. Za sprečavanje odnosno usporavanje korozije postoje dva osnovna načela [3]:

I NAČELO – smanjenje ili poništenje pokretne sile,

II NAČELO – povećanje otpora pokretnoj sili.

Ova osnovna teorijska načela možemo konkretno prikazati preko tri načina:

A NAČIN – svrhovita promjena unutarnjih činitelja oštećivanja (odabrati drugi materijal koji ima određene legirne elemente kao npr. Mo koji povećavaju pasivnost),

B NAČIN – svrhovita promjena vanjskih činitelja oštećivanja (smanjiti kisik pomoću inhibitora, tlak, temperaturu, radijaciju, smanjiti mikro i makroorganizme),

C NAČIN – odvajanje konstrukcijskog materijala od medija spontano ili namjerno (film, prevlaka, obloga).

Metal se može zaštititi od procesa korozije različitim metodama. Najčešće metode zaštite materijala od korozije su [2]:

- elektrokemijska zaštita,
- zaštita obradom korozijske sredine,
- zaštita prevlakama i premazima,
- kombinirana zaštita.

##### 3.1.1 Elektrokemijska zaštita

Elektrokemijskim metodama zaštite metal se održava ili u pasivnom stanju u području potencijala pasivacije ili u imunom stanju pri potencijalima nižim od ravnotežnih kada ne korodira, s tehnološkog stajališta prihvatljivom brzinom.

### **Katodna zaštita**

Katodna zaštita je tehnika zaštite metala od korozije čiji je osnovni princip polarizacija metalne konstrukcije na potencijal kod kojeg proces otapanja metala prestaje ili se odvija prihvatljivo malenom brzinom. Može se provesti na dva načina: pomoću vanjskog izvora istosmjernje struje i pomoću žrtvovane anode (protektora). Princip rada između dva navedena postupka je isti, no izbor sustava katodne zaštite ovisi o svakom konkretnom slučaju. Općenito se kod stacionarnih objekata koristi zaštita s vanjskim izvorom struje, dok se protektori upotrebljavaju na pokretnim objektima. Metal koji se štiti dovede se u kontakt sa metalom nižeg potencijala (protektorom) koji će se u članku vladati kao anoda. Katodna zaštita je djelotvorna jedino ako je materijal između protektora i objekta što se štiti vodljiv. Katodna zaštita se obično koristi kao sekundarni zaštitni sustav.

### **Anodna zaštita**

Anodna polarizacija ili kontakt s plemenitijim metalom može osnovni metal prevesti u pasivno stanje. Održavanjem pasivnog sloja, osnovni je metal zaštićen od daljnjeg razvoja korozijskog procesa.

#### **3.1.2 Zaštita obradom korozivne sredine**

Smanjenje korozivnosti vanjske sredine koja djeluje na metale i legure može se provesti na dva načina [2]:

- uklanjanjem aktivatora korozije iz agresivne sredine,
- uvođenjem inhibitora korozije u agresivnu sredinu.

#### **Uklanjanje aktivatora korozije iz agresivne sredine**

Aktivatori korozije i sastojci koji povećavaju agresivnost korozivne sredine mogu se ukloniti na više načina:

- neutralizacijom kiselina,
- uklanjanjem kisika iz vode,
- uklanjanjem soli iz vode,
- sniženjem relativne vlažnosti zraka,
- uklanjanjem čvrstih čestica.

## Uvođenje inhibitora korozije u agresivnu sredinu

Inhibitori su tvari koje dodane u korozivni okoliš smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih iznosa. Dodaju se povremeno ili kontinuirano u zatvorene ili iznimno u otvorene prostore. Prema kemijskom sastavu inhibitori su anorganski ili organski spojevi. Korozijskim inhibitorima smanjuje se korozijska agresivnost okoliša. Brojne su metode klasifikacije inhibitora, no neke od glavnih su prema sastavu i svojstvima, prema sigurnosti i prema mehanizmu djelovanja.

### Podjela inhibitora prema sastavu i svojstvima

Tablica 2: Prikaz inhibitora prema sastavu i svojstvima [2]

INHIBITORI			
anorganski	alkalni	hlapljivi	oksidirajući
organski	neutralni	nehlapljivi	neoksidirajući

### Podjela inhibitora prema sigurnosti

Prema sigurnosti mogu biti "sigurni" i "opasni". Ako je koncentracija inhibitora ispod minimalne vrijednosti, *sigurni* će inhibitor omogućiti nastavak samo jednolikog tipa korozije s brzinom ne većom nego što je ona u neinhibiranom sustavu, dok *opasni* inhibitor omogućava pojačanu lokalnu koroziju i situaciju čini gorom nego što je u odsutnosti inhibitora.

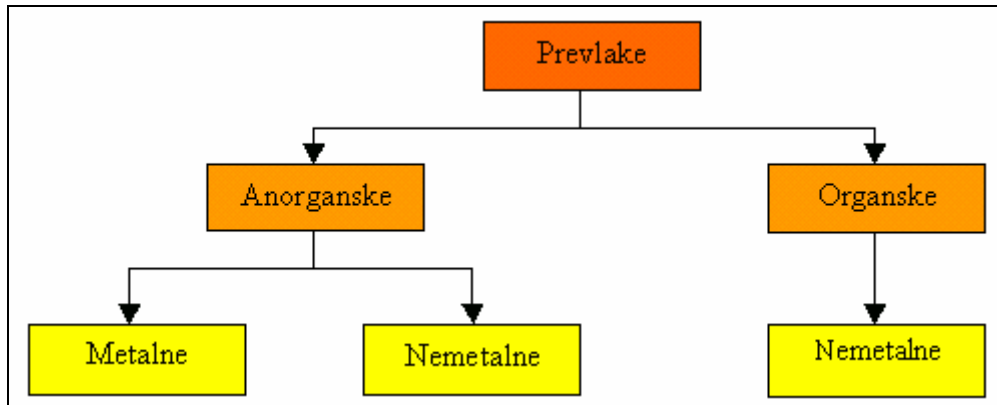
### Podjela inhibitora prema mehanizmu djelovanja

- *anodni inhibitori* (koče anodnu reakciju) stvaraju na anodnim mjestima filmove oksida ili slabo topljivih soli i tako čine barijeru koja izolira površinu
- *katodni inhibitori* (koče katodnu reakciju) djeluju na jedan od dva načina; usporavaju katodnu reakciju korozijskog procesa ili smanjuju površinu katodnih dijelova metala
- *mješoviti inhibitori* (koče oba procesa, i anodni i katodni) su najčešće organski spojevi koji se apsorbiraju na metalnu površinu

### 3.1.3 Zaštita prevlakama

Prevlakama se razdvaja konstrukcijski materijal od agresivnog djelovanja okoliša. Metalne i nemetalne zaštitne prevlake i premazi su najčešći oblik zaštite od korozije. Primarna zadaća prevlaka je zaštita od korozije dok je sekundarna zadaća prevlaka zaštita od mehaničkog trošenja, postizanje estetskog dojma, postizanje određenih

fizikalnih svojstava površine i dr. Zaštitno djelovanje prevlake ovisi o njoj vrsti, debljini, stupnju kompaktnosti i čvrstoći prijanjanja. Za kvalitetno nanošenje premaza i prevlaka potrebno je dobro pripremiti površinu što znači da je nužno ukloniti nečistoće, masnoću, okujinu te produkte korozije.



Slika 1. Podjela prevlaka [4]

Metalne prevlake nanose se fizikalnim ili kemijskim postupcima metalizacije ili platiniranja, već prema tome odvijaju li se pri prevlačenju samo fizikalne promjene ili su prevlake produkt kemijskih reakcija. Tu spadaju galvanizacija ili elektroplatiniranje, metalizacija prskanjem, vruće uranjanje u talinu metala, platiniranje, nataljivanje, navarivanje itd. [3].

Nemetalne anorganske prevlake nanose se fizikalnim ili kemijskim postupcima. Fizikalno se takve prevlake obično nanose izvana, tj. bez sudjelovanja podloge. Kemijski se prevlake najčešće oblikuju procesom u kojem sudjeluje površina podloge. Od najbitnijih tu spadaju emajliranje, eloksiranje, bruniranje te fosfatne prevlake [3].

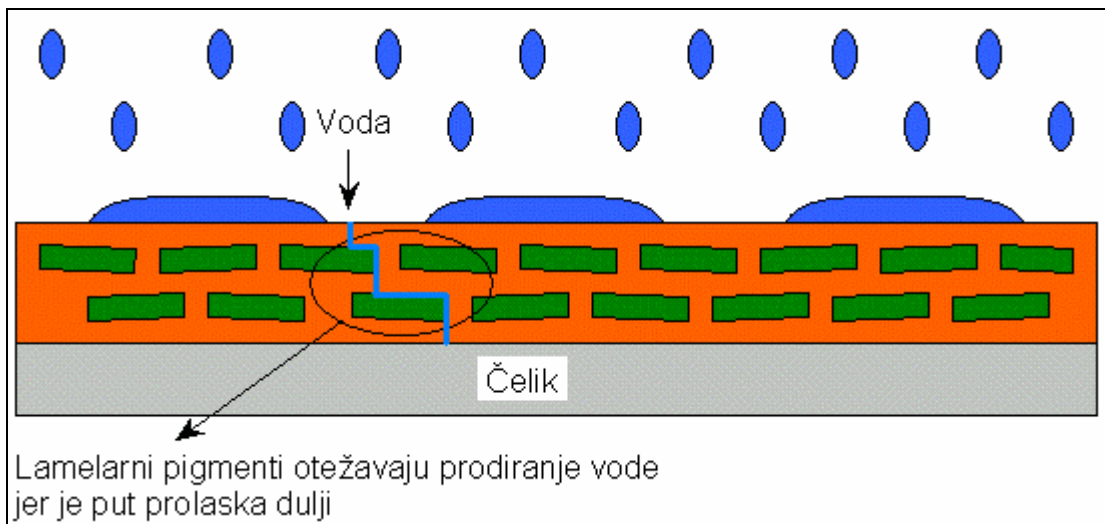
Nemetalne organske prevlake su prevlake koje se dobiju nanošenjem organskih premaznih sredstava (bojenjem i lakiranjem), uobičajenim podmazivanjem, plastifikacijom, gumiranjem i bitumenizacijom [3].

#### 4. ZAŠTITA OD KOROZIJE PREMAZIMA

Premaz je materijal koji je nakon nanošenja na podlogu stvorio čvrsti film. Iako se na prvi pogled čini kako premazi samo odvajaju metal od okoline i tako ga štite od korozije, mehanizam zaštite je mnogo kompliciraniji i funkcionalniji. Premazi nude zaštitu od korozije preko tri glavna principa dodavanjem odgovarajućih pigmentata:

##### 1. BARIJERNA ZAŠTITA

Barijerna zaštita radi na principu nanošenja debelog sloja premaza od 250-500  $\mu\text{m}$  male vodene propusnosti na metalnu podlogu. Dodavanjem lamelarnih pigmentata, "listića" aluminija ili listićavog željeznog oksida (micaceous iron oxide - MIO), zaštita se poboljšava i debljina sloja se smanjuje.



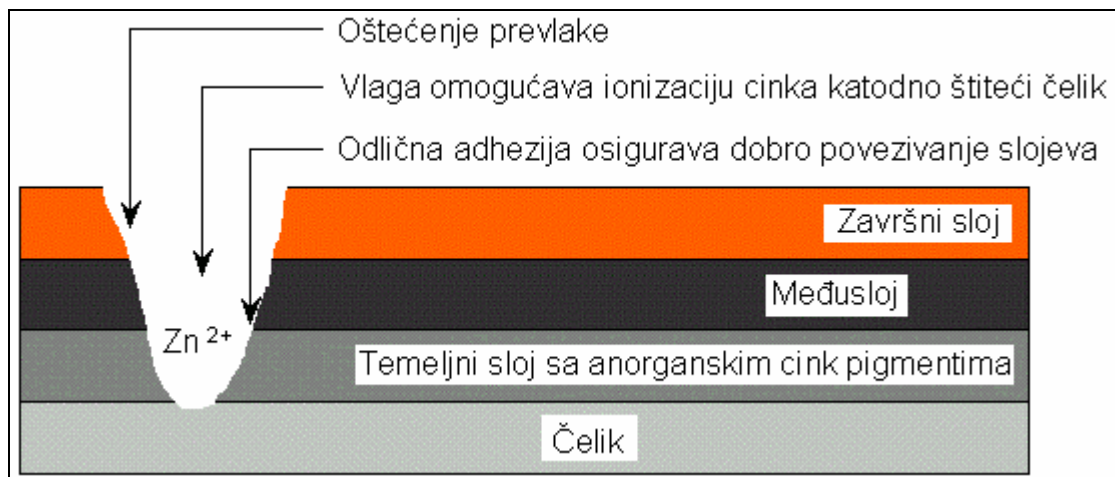
Slika 2. Barijerna zaštita pomoću lamelarne pigmentacije [5]

##### 2. INHIBIRAJUĆA ZAŠTITA

Zaštita od korozije može se povećati dodavanjem inhibitora u temeljnu boju. To su topljivi ili čvrsti pigmenti kao što su npr. cink kromati, cink fosfati, crveno olovo itd.

##### 3. KATODNA ZAŠTITA

Katodna zaštita se postiže primjenom premaza koji imaju visok udio anorganskog cinka.



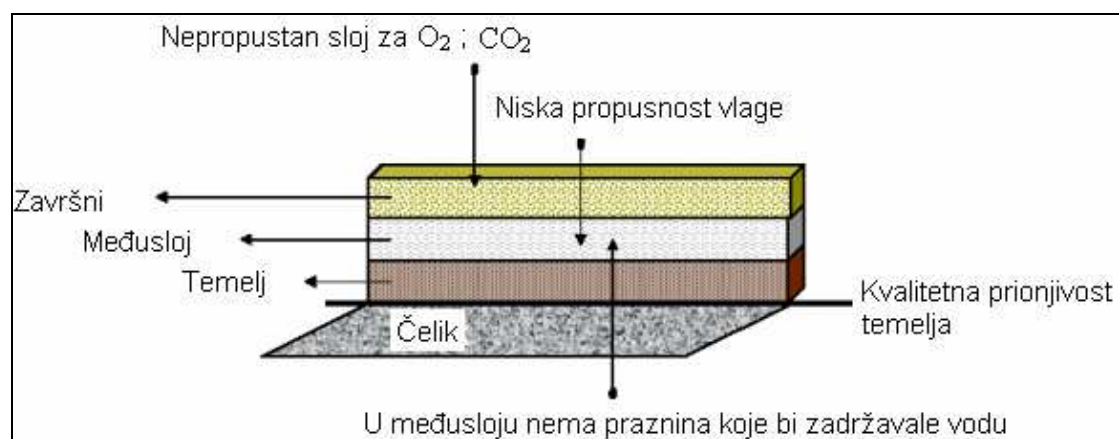
Slika 3. Katodna zaštita pomoću katodno zaštićujućih pigmentata [5]

### Funkcionalna svojstva pojedinih slojeva premaza

*Temeljni sloj* osigurava dobru prionjivost na podlogu, a antikorozijska svojstva premaza sadržana su u inhibirajućim pigmentima.

*Zapunjači* ili *međusloj* u sistemu pojačavaju zaštitna svojstva i prionjivost između dva sloja te barijerni efekt (pigmentacija laminarne strukture).

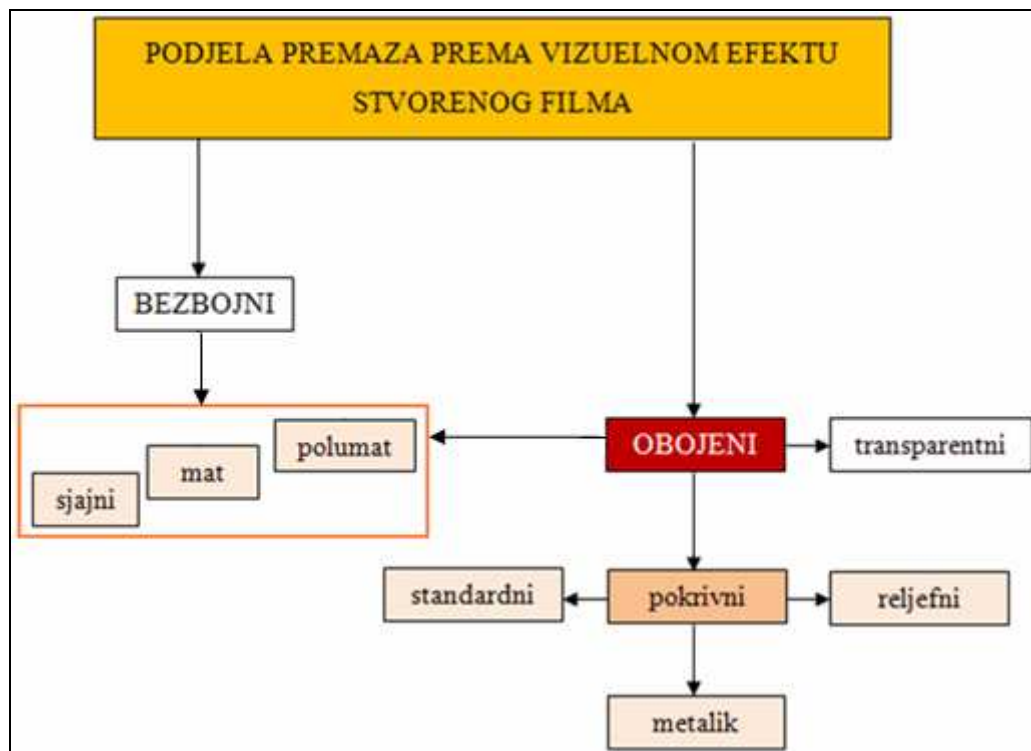
*Završni sloj* određuje konačnu boju, nijansu, sjaj, površinsku otpornost te ostala posebna svojstva.



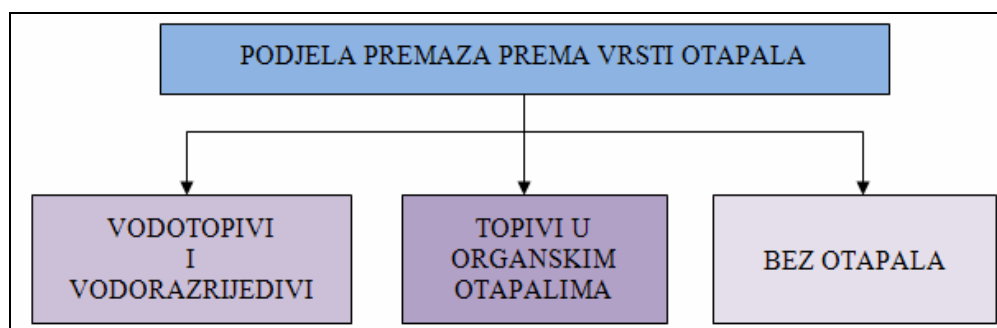
Slika 4. Prikaz pojedinih slojeva premaza [4]

Najčešće se ukupna debljina slojeva zaštite kreće od 60 do 600  $\mu\text{m}$ .

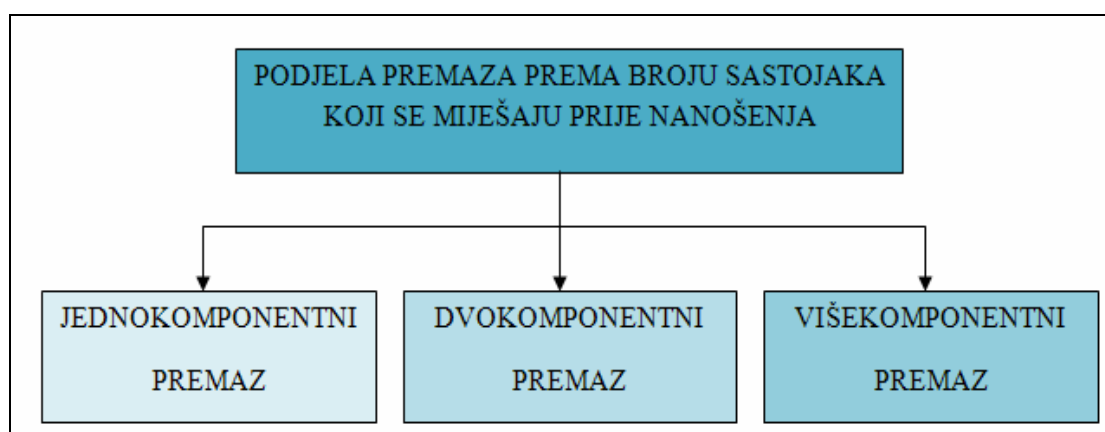
#### 4.1 Klasifikacija premaza



Slika 5. Podjela premaza prema vizuelnom efektu stvorenog filma [1]

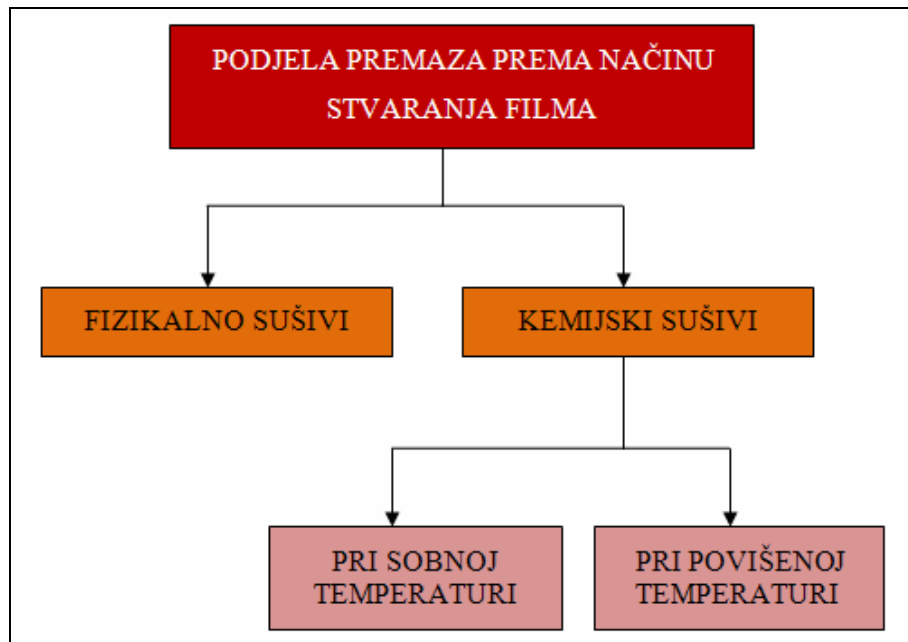


Slika 6. Podjela premaza prema vrsti otapala [1]

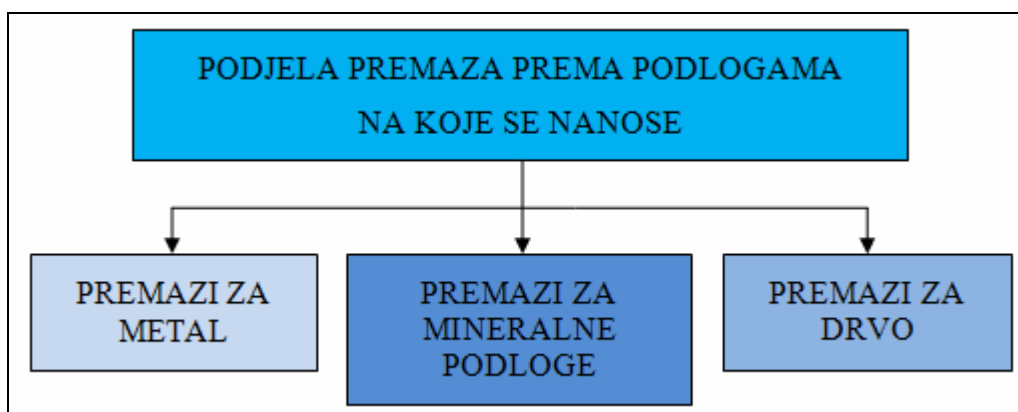


Slika 7. Podjela premaza prema broju sastojaka koji se miješaju prije nanošenja [1]

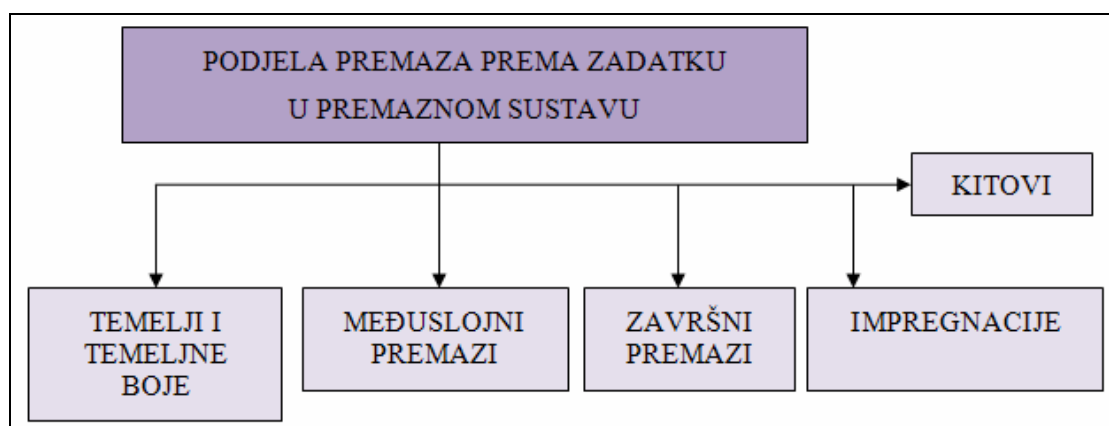




Slika 8. Podjela premaza prema načinu stvaranja filma [1]



Slika 9. Podjela premaza prema podlogama na koje se nanose [1]

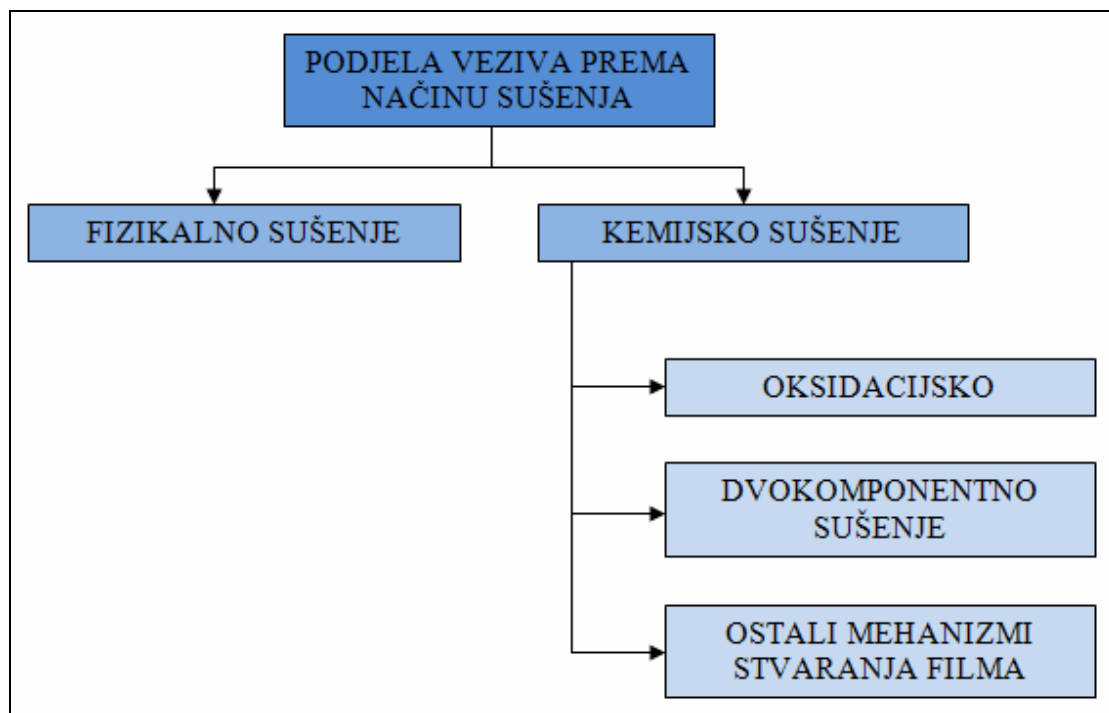


Slika 10. Podjela premaza prema zadatku u premaznom sustavu [1]

## 4.2 Komponente zaštitnog premaza

### 4.2.1 Veziva

Veziva su nositelji premaza, koji povezuju sve komponente u homogenu cjelinu. Ona su tvorci filma pa nose najveći dio odgovornosti za mehanička i kemijska svojstva premaza. Dijelimo ih prema porijeklu na prirodna i umjetna, no češća je podjela prema načinu sušenja, tj. stvaranju filma. Moguće su modifikacije ili kombinacije osnovnih tipova veziva.



Slika 11. Podjela veziva prema načinu sušenja [6]

#### 4.2.1.1 Fizikalno sušenje

Fizikalno suše boje na bazi otapala i boje na bazi vode. Film nastaje hlapljenjem organskog ili vodenog otapala.

Vrijeme sušenja boja na bazi otapala ovisi o temperaturi i strujanju zraka. Sušenje pri nižim temperaturama je puno sporije nego kod normalnih temperatura.

Vrijeme sušenja boja na bazi vode ovisi o temperaturi, strujanju zraka i relativnoj vlažnosti zraka. Sušenje pri nižim temperaturama je puno sporije nego kod normalnih temperatura.

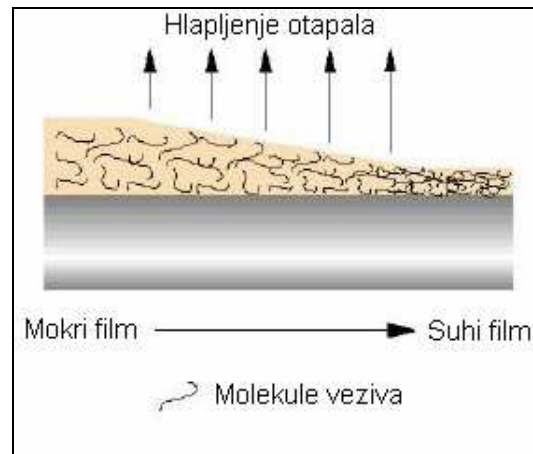
Fizikalno sušenje možemo podijeliti u tri faze [1]:

Faza 1 – brzo hlapljenje otapala s površine,

Faza 2 – hlapljenje otapala difuzijom kroz slojeve koncentrirane polimerne otopine,

Faza 3 – hlapljenje preostalog otapala u filmu.

Nakon ove tri faze konačno se stvara polimer, suh na prašinu. Postupak stvaranja filma vođen je isključivo hlapljenjem otapala što znači da je izbor otapala jako bitan.



Slika 12. Fizikalno sušenje boja na bazi otapala [6]

Tablica 3: Tipovi veziva za fizikalno sušive boje [7]

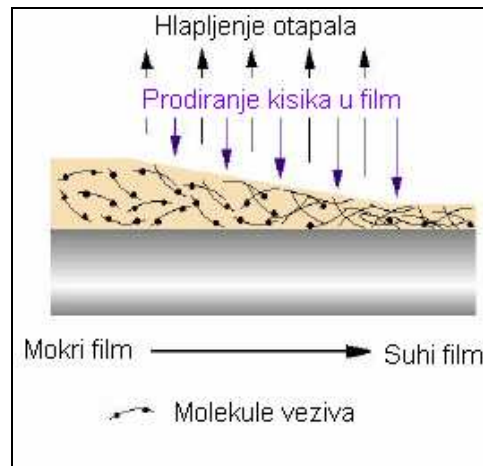
Tipovi veziva boja na bazi otapala	Tipovi veziva boja na bazi vode
klor kaučuk	akrilne disperzije
poli-vinil-korid	vinilne disperzije
akrilne smole	poliuretanske disperzije
bitumen	

#### 4.2.1.2 Kemijsko sušenje

##### a) Oksidacijsko sušenje

Film nastaje hlapljenjem organskog ili vodenog otapala i reakcijom kisika i veziva koji stvara konačan film.

Ovoj vrsti sušenja podvrgnuta su ulja bilo kao samostalna veziva ili kao modifikacija u nekim složenijim vezivima. Vrijeme sušenja ovisi o temperaturi. Reakcija kisika i veziva pri nižim temperaturama je puno sporija nego kod normalnih temperatura. Zbog sporosti reakcije koriste se katalizatori koji ubrzavaju stvaranje filma [1].



Slika 13. Oksidacijsko sušenje boja na bazi otapala [6]

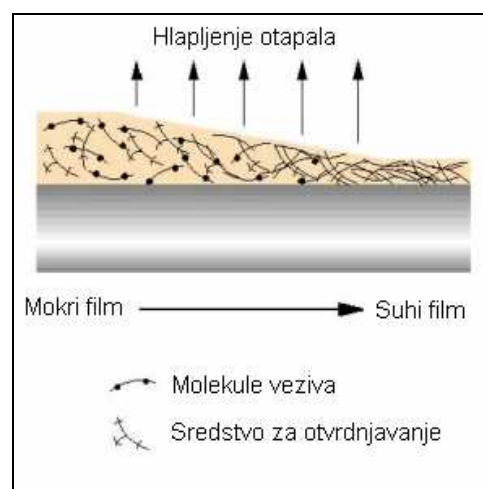
Tablica 4: Tipovi veziva za oksidacijski sušive boje [7]

Tipovi veziva
alkidi
uretan-alkidi
epoksi-esteri

Kao što je prikazano na Slici 13, oksidacijsko sušenje spada u kemijsko sušenje iako ima i elemente fizikalnog sušenja.

### b) Dvokomponentno sušenje

Boje koje suše na ovakav način sadrže osnovne komponente i sredstva za otvrdnjavanje. Film nastaje hlapljenjem otapala ako je prisutno i naknadnom kemijskom reakcijom između veziva i sredstva za otvrdnjavanje.



Slika 14. Kemijsko sušenje dvokomponentnih boja na bazi otapala [6]

Tablica 5: Epoksi dvokomponentne boje [7]

Tipovi veziva	Sredstva za otvrdnjavanje
epoksi smole	poliamini
epoksi vinilne smole/epoksi akrilne smole	poliamidi
epoksi kombinacije	

Tablica 6: Poliuretanske dvokomponentne boje [7]

Tipovi veziva	Sredstva za otvrdnjavanje
PUR poliesteri	aromatski poliizocijanat
PUR akrilne smole	alifatski poliizocijanat
PUR epoksi smole	
PUR polieteri	

### c) Ostali mehanizmi stvaranja filma

Film nastaje djelovanjem veziva sa vlagom u okolini, s ugljičnim dioksidom u zraku ili lančanom reakcijom polimerizacije nekoliko sati pri povišenim temperaturama od otprilike 200°C.

Tablica 7: Boje koje otvrdnjavaju reakcijom vlage u okolini i veziva [7]

Tipovi boja
poliuretanske (jednokomponentne)
alkidno-silikatne
etilno-silikatne (dvokomponentne)
etilno-silikatne (jednokomponentne)

#### 4.2.1.3 Svojstva osnovnih tipova veziva

##### Alkidne smole

Čisti alkidni naliči nisu sušivi na zraku pa ih nakon hlapljenja treba peći pri 120-200°C radi kemijskog otvrdnjavanja. Alkidi se vrlo često modificiraju drugim vezivima među kojima su najvažnija sušiva, polusušiva i nesusiva ulja, epoksidne smole, poliuretani, fenoplasti i druga. Ponekad se alkidi modificiraju i monomerima koji sudjeluju u reakcijama otvrdnjavanja naliča. Dovoljan dodatak uljnog firnisa čini alkidne premaze sušivima na zraku. Čisti alkidi daju tvrde i glatke prevlake otporne do 120°C i postojane u atmosferi i slatkoj vodi. Dodatak masnih ulja čini prevlake

mekšima, ali žilavijima, tj. otpornijima na savijanje i udarce. Modificiranje epoksidnim smolama, poliuretanima i akrilatima povećava postojanost u slabo kiselim i slabo lužnatim otopinama, a modificiranje fenoplastima i silikonima otpornost na više temperature. Kombinacijom alkida s određenim vezivima dobiva se veća tvrdoća, otpornost na abraziju, sjajnost te trajnost naliča na otvorenim prostorima [3].

### **Epoksidne smole**

Na osnovi epoksidnih smola proizvode se:

- jednokomponentna premazna sredstva koja se peku (s čistim epoksidnim ili s epoksidno-fenolnim vezivima) te
- dvokomponentna premazna sredstva koja otvrdnjavaju katalitički ili pečenjem (s epoksidnim i poliamidnim smolama s otapalom ili bez njega, s epoksidnim smolama i aminima itd.)

Posebno treba istaknuti epoksidno-esterska i epoksidno-katranska premazna sredstva. Epoksidno-esterski suše na zraku ili se peku. Epoksidno-katranski premazi redovito otvrdnjavaju umrežavanjem s poliamidima ili aminima pa su obično dvokomponentni. Neki su sušivi na zraku, a drugi se moraju peći. Epoksidni i epoksidno-esterski premazi podnose temperature do 120°C, a postojani su u atmosferi i vodi, u kiselim i lužnatim vodenim otopinama, u tlu i u organskim otapalima. Epoksidno-katranski premazi imaju slična svojstva, ali nisu postojani u aromatskim otapalima. Epoksidni premazi vrlo dobro prijanjaju na sve podloge, čvrsti su i glatki. Dodatkom katrana povećava im se žilavost. Na suncu su epoksidni slojevi skloni kredanju uslijed djelovanja ultraljubičastih zraka koje rastvaraju vezivo. Ta pojava kvari izgled površine [3].

### **Poliuretani (PUR)**

Premazna sredstva na bazi poliuretana mogu biti jedno- ili dvokomponentna. Jednokomponentna su obično sredstva s poliuretanskim vezivima koja otvrdnjavaju djelovanjem vlage iz zraka s posebno stabiliziranim vezivima koja otvrdnjavaju pečenjem >85°C ili s vezivima modificiranim sušivim uljima i alkidima, odnosno katranskom smolom. Najkvalitetnije prevlake daju dvokomponentna sredstva od izocijanatnog i poliesterskog dijela koja reaktivno otvrdnjavaju u opne s lijepim izgledom (nijansom i sjajem) postojanim na suncu, otporne na abraziju i temperature do 170°C. Prevlake su postojane u atmosferi i vodi, u kiselim i lužnatim vodenim

otopinama i u organskim otapalima. U odnosu na epoksi premaze, PUR premazi su mehanički otporniji, nešto manje postojani u lužnatim, a nešto postojaniji u kiselim sredinama i prema oksidansima. Poliuretani se nanose na metalne i nemetalne podloge. U ovisnosti o sastavu, svojstva PUR prevlaka znatno variraju pa tako mogu biti elastomerne, plastomerne i duromerne [3].

### **Akrilatna veziva**

Ova veziva mogu biti termoplastična ili duromerna. Premazna sredstva na osnovi termoplastičnih akrilata otvrdnjavaju hlapljenjem otapala u slojeve dobrih mehaničkih svojstava koji ne tamne na zraku ni pod utjecajem ultraljubičastih zraka, ali nisu otporni iznad  $\sim 70^{\circ}\text{C}$ . Postojani su u vodi i u razrijeđenim kiselinama i lužinama. Duromerni su slojevi tvrđi od termoplastičnih, ali su nešto manje postojani u kiselim i lužnatim otopinama. Akrilati čvrsto prijanjaju na metale uključivši i Zn i Al. Kao premazna sredstva rabe se i akrilati dispergirani u vodi (npr. za fasadne žbuke) [3].

### **Vinilne smole**

Sušenje premaznih sredstava na osnovi čistih vinilnih veziva vrši se hlapljenjem otapala. Veziva od PVC-a, polivinilacetata i njihovih kopolimera otporna su samo do  $\sim 70^{\circ}\text{C}$ , a premazi su teško zapaljivi i postojani u atmosferi i vodi te u kiselim, lužnatim i oksidativnim otopinama. Povećanjem udjela klora i uvođenjem floura u polimer raste toplinska otpornost (maksimalno do  $\sim 170^{\circ}\text{C}$ ) i kemijska postojanost. Vinilni se premazi nanose na metale i nemetale [3].

### **Cink-silikati**

Cink-silikatni premazi imaju veliku primjenu za privremenu zaštitu čeličnih konstrukcija te kao takvi su najtrajnija vrsta shopprimera izvanredne zaštite koja se temelji na osnovi katodnog djelovanja cinka kao pigmenta i formiranja barijere između metala i okoline. Premaz se odlikuje izuzetnom tvrdoćom i otpornošću na atmosferilije. Temperaturno je otporan do  $+ 400^{\circ}\text{C}$ . Otporan je na organska otapala, ali neotporan na kiseline i lužine (otporan između pH 6 i 9). Cink-silikatni premazi pružaju kvalitetnu jednoslojnu zaštitu [6], [8].

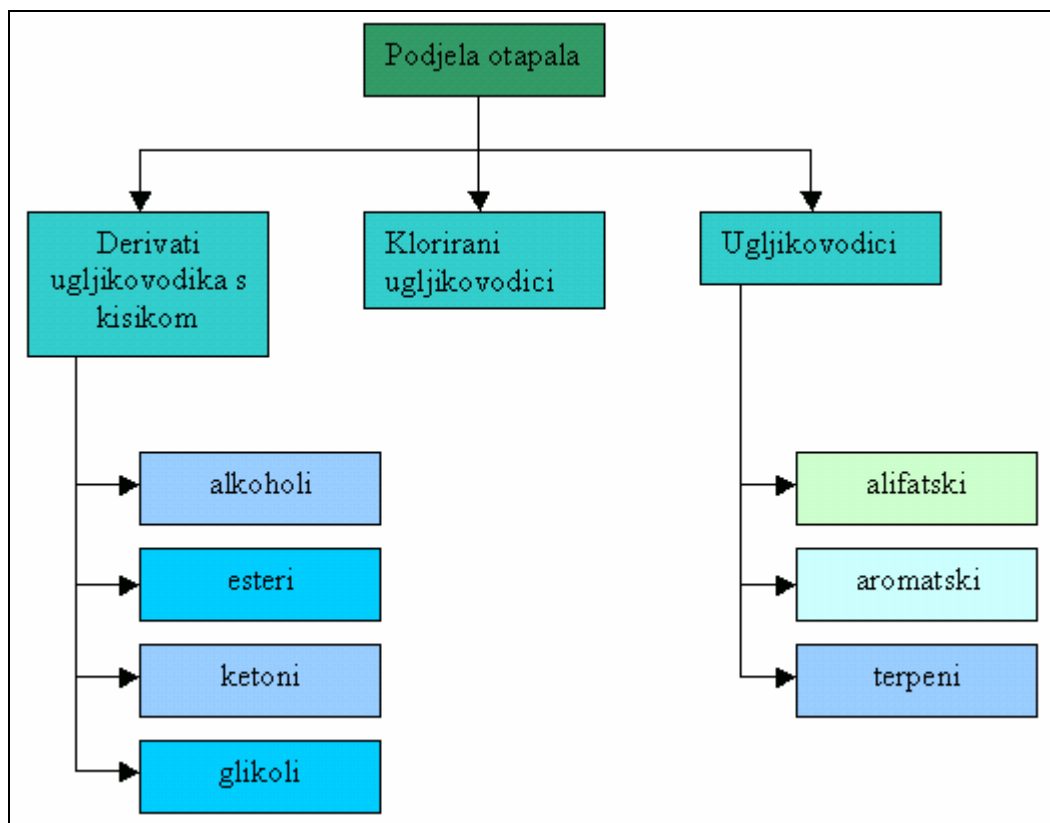
Tablica 8: Kratki pregled osnovnih tipova premaza [3], [8]

Tip premaza	Svojstva premaza
Vinilni	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>teško su zapaljivi</b></li> <li>- <b>kemijska otpornost</b></li> <li>- <b>mala vodopropusnost</b></li> <li>- dobra mehanička svojstva</li> <li>- izuzetna tvrdoća</li> <li>- neotpornost na organska otapala</li> </ul>
Akrilni	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>otpornost na UV zrake</b></li> <li>- <b>dekorativnost kod pokrivnog laka</b></li> <li>- <b>termoplastičnost</b></li> <li>- kemijska otpornost</li> <li>- neotpornost na organska otapala</li> </ul>
Alkidni	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>dobra mehanička svojstva</b></li> <li>- <b>dobra tvrdoća</b></li> <li>- kemijska otpornost</li> <li>- toplinska otpornost do 120°C</li> <li>- loša otpornost na jače kemikalije</li> </ul>
Epoksi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>dobra mehanička svojstva</b></li> <li>- <b>izuzetna tvrdoća</b></li> <li>- <b>mala vodopropusnost</b></li> <li>- <b>dobra kemijska otpornost</b> (organska otapala, naftu, otopine kiselina i lužina...)</li> <li>- <b>otpornost na habanje i abraziju</b></li> <li>- <b>optimalan izbor među premazima</b></li> <li>- kredavost na UV</li> </ul>
Poliuretanski	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>odlična mehanička svojstva</b></li> <li>- <b>izuzetna tvrdoća</b></li> <li>- <b>kemijska otpornost</b></li> <li>- <b>odlična otpornost na atmosferilije</b></li> <li>- <b>toplinska otpornost do 170°C</b></li> <li>- <b>otpornost na habanje i abraziju</b></li> <li>- visoka cijena</li> </ul>
Cink-silikatni	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>izuzetna tvrdoća</b></li> <li>- <b>izuzetna otpornost na atmosferilije</b></li> <li>- <b>temperaturna otpornost do 400°C</b></li> <li>- <b>otpornost na organska otapala</b></li> <li>- neotpornost na kiseline i lužine</li> </ul>



### 4.2.2 Otapala

Otapala su hlapive organske tvari koje fizikalno mogu otopiti veziva premaznih sredstava bez utjecaja na vezivo i bez vlastitih promjena. Otapala razrijeđuju boju kako bi je mogli što lakše nanijeti na metal nakon čega ishlape ostavljajući iza sebe samo boju. Isto tako služe za skidanje starih premaza i odmašćivanje [1].



Slika 15. Podjela otapala [1]

### Izbor otapala

Bitni faktori pri izboru otapala su [1]:

- sposobnost otapanja,
- vrelište ili destilacijski interval,
- hlapivost,
- točka plamišta,
- cijena,
- otrovnost.

### Sposobnost otapanja

Sposobnost otapanja pokazuje koju tvar je moguće otopiti u određenom otapalu na datoj temperaturi. Esteri i ketoni su prava otapala, alkoholi latentana, a ugljikovodici neotapala [1].

Vrelište ili destilacijski interval je temperatura pri kojoj je tlak para jednak atmosferskom tlaku u standardnim uvjetima. Čiste tekućine koje imaju jednoznačan kemijski sastav imaju određenu točku vrelišta pri određenom tlaku. Međutim, tekućine sastavljene od smjese sličnih kemijskih spojeva, npr. benzin ili smjese viših aromata vriju preko niza temperatura pa se uspoređuju destilacijski intervali [1].

Hlapivost je indikator "lakoće" kojom molekule tekućine napuštaju površinu i ovisi o tlaku pare. Hlapive tekućine imaju visok tlak para pod normalnim uvjetima i zato brzo hlape. Za određivanje hlapivosti koristi se usporedbena metoda kod koje je dietil eter uzet kao standard. Dogovorena vrijednost za dietil eter je 1 [1].

$$\text{brzina hlapljenja} = \frac{\text{vrijeme hlapljenja otapala}}{\text{vrijeme hlapljenja etera}}$$

Točka plamišta je temperatura pri kojoj je smjesa pare otapala i zraka zapaljiva otvorenim plamenom. Plamište se otapala povisuje smanjenjem tlaka para i povećanjem molekularne mase i vrelišta [1].

Otrovnost se određuje preko studija utjecaja otapala na okoliš i pokrivaju širok niz standardnih postupaka ispitivanja uključujući testove na životinjama, učinke otrovnosti koji se javljaju u kontaktu tekućine s kožom, izlaganje parama tekućine pri nizu definiranih koncentracija i gutanjem. Otrovnost otapala procjenjuje se preko LD<sub>50</sub> i LC<sub>50</sub> podataka (vidi Popis kratica).

Simptomi su vrtoglavica, pospanost, glavobolja, gubitak svijesti te narkotičko djelovanje. Otrovnost se još može testirati i preko kože [1].

### 4.2.3 Pigmenti

Pigmenti, boje i punila definirani su prema DIN 55943 standardu kao materijali za bojenje.

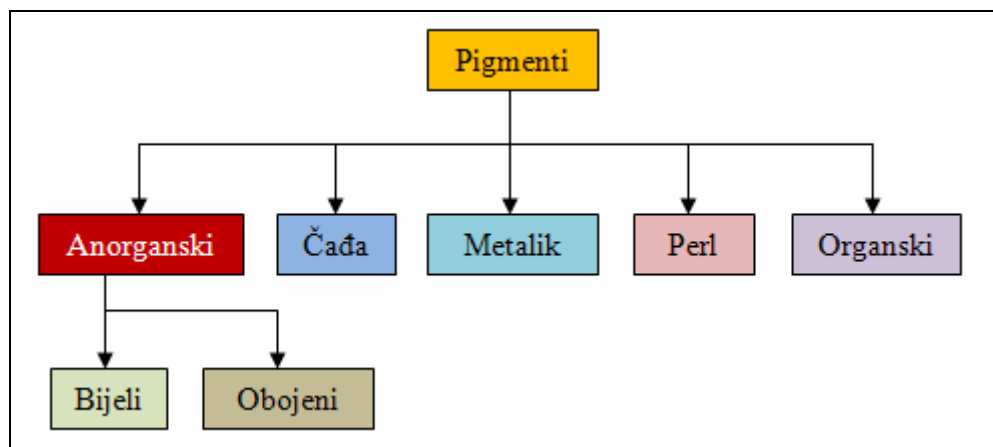
*Pigmenti* su definirani kao netopive organske ili anorganske tvari koje selektivno apsorbiraju i reflektiraju svjetlost, a posljedica toga je određeno obojenje koje daju premazima. Pigmenti povećavaju premazima zaštitna svojstva, kemijsku postojanost i toplinsku stabilnost.

*Boje* su definirane kao tvari za bojenje koje su topive u primijenjenom mediju.

*Punila* su bijele ili slabo obojene anorganske tvari netopive u primijenjenom mediju.

U premaze se dodaju zbog poboljšavanja mehaničkih svojstava, mazivosti i svojstava tečenja, zbog povišenja i sniženja sjaja i zbog poboljšanja svojstva barijere filma tj. zbog otpornosti filma prema difuziji vode i agresivnih plinova [1].

### Podjela pigmenata



Slika 16. Podjela pigmenata [1]

Kao posebni dodaci za promjenu primjenskih svojstava, izgleda ili svojstava filma premaza koriste se *funkcionalni pigmenti* koji se dijele na antikorozijske pigmente i pigmente za matiranje [1].

#### 4.2.4 Aditivi

Aditivi su tvari koje uključene u formulaciju premaza unatoč malom udjelu imaju značajan utjecaj na svojstva. Dodaju se kako bi se spriječili nedostaci u premazima (npr. pjena, loše razlijevanje, sedimentacija) ili da daju specifična svojstva (npr. klizavost, vatrousparenje, svjetlostabilnost) koja se inače dosta teško postižu [1].

Prema nedostatku na koji djeluju dijelimo ih na [1]:

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

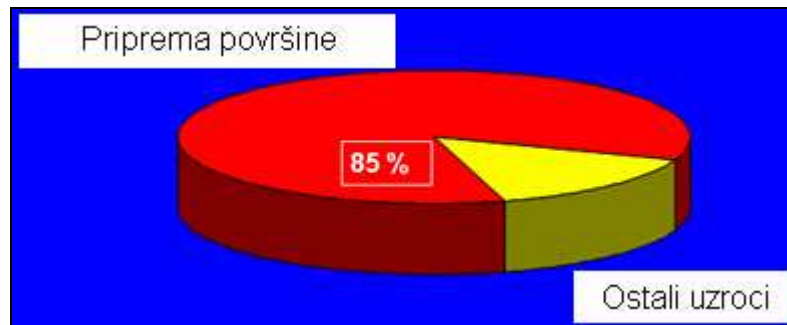
Pojedini proizvodi ne pripadaju uvijek samo jednoj od ovih grupa jer neki aditivi mogu istovremeno djelovati na više svojstava premaza.

#### 4.3 Priprema površine

Priprema podloge za prevlačenje provodi se u cilju čišćenja i kondicioniranja površine konstrukcijskog materijala, kako bi se postiglo što čvršće prijanjanje prevlake. *Čišćenjem* se s podloge moraju ukloniti sva labava i rahla onečišćenja kao što su masne tvari, većina korozivskih produkata, oštećene prevlake, prašina, čađa, koks i pepeo.

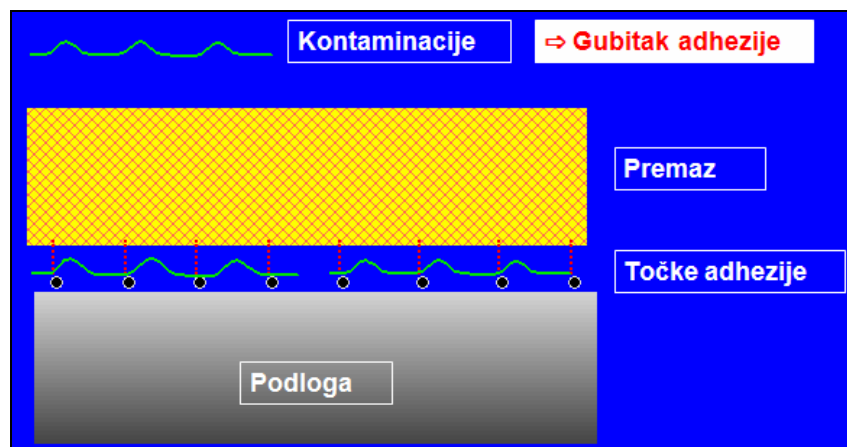
*Kondicioniranjem* se osigurava poželjna kakvoća površine podloge, tj. tražena hrapavost, odnosno glatkoća [3].

Uz pravilni odabir premaza, priprema površine je najbitniji korak u procesu zaštite konstrukcija premazima i ona se izvodi prema standardu ISO 8501-1.

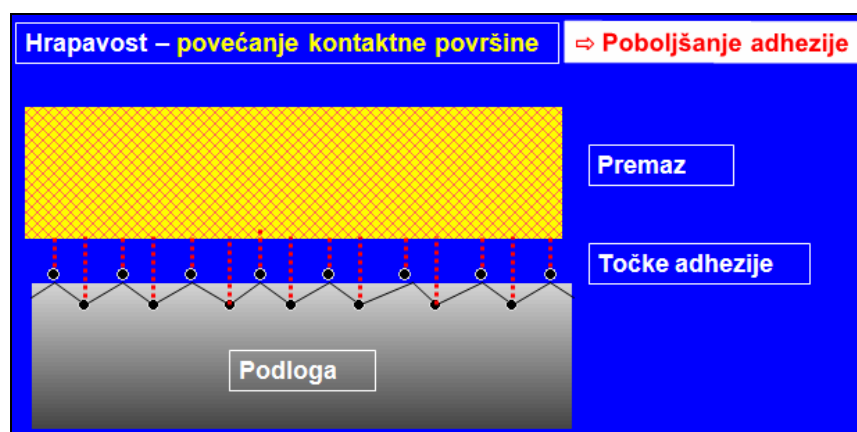


Slika 17. Razlog grešaka na premaznom sloju [6]

Ključna riječ u ovom poglavlju je *adhezija* ili *prianjanje* i ona ovisi o puno faktora od kojih su najbitniji prašina, masnoće, hrapavost ili profil površine, nepravilnosti, produkti korozije i drugi.



Slika 18. Mehanizam djelovanja kontaminacije na adheziju [6]



Slika 19. Mehanizam djelovanja hrapavosti na adheziju [6]



Slika 20. Greške uslijed slabe adhezije [6]

### **Metode pripreme površine**

#### *Odmašćivanje*

Odmašćivanje se provodi radi dobre adhezije između metala i prevlake i služi za odstranjivanje mineralnih i bioloških masnih tvari.

Odmašćivanje se može provesti [3]:

- fizikalnim otapanjem u hlapivim organskim otapalima koja naknadno otpare s odmašćenih ploha,
- razrjeđivačima organskih premaznih sredstava,
- mlazom vodene pare,
- emulzijama organskih otapala u vodi,
- upotrebom lužnatih i jako kiselih otopina,
- sredstvima za kvašenje,
- spaljivanjem.

#### *Uklanjanje korozivskih produkata i kondicioniranje*

Najčešće se spomenuti ciljevi ostvaruju odvajanjem čestica s obrađivanih ploha upotrebom oštrobriđnih zrnaca tvrdih materijala (abraziva), no koriste se i termički i kemijski postupci pa tako postoji [3]:

- mehanička obrada (brušenje i četkanje, čišćenje mlazom abraziva, čekićarenje, čišćenje mlazom vode),
- termička obrada (zagrijavanje na temperaturu  $> 200^{\circ}\text{C}$ ),
- kemijska obrada (kiselinsko i lužnato dekapiranje, kemijsko poliranje, jetkanje).

#### 4.4 Metode nanošenja premaza

Premazna se sredstva nanose četkama (kistovima), lopaticama i valjcima te prskanjem, uranjanjem, prelijevanjem i elektroforezom.

Četke (kistovi) se sastoje od snopova životinjskih, biljnih ili sintetičkih vlakana. Prednosti su mogućnost dobrog utrljavanja boje i rad bez dodatka razrjeđivača. Loša strana premazivanja četkama je niska produktivnost te pojava tragova od kista [3].



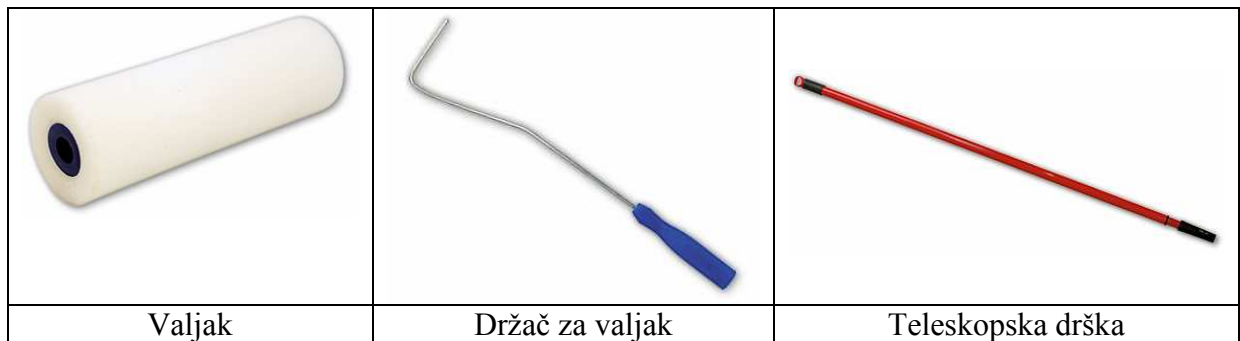
Slika 21. Tipovi kistova [9]

Lopaticice (spatule) se izrađuju od čelika, a služe za nanošenje kitova i nekih pastoznih premaza s velikim udjelom suhe tvari tako da se dobiju debele prevlake preko 0,1 mm koje su često neravnomjerne i hrapave [3].



Slika 22. Lopatica ili spatula [9]

Valjci od vune ili drugih vlakana mnogo su produktivniji od kistova ako se radi o većim plohama pa su osobito prikladni za prevlačenje limenih ploča i traka. Utrljavanje premaza je slabije nego pri četkanju, ali je sloj gladi i ravnomjerniji [3].



Slika 23. Valjak i dodatna oprema [9]

Prskanje (štrcanje) boja i lakova obavlja se stlačenim zrakom na sobnoj ili povišenoj temperaturi, bezračnim ili elektrostatičkim postupkom. Za zračno prskanje služe pištolji u koje se uvodi zrak pod tlakom 0,12 do 0,5 MPa i premazno sredstvo koje se zrakom raspršuje [3].



Slika 24. Oprema za prskanje [10]

Uranjanjem se boje i lakovi nanose na manje, jednostavne obratke koji se proizvode u velikim serijama. Pritom je nužno razrjeđivanje i naknadno ocjeđivanje viška premaza. Gubici su mali, ali je teško postići prevlake jednolične debljine na kompliciranim profilima te na unutarnjim i vanjskim površinama cijevi [3].

Preljevanjem se obično liče veći predmeti po čijoj se površini premazna sredstva lako razlijevaju, a nisu prikladni za prskanje zbog velikih gubitaka. Nalič se prelijeva kroz mlaznice ili dugačke proreze (tzv. ličenje zavjesom) [3].



*Elektroforeza* najčešće služi za ličenje metala u vodenim disperzijama ili otopinama boja i lakova u kojima postoje pozitivno i negativno nabijene čestice polimernog veziva s pigmentom ili bez njega, pri čemu je voda suprotno nabijena. U istosmjernom električnom polju čestice premaza putuju prema suprotno nabijenom obratku, a voda u obrnutom smjeru pa se dobiva skoro suhi nalič [3].

## **5. NORMA ISO 12944; Korozijska zaštita čeličnih konstrukcija zaštitnim premaznim sistemima**

Prilikom odabira premaznog sistema potrebno je odgovoriti na pitanja kao što su:

- kakvi će biti uvjeti kojima će premaz biti izložen,
- na koji način treba pripremiti površinu,
- kakvi će biti okolišni uvjeti prilikom nanošenja premaza,
- može li se odabrati premaz manje opasan za okoliš i čovjeka,
- kolika je cijena premaza.

Pomoć u odabiru premaznog sistema može se naći u standardu ISO 12944 koji povezuje oblikovanje konstrukcija i klasifikaciju medija sa odgovarajućim premaznim sistemom [7].

Norma ISO 12944 sastoji se od:

ISO 12944-1; Generalna uputstva

ISO 12944-2; Klasifikacija medija

ISO 12944-3; Oblikovanje konstrukcija

ISO 12944-4; Tipovi površina i priprema površine

ISO 12944-5; Zaštitni premazni sistemi za čelične konstrukcije

ISO 12944-6; Laboratorijsko ispitivanje svojstava

ISO 12944-7; Izvršavanje i inspekcija postupka premazivanja

ISO 12944-8; Razvoj i specificiranje projekata i održavanje

### **5.1 ISO 12944-1; Generalna uputstva**

Opisuje opća pravila po kojima standard pokriva samo korozijsku zaštitu čeličnih konstrukcija zaštitnim premaznim sistemima.

Standardom su pokriveni sljedeći tipovi površina:

- neprevučene nelegirane i niskolegirane površine,
- naštrecane površine,
- vruće pocinčane površine,
- galvanski pocinčane čelične površine,
- čelične površine obojane shopprimerom.

Zaštita protiv:

- mikroorganizama (obraščivanje, bakterije),
- kemikalija (kisljine, lužine, otapala),
- mehaničkih radnji (abrazija, udarci),
- požara nije pokrivena sa ISO 12944.

Nadalje, zaštita:

- čeličnih dijelova debljine manje od 3mm,
- armiranog betona i betona,
- visokolegiranih čelika (nehrđajući čelici) nije pokrivena sa ISO 12944.

Premazni sistemi su boje koje suše pri okolišnim uvjetima.

Standardom ISO 12944 nisu pokrivenje:

- praškaste prevlake,
- boje za pečenje,
- prevlake debljine veće od 2mm,
- produkti za kemijsku obradu površina,
- emajlirane prevlake,
- obloge za spremnike i cjevovode.

Generalna uputstva određuju kako dobavljači boja moraju posjedovati standard ISO 9000.

## 5.2 ISO 12944-2; Klasifikacija medija

Norma opisuje utjecaj atmosferskih prilika te utjecaj različitih tipova voda i soli na širenje korozije. Različita korozijska okruženja su klasificirana u Tablici 9.

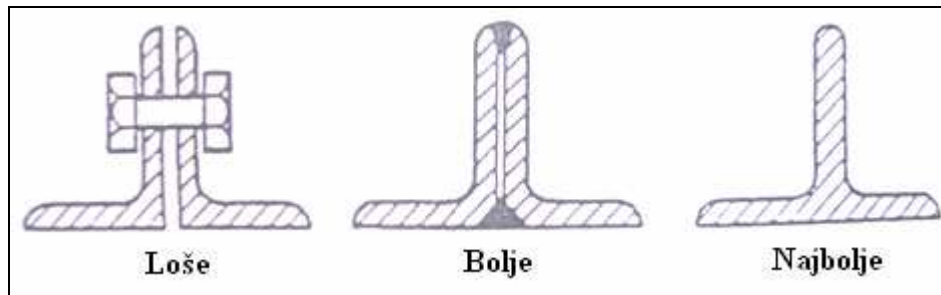
Tablica 9: Klasifikacija medija; ISO 12944-2 [7]

Kategorija korozivnosti	Primjeri tipičnog okruženja	
	Vanjsko	Unutarnje
C1: jako mala		Grijane građevine sa neutralnom atmosferom. Uredi, trgovine, škole, hoteli.
C2: mala	Okruženja sa malim zagađenjem. Najčešće sela.	Negrijane građevine. Garaže, sportske dvorane.
C3: srednja	Gradska i industrijska okruženja, srednje zagađenje sumporovim dioksidom. Obalna područja sa malim salinitetom.	Prostorije za proizvodnju sa velikom količinom vlage i malim zagađenjem zraka. Pogoni za proizvodnju hrane, praonice.
C4: visoka	Industrijska i obalna područja sa srednjim salinitetom.	Kemijski pogoni, pristaništa brodova i čamaca.
C5-I: jako visoka, industrija	Industrijska područja sa visokom količinom vlage i agresivnom atmosferom.	Prostorije sa konstantnom kondenzacijom i velikim onečišćenjem.
C5-M: jako visoka, more	Obalna i morska područja sa visokim salinitetom.	Prostorije sa konstantnom kondenzacijom i velikim zagađenjem.
	Okruženje	Primjeri okruženja i konstrukcija
Im1	Uronjeno u slatku vodu	Riječna postrojenja, hidroelektrane.
Im2	Uronjeno u slanu vodu	Lučka područja; zaštitna vrata, ključanice, pristaništa i ostale pomorske konstrukcije.
Im3	Ukopano u sol	Ukopani tankovi, čelične cijevi.

Standard definira korozivnost okoline preko gubitka mase po jedinici površine uzorka od niskolegirajućeg čelika ili cinka. Kao što je i za očekivati gubitak mase u kategoriji C1 je najmanji dok je u kategoriji C5-M najveći.

### 5.3 ISO 12944-3; Oblikovanje konstrukcija

Ovaj dio standarda opisuje osnovna pravila koja treba poštivati prilikom dizajniranja konstrukcije u svrhu što veće korozijske postojanosti. Standard daje primjere dobrog i lošeg dizajniranja konstrukcije, prikazuje koji strojni elementi i njihova kombinacija mogu predstavljati probleme prilikom nanošenja premaznog sistema, inspekcije i održavanja.



Slika 25. Primjer lošeg i dobrog dizajniranja [7]

### 5.4 ISO 12944-4; Tipovi površina i priprema površine

Norma opisuje različite tipove površina koje se zaštićuju i daje informacije o metodama pripreme površina kao što su mehaničko, kemijsko i toplinsko čišćenje. Opisuje klase kvalitete pripremljenih površina, hrapavost, trenutnu zaštitu pripremljenih površina za daljnje prevlačenje i pripremu postojećih metalnih prevlaka. Standard se povezuje što je više moguće sa standardom o pripremi površina prije nanošenja premaza ISO 8501-1.

ISO 12944-4 se koristi zajedno sa ISO 12944-5 i ISO 12944-7.

### 5.5 ISO 12944-5; Zaštitni premazni sistemi za čelične konstrukcije

Norma opisuje različite vrste premaza i srodnih proizvoda na bazi njihovog kemijskog sastava i tipu filma koji nastaje. Daje primjere različitih premaznih sistema koji su se pokazali odgovarajućima za konstrukcije izložene korozijskim procesima i korozijskim sredinama prema ISO 12944-2 na temelju sadašnjeg znanja. ISO 12944-5 se koristi zajedno sa ISO 12944-6.

Tablica 10: Odabir premaznog sistema ovisno o kategoriji korozivnosti; ISO 12944-5 [11]

Kategorija korozivnosti	Stupanj agresivnosti	Premazni sistem
C1	Beznačajna	Nije potreban. Sistem iz C2 može biti upotrebljen iz estetskih razloga.
C2	Mala	Alkidni: 2-5 sloja (80-200 $\mu\text{m}$ ) Akrilni, klor-kaučuk, PVC: 2-4 sloja (100-160 $\mu\text{m}$ ) Epoksi, poliuretanski: 2-4 sloja (120-160 $\mu\text{m}$ ) Cink-epoksi: 1-2 sloja (80 $\mu\text{m}$ ) Cink-etil-silikatni: 1 sloj (80 $\mu\text{m}$ )
C3	Srednja	Alkidni: 3-5 sloja (200 $\mu\text{m}$ ) Akrilni, klor-kaučuk, PVC: 3-5 sloja (200-240 $\mu\text{m}$ ) Epoksi, poliuretanski: 3-5 sloja (160-240 $\mu\text{m}$ ) Cink-epoksi + akrilni, klor-kaučuk: 1-2 sloja (160-200 $\mu\text{m}$ ) Cink-etil-silikatni + epoksi + poliuretanski: 3-4 sloja (160-200 $\mu\text{m}$ )
C4	Visoka	Alkidni: 3-5 sloja (200 $\mu\text{m}$ ) Akrilni, klor-kaučuk, PVC: 3-5 sloja (200-240 $\mu\text{m}$ ) Epoksi, poliuretanski: 3-6 sloja (200-320 $\mu\text{m}$ ) Cink-epoksi + epoksi + poliuretanski: 4-5 sloja (160-320 $\mu\text{m}$ ) Cink-etil-silikatni + epoksi + poliuretanski: 3-4 sloja (240 $\mu\text{m}$ ) Cink-etil-silikatni + akrilni + klor-kaučuk + PVC: 3-4 sloja (240 $\mu\text{m}$ )
C5	Jako visoka	Klor-kaučuk: 3-4 sloja (200 $\mu\text{m}$ ) Epoksi, poliuretanski: 3-6 sloja (300-500 $\mu\text{m}$ ) Cink-epoksi + katran-epoksi: 4 sloja (400 $\mu\text{m}$ ) Cink-etil-silikat + epoksi + poliuretanski: 3-5 sloja (320 $\mu\text{m}$ ) Epoksi bez otapala: 1-2 sloja (800 $\mu\text{m}$ )
Im1, Im2, Im3		Epoksi, poliuretanski: 2-4 sloja (360-380 $\mu\text{m}$ ) Cink-epoksi + katran-epoksi: 5 sloja (540 $\mu\text{m}$ ) Epoksi bez otapala: 1-2 sloja (800 $\mu\text{m}$ ) Katran-epoksi: 1-5 sloja (360-1000 $\mu\text{m}$ ) Katran-poliuretanski: 2 sloja (400 $\mu\text{m}$ )

## 5.6 ISO 12944-6; Laboratorijsko ispitivanje svojstava

Laboratorijski testovi se upotrebljavaju kako bi se utvrdila svojstva premaznih sistema. Upotrebljavaju se za sisteme o kojima još nemamo nikakve praktične podatke na temelju iskustva. Pokriva testiranje premaznih sistema na čelicima pripremljenim mehaničkim čišćenjem, vrućim pocinčavanjem i naštrcanim metalnim prevlakama. U tablici su prikazani osnovni podaci za laboratorijsko ispitivanje.

Tablica 11: Laboratorijsko ispitivanje svojstava prema ISO 12944-6 [7]

Okruženje	Klase trajnosti	Standardi			
		ISO 2812-1 Kemijska otpornost	ISO 2812-2 Vodeno uranjanje	ISO 6270 Vodena kondenzacija	ISO 7253 Slana komora
C2	Mala	-	-	48 h	-
	Srednja	-	-	48 h	-
	Visoka	-	-	120 h	-
C3	Mala	-	-	48 h	120 h
	Srednja	-	-	120 h	240 h
	Visoka	-	-	240 h	480 h
C4	Mala	-	-	120 h	240 h
	Srednja	-	-	240 h	480 h
	Visoka	-	-	480 h	720 h
C5-I	Mala	168 h	-	240 h	480 h
	Srednja	168 h	-	480 h	720 h
	Visoka	168 h	-	720 h	1440 h
C5-M	Mala	-	-	240 h	480 h
	Srednja	-	-	480 h	720 h
	Visoka	-	-	720 h	1440 h
Im 1	Mala	-	-	-	-
	Srednja	-	2000 h	720 h	-
	Visoka	-	3000 h	1440 h	-
Im 2	Mala	-	-	-	-
	Srednja	-	2000 h	-	720 h
	Visoka	-	3000 h	-	1440 h
Im 3	Mala	-	-	-	-
	Srednja	-	2000 h	-	720 h
	Visoka	-	3000 h	-	1440 h

Klase trajnosti: MALA – 2-5 godina,

SREDNJA – 5-15 godina,

VISOKA – više od 15 godina.

Klase trajnosti nisu garancija da će premaz izdržati navedeno vrijeme, no mogu poslužiti za planiranje održavanja.

Vodorazrijedivi premazi nisu uključeni u ova ispitivanja. Oni zahtijevaju posebna ispitivanja.

**5.7 ISO 12944-7; Izvršavanje i inspekcija postupka premazivanja**

Opisuje metode primjene zaštitnih premaza u radionici i na terenu. Rukovanje i skladištenje premaza prije primjene i inspekcija obuhvaćeno je ovim standardom.

**5.8 ISO 12944-8; Razvoj i specificiranje projekata i održavanje**

Ovaj dio standarda je vodič koji nam govori kako treba pripremiti tehničku dokumentaciju opisujući svaki pogled koji treba uzeti u obzir kada se neka konstrukcija štiti od korozije. Kao pogodnost korisnicima, ISO 12944-8 povezuje specifikacije projekta, specifikacije premaznog sistema, specifikacije postupka nanošenja, specifikacije inspekcije i testiranja. Ostali dijelovi norme ISO 12944 su baza za dio ISO 12944-8.



## 6. VODORAZRIJEDIVI PREMAZI

Vodorazrijedivi premazi razvijeni su sa zadatkom zamjene organskih otapala vodom, koja ima očite prednosti u nezapaljivosti i neotrovnosti. S osiromašenjem sirovinskih izvora kao što je nafta i uvođenjem strožih propisa za zaštitu okoliša, vodotopive i vodorazrijedive smole razvijale su se sve više pa su i među ekološki prihvatljivim materijalima zauzele vodeće mjesto [12].

### 6.1 Uvod

Vodorazrijedivi premazi (u daljnjem tekstu VRP) za industrijsku zaštitu protiv korozije još su uvijek novitet u industriji. Razlozi malog korištenja VRP bili su različiti i komplicirani. Potrošači su konzervativni i dosta teško se odlučuju na upotrebu boja baziranih na novoj tehnologiji, ekološki zahtjevi još uvijek nisu dovoljno strogi i izričiti, VRP su još uvijek skuplji, imaju slabije karakteristike u usporedbi sa bojama na bazi hlapivih organskih otapala i imaju neke granice upotrebe. Prve generacije VRP bile su primjenjivane na krivi način što je dovelo do nastajanja grešaka u zaštitnom sloju tj. do korozije. Zbog toga se uvriježilo mišljenje da VRP nisu dobri za zaštitu od korozije. Daljnjim razvijanjem i testiranjem, došlo se do zaključaka kako se ovi premazi ipak mogu koristiti uz dobru kvalitetu zaštitnog sloja i najbitnije nisu štetni za okoliš i ljude [12].

### 6.2 Povijesni pregled

Neke vrste VRP za zaštitu čelika postoje već godinama. Anorganski cink silikat je predstavljen prije 50 godina, alkidne emulzije prije 40 godina, akrilne emulzije prije 35 godina i prve verzije epoksi boje su predstavljene 1973. godine. Neki cjevovodi u Australiji zaštićeni su već više 40 godina VRP i još uvijek su u dobrom stanju bez tragova korozije. U početku je korištenje epoksi premaza bilo jako ograničeno zbog puno nedostataka, no 20 godina nakon usavršavanja dobila se visokomolekularna gusta disperzija koja se danas na tržištu može mjeriti sa epoksi bojama na bazi otapala. Sredinom 80-ih pojavila se prva generacija dvokomponentnih vodorazrijedivih poliuretanskih boja i do 90-ih one su bile jako poboljšane. Zadnjih 10 godina radilo se na novim tehnologijama VRP tako da su plasirane još cinkom bogate epoksi boje, fluoropolimer, polisiloxan, 2-K akrilne, epoksi-ester, poliester boje i mnoge druge. Zajedničko svim ovim premazima je poboljšana korozijska postojanost te zaštita čovjeka i prirode [12].

### 6.3 Tipovi vodorazrijedivih premaza

Vodorazrijedivi premazi su klasificirani prema načinu stvaranja filma i mogu se podijeliti u tri osnovne skupine:

- vodene otopine,
- vodene disperzije i
- vodene emulzije koje čine najveći dio vodorazrijedivih premaza [13].

#### 6.3.1 Vodene otopine

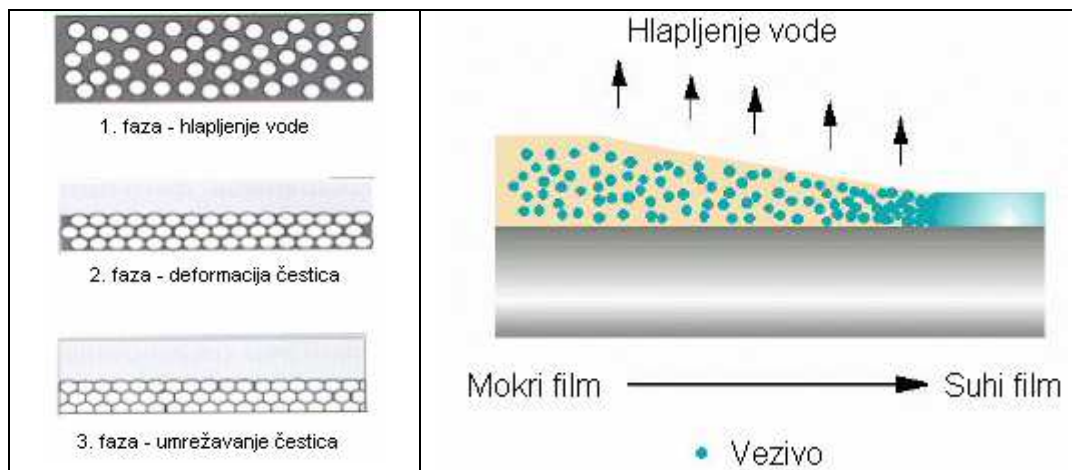
Vodotopive boje su boje čije se molekule vodotopivog veziva kompletno rastapaju u vodi. Vodotopiva veziva se dobivaju polikondenzacijom ili polimerizacijom u organskom mediju. Kao rezultat, veziva sadrže organska pomoćna otapala kao što su alkoholi, glikol-eteri i druga otapala koja sadrže kisik, a koja su topiva ili se miješaju s vodom. Vodotopiva veziva sadrže 10-15% organskih pomoćnih otapala. Ove boje imaju relativno nizak sadržaj suhe tvari (30-40%) i zahtijevaju relativno veliku količinu pomoćnih organskih otapala (do 15%) da se osigura vodotopivost i stvaranje filma. Unatoč njihovoj osjetljivosti na vodu, vodotopive boje imaju visok sjaj i visok stupanj korozijske postojanosti. Njihova je prednost široko područje sušenja (fizikalno oksidativno pri povišenoj temperaturi) i širok niz primjenskih mogućnosti (uranjanje, polijevanje, štrcanje, elektrotaloženje) [1], [13].

#### 6.3.2 Vodene disperzije

Vodne disperzije ili latexi su vodorazrijedivi sustavi sastavljeni od disperzija polimernih čestica u vodi. Te disperzije sadrže također i malu količinu otapala (<5%) koja služe kao stvaraoci filma, a koja djelomično hlape sušenjem.

Mehanizam stvaranja filma sastoji se od tri faze [1]:

1. faza - hlapljenje vode i vodotopivih otapala koji ostavljaju gusto složeni sloj dispergiranih čestica,
2. faza - deformacija čestica iz njihovog sfernog oblika što ima za posljedicu kontinuirani, ali slabi film,
3. faza - *koalescencija* - proces u kojem se polimerne čestice umrežavaju jačajući film.



Slika 26. Mehanizam stvaranja filma vodenih disperzija [1], [6]

Veoma je važan podatak minimalna temperatura stvaranja filma, tj. najniža temperatura pri kojoj koalescent dovoljno djeluje da stvori kontinuirani film. Glavni čimbenik kontrole minimalne temperature stvaranja filma je  $T_s$  (temperatura staklenja) polimera u česticama. Većina boja na bazi latexa formira filmove koalescencijom pri sobnoj temperaturi. Latexi se koriste kao vezivo kod velikog broja boja za graditeljstvo [1], [13].

### 6.3.3 Vodene emulzije

Emulzije ili poznatije pod imenom latex boje, slične su vodenim disperzijama. Bitna razlika je u nakupinama veziva koje su velike uz što je potreban emulgator da drži nakupine u otopini. Poboljšana propustljivost latex boja omogućava ovim prevlakama "disanje" smanjujući vjerojatnost stvaranja mjehura i lupljenja [13].

Vodne otopine	Vodne disperzije	Vodne emulzije
Individualne, odvojene molekule	Male nakupine od 10-25 molekula	Velike nakupine od 50-75 molekula, svaka prevučena slojem emulgatora

Slika 27. Mehanizam stvaranja filma [12]

Veziva kao što su alkidi, poliesteri, poliuretani, akril-epoksi hibridi, epoksi i epoksi-esteri mogu se upotrebljavati za vodorazrijedive premaze. Za završne premaze najčešće se upotrebljavaju alkidna i akrilna veziva. Epoksi-ester vodene otopine najviše se upotrebljavaju u automobilskoj industriji. Epoksi vodene otopine se često upotrebljavaju kao temeljne boje na koje još može doći završni poliuretanski sloj kad se traži dobra korozijska otpornost i dobre karakteristike premaza [13].

#### 6.4 Prednosti i nedostaci vodorazrijedivih premaza

Tablica 12: Svojstva vodorazrijedivih premaza [1]

PREDNOSTI	NEDOSTACI
Smanjena emisija hlapivih organskih spojeva VOC (engl. Volatile Organic Coumpounds)	Relativna vlažnost mora biti u rasponu od 50-70%, ali ne preko 85% Temperatura aplikacije ne ispod 12°C
Primjena konvencionalnih postupaka nanošenja	Zahtijevaju izrazito čistu površinu bez masnoće i prašine
Smanjena otrovnost i miris, a time povećana sigurnost radnika	Potrebno dulje vrijeme sušenja
Lako čišćenje alata vodom	Teško se postižu visoko sjajni premazi
Minimalan ili eliminiran opasni otpad	Viša cijena
Dobro vrijeme skladištenja	Osjetljivi su na visoku vlagu
Ostatak osušene boje može se odložiti kao bezopasan otpad	Dodavanjem istog ili jačeg otapala moguće je otopiti film
Mala zapaljivost	Imaju manju temperaturnu otpornost
Primjena na različitim materijalima	Imaju tendenciju stvaranja pjene

#### 6.5 Primjeri vodorazrijedivih premaznih sistema

Vodorazrijedivih premaznih sistema ima jako puno, no ovisno o važnosti konstrukcije bira se optimalno rješenje koje će zadovoljiti sve uvjete.

Primjeri vodorazrijedivih premaznih sistema [12]:

1. VRP akrilni temeljni sloj + VRP akrilni završni sloj,
2. Cink silikatni jednoslojni VRP sistem,
3. VRP epoksi temeljni sloj + VRP tvrdi akrilni završni sloj,
4. VRP cink epoksi temeljni sloj + VRP epoksi srednji sloj + VRP tvrdi akrilni završni sloj.

Sistem broj 1 se upotrebljavao mnogo godina kao dvoslojni sustav za laganu korozijsku zaštitu konstrukcijskog čelika u zatvorenim prostorima za koroziju kategorije C2-C3 prema normi ISO 12944-2.

Sistem broj 2 se upotrebljavao mnogo godina s velikim uspjehom u Australiji za jaku korozijsku zaštitu čeličnih spremnika, cjevovoda, naftnih platformi i mostova. Iako estetski ne baš najbolji, ovaj sistem je jedan od najboljih za zaštitu od korozije [12].

### **6.6 Vodorazrijedivi premazi za morske uvjete**

1998. godine plasiran je kompletni sustav vodorazrijedivih premaza za pomorske konstrukcije.

Sistem se sastoji od: - 1x40  $\mu\text{m}$  VRP anorganski cink silikatnog temeljnog sloja,  
- 2x80  $\mu\text{m}$  VRP epoksi međusloja,  
- 1x50  $\mu\text{m}$  VRP akrilnog završnog sloja [12].

Sistem zaštite daje nakon 6 godina izlaganja morskim uvjetima odličnu korozijsku zaštitu ako uspoređujemo sa sistemom boja na bazi otapala (BBO) koji se sastoji od:

- 2x200  $\mu\text{m}$  epoksi "mastic" aluminijskog temeljnog sloja BBO,
- 1x50  $\mu\text{m}$  2-K poliuretanskog završnog sloja BBO [12].

Analizirajući "životni" ciklus dva sistema zaštite koji su izvedeni 1994. godine, pokazano je da upotrebom VRP dolazi do reduciranja emisije otapala u atmosferu 80-90%, izloženosti čovjeka opasnim komponentama 70% i cijena po kvadratnom metru reducirana je za 20%. U to vrijeme također se dokazalo i u laboratoriju i u morskoj sredini da se VRP mogu koristiti tj. mogu sušiti i na temperaturama ispod 5°C i ako je relativna vlažnost zraka iznad 85%.

Unatoč svim ovim prednostima, ovaj sistem nisu koristile naftne kompanije u Sjevernom moru. Ako se osvrnemo unatrag, zaključujemo da je glavni razlog nekorištenja VRP konzervativnost proizvođača i korisnika i potrebno je još mnogo godina predstavljanja, dokumentiranja i uvjeravanja na temelju iskustva kako bi se probali ovi sistemi zaštite [12].

### **6.7 Hibridni premazni sistemi**

Područje u kojemu se našla praktična primjena VRP u zaštiti od korozije su tzv. hibridni premazni sistemi gdje se VRP kombiniraju sa premazima na bazi otapala.

Primjeri nekih hibridnih sistema [12]:

1. VRP epoksi temeljni sloj + BBO epoksi završni sloj,
2. VRP epoksi temeljni sloj + BBO 1-K međusloj + BBO 1-K završni sloj,
3. VRP akrilni temeljni sloj + BBO epoksi završni sloj,

4. BBO cink epoksi temeljni sloj + BBO epoksi međusloj + VRP akrilni završni sloj,
5. BBO cink silikatni temeljni sloj + VRP epoksi međusloj + VRP akrilni završni sloj,
6. BBO cink epoksi temeljni sloj + VRP epoksi međusloj + VRP akrilni završni sloj.

Iz ovih primjera se vidi kako postoji mnogo kombinacija VRP i BBO i ovisno o namjeni odabiremo najbolji i najprikladniji sistem. VRP se mogu koristiti i za temeljni, ali i za završni sloj. Ovi hibridni premazni sistemi koriste se za zaštitu spremnika za naftu, cjevovode, brodove, mostove, automobile, čelične konstrukcije itd. Ispitivanja su pokazala kako hibridni premazni sistemi kao što je to sistem broj 5 pokazuju bolje karakteristike od BBO.

Proizvođači boja navode kako je kupce puno lakše nagovoriti na kupnju hibridnog premaznog sistema nego na kompletni vodorazrijedivi zaštitni sistem.

Najveći izazov ovim zaštitnim sistemima su osiguravanje odgovarajuće površinske pripreme, odabir odgovarajuće boje, debljina zaštitnog sloja, klimatski uvjeti itd. Nadalje treba paziti na vrijeme sušenja odgovarajućih slojeva. Ako je npr. temeljni sloj BBO i sušenje nije dovoljno dugo, a već smo počeli nanositi drugi sloj VRP koji se brzo suši, može doći do grešaka u smislu zatvaranja otapala u prvom sloju što dovodi do pojave kratera u površinskom sloju i loše adhezije između slojeva. Ako se poštuju sve smjernice proizvođača, uz dobru pripremu površine i dobro odabran sistem zaštite, hibridni premazni sistemi pružaju dobru korozivnu postojanost [12].

### **6.8 Vodorazrijedivi premazi za zaštitu konstrukcija u jako agresivnim medijima**

Vodorazrijedivi premazi koriste se u posljednje vrijeme i za dijelove koji su izloženi jakoj koroziji. Pod pojmom HD (eng. heavy duty) korozivna zaštita podrazumijeva se zaštita postrojenja za naftu i plin, spremnika, morska i kemijska postrojenja, ali još uvijek je takav udio zaštite mali. Očigledni nedostaci upotrebe VRP su ekstremni klimatski uvjeti kao što su relativna vlažnost zraka oko 85%, temperature ispod 5°C i nisu za podvodnu upotrebu. No i BBO imaju problema prilikom aplikacija, a posljednje generacije epoksi VRP ako su pravilno formulirane mogu se upotrijebiti za podvodne zahtjeve. Za HD zaštitu koriste se tri sustava zaštite, a to su: akrilni sustavi, epoksi i anorganski cink silikatni sustavi. U principu, postoje dva osnovna načina

zaštite ovakvih konstrukcija, a to su upotreba čistog vodorazrijedivog sustava koji može imati od 1-4 sloja ili hibridnog sistema koji se sastoji od 2-3 sloja [14].

Tablica 13: Vodorazrijedivi akrilni premazi [14]

<b>Prednosti</b>	<b>Nedostaci</b>
Dobra korozijska zaštita	Složen proces formiranja filma
Izvrstan sjaj/otpornost na UV zračenje	Klimatski uvjeti (temperatura, preniska relativna vlažnost dovodi do stvaranja kratera u filmu)
Brzo sušenje i vrijeme ponovnog nanošenja	Potrebno je 6-24 sati da postanu otporni na vodu
Dobra tvrdoća	Ne podnose jake lužine prije kompletnog sušenja
Dobra kemijska otpornost	
Dobra prionjivost	
Slabo prljanjanje prašine na završni sloj	
Nema kredavosti i "žutenja" površine	
Jako dobra otpornost na vodu	
Prikladni za ubrzano sušenje	
Visoki stupanj fleksibilnosti	
Konkurentni na cijeni	

Tablica 14: Vodorazrijedivi epoksi premazi [14]

<b>Prednosti</b>	<b>Nedostaci</b>
Izvrсна korozijska zaštita	Neki tipovi nemaju definirano vrijeme primjene nakon umješavanja baze i sredstva za otvrdnjavanje
Mali rizik za zdravlje, sigurnost i okoliš	Slabo otvrdnjavanje i sušenje pri niskim temperaturama i visokoj relativnoj vlažnosti
Brzo sušenje i vrijeme ponovnog nanošenja	Potrebno je 6-24 sati da postanu otporni na vodu
Jako mali sadržaj HOS-eva	Ne podnose jake lužine prije kompletnog sušenja
Izvrсна prionjivost	Složen proces formiranja filma
Visoka točka plamišta zapaljivih para	
Jako dobra otpornost na vodu	
Temeljni sloj je pogodan za nanošenje drugih tipova boja	
Dobra fleksibilnost	
Dobra iskoristivost prilikom nanošenja prskanjem	
Cink epoksi boje imaju dobre korozijske karakteristike	

Vodorazrijedive epoksi boje se mogu nanositi na masne i prašne podloge, imaju miris malog intenziteta, nisu zapaljive i postoji mogućnost formulacije boje bez otapala.

Tablica 15: Vodorazrijedivi anorganski cink alkalno silikatni premazi [14]

<b>Prednosti</b>	<b>Nedostaci</b>
Najbolja korozijska zaštita	Potrebna kvalitetna priprema površine
Dugo vrijeme primjene nakon umješavanja baze i sredstva za otvrdnjavanje	Ograničenja na opremi za nanošenje
Brzo sušenje i vrijeme ponovnog nanošenja	Formiranje cinkovih soli na površini. Potrebno je nanošenje pokrivnog sloja
Nemaju HOS-eva	Potrebno je epoksi međusloj prije završnog sloja
Izvrсна prionjivost i otpornost na vodu	Ne mogu se nanositi na temperaturi < 5°C i relativnoj vlažnosti > 85%
Izvrсна kemijska i abrazijska otpornost	
Visoki udio suhe tvari	
Dobra tvrdoća	
Nema pojave pucanja premaza pri debljim premazima debljina < 200 µm	
Može se koristiti kao jednoslojni sistem	
Otporan na visoke temperature do 400°C	

Anorganski cink alkalno silikatni premazi pružaju najbolju zaštitu za HD koroziju. Koristi se samo jedan sloj u sredinama koje nisu previše kemijski agresivne, ali može se upotrebljavati i u agresivnijim sredinama za što je potreban još jedan sloj premaza otpornijeg na kemikalije. Jako su bitni dobri uvjeti nanošenja i sušenje mora biti potpuno jer voda može oštetiti film. Posebni su po tome što nemaju HOS-eva. Jako su osjetljivi na masnoće i ulje.

Primjeri vodorazrijedivih sistema za HD korozijsku zaštitu [14]:

1. 2x100 µm VRP epoksi temeljni sloj + 1x50 µm VRP akrilni završni sloj,
2. 1x50 µm VRP cink epoksi temeljni sloj + 1x120 µm VRP epoksi međusloj + 1x80 µm VRP akrilni završni sloj,
3. 1x40 µm VRP anorganski cink silikatni temeljni sloj + 2x80 µm VRP epoksi međusloj + 1x50 µm VRP akrilni završni sloj,
4. 1x125-150 µm VRP anorganski cink silikatni temeljni sloj,
5. 3x100 µm VRP akrilni temeljni sloj + 1x50 µm VRP akrilni završni sloj.



Primjeri hibridnih sistema za HD korozivsku zaštitu [14]:

1. 1x50  $\mu\text{m}$  BBO cink epoksi temeljni sloj + 1x120  $\mu\text{m}$  VRP epoksi međusloj + 1x80  $\mu\text{m}$  VRP akrilni završni sloj,
2. 1x200  $\mu\text{m}$  VRP epoksi temeljni sloj + 1x110  $\mu\text{m}$  BBO polisiloksan završni sloj,
3. 1x200  $\mu\text{m}$  BBO epoksi "mastic" temeljni sloj + 1x80  $\mu\text{m}$  VRP epoksi međusloj + 1x50  $\mu\text{m}$  VRP akrilni završni sloj,
4. 2x200  $\mu\text{m}$  boje bez otapala epoksi temeljni sloj + 1x50  $\mu\text{m}$  VRP akrilni završni sloj.

Iz navedenih primjera i osnovnih svojstava osnovnih premaza može se zaključiti da se uglavnom epoksi premazi i anorganski cink premazi koriste za temeljne slojeve, epoksi premazi za međuslojeve te akrilni premazi za završne slojeve.

U Tablici 16. prikazana je usporedba vremena sušenja površine na dodir te vremena sušenja za nanošenje pokrivnog sloja boja na bazi otapala i vodorazrijedivih premaza.

Tablica 16: Usporedba vremena sušenja površine na dodir i sušenja za nanošenje pokrivnog sloja za VRP i BBO [14]

Vrijeme sušenja	Temperatura, °C	VR akrilni završni sloj; VOC: 106 g/l*	BBO akrilni završni sloj; VOC: 580 g/l*	VR epoksi temeljni sloj; VOC: 60 g/l*	BBO epoksi temeljni sloj; VOC: 460 g/l**
Suho na dodir	40	20 min	15 min	40 min	30 min
	23	25 min	30 min	45 min	60 min
	10	30 min	45 min	60 min	2 sata
	5	90 min	60 min	60 min	5 sati+
Sušenje za nanošenje pokrivnog sloja	40	60 min	90 min	90 min	3 sata
	23	90 min	2 sata	90 min	4 sata
	10	2,5 sata	4 sata	8 sati	8 sati
	5	8 sati	5 sati	24 sati	12 sati+

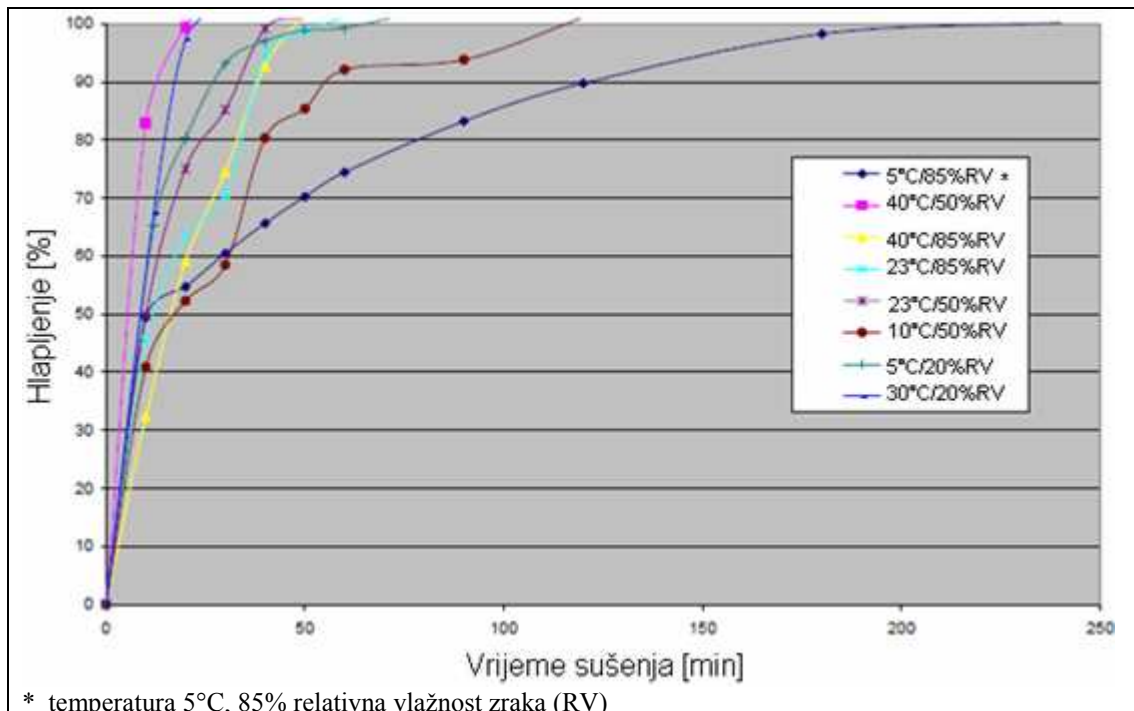
\* debljina sloja 60  $\mu\text{m}$ , 70% relativna vlažnost zraka,

\*\* debljina sloja 50  $\mu\text{m}$ , 50% relativna vlažnost zraka,

+ temeljni sloj BBO treba niskotemperaturne aditive kako bi mogao sušiti pri 5°C

Slika 28. jasno pokazuje utjecaj temperature, relativne vlažnosti zraka i vremena sušenja na hlapljenje vode iz akrilnog završnog sloja. Iz slike se vidi ono što je i glavni nedostatak vodorazrijedivih premaza prilikom nanošenja, a to su niska temperatura i visoka relativna vlažnost. Kako bi ishlapilo 100% vode iz premaza pri temperaturi od 5°C i relativnoj vlažnosti zraka od 85% potrebno je otprilike 200 min,

dok je pri temperaturi od 40°C i relativnoj vlažnosti zraka od 50% potrebno otprilike 20 min što je 10 puta kraće.



Slika 28. Hlapljenje vode iz vodorazrijedivog akrilnog završnog sloja [14]

## 6.9 Ekološki propisi i njihov utjecaj na budućnost

Posljednjih godina ekološki propisi sve više i izričitije nameću određena pravila za proizvodnju premaza. U početku se to odnosilo na dekorativne premaze, no sad i za industrijske premaze. Propisi se konkretno odnose na otapala tj. na smanjenje štetnih tvari koje ona sadrže, a sve u svrhu zaštite čovjeka i okoliša. Europska unija je donijela odluku kako se štetne tvari u otapalima moraju smanjiti na minimum ili upotrebljavati druge ekološke načine zaštite od korozije kao što su plastificiranje, vodorazrijedivi ili premazi bez otapala. Na najboljoj adekvatnoj zamjeni BBO treba još poraditi jer zamjene imaju određene prednosti, ali i mane. Boje bez otapala imaju dva glavna nedostatka, a to da na temperaturama ispod 10°C jako slabo suše i imaju slabiju koruzijsku postojanost u usporedbi sa VRP i BBO. Plasifikacija je jako dobra i kvalitetna metoda zaštite od korozije čiji je glavni nedostatak dimenzijska ograničenost dijelova koje trebamo zaštititi. Na kraju ostaju vodorazrijedivi premazi, no njihovo bitno ograničenje su klimatski uvjeti prilikom nanošenja premaza. Potrebna je dobra kontrola temperature, relativne vlažnosti i ventilacije tijekom nanošenja. Isto tako imaju ograničenja u upotrebi pod vodom, na visokim temperaturama i u dodiru s agresivnim spojevima. Unatoč tome, vodorazrijedivi

premazi se i dalje usavršavaju kako bi imali slične ili još bolje karakteristike od boja na bazi otapala, a cijeli taj razvoj ubrzavaju i zakonske VOC tj. HOS regulative [12].

### **6.9.1 Zakon o graničnim vrijednostima sadržaja hlapivih organskih spojeva u određenim bojama i lakovima i proizvodima za završnu obradu vozila u Republici Hrvatskoj**

*Hlapivi organski spoj (HOS)* je svaki organski spoj čija je početna točka vrelišta niža ili jednaka 250°C, izmjerena pri standardnom tlaku od 101,3 kPa. *Sadržaj hlapivih organskih spojeva* je masa hlapivih organskih spojeva, izražena u gramima po litri (g/l), u proizvodu koji je spreman za uporabu. Masa hlapivih organskih spojeva u danom proizvodu koji kemijski reagira tijekom sušenja stvarajući dio premaza ne smatra se dijelom sadržaja hlapivog organskog spoja.

Nakon usvajanja Direktive Europske Unije o hlapljivim organskim spojevima (VOC-Directiva 1999/13/EC), koja predstavlja osnovni instrument ograničavanja emisija HOS-eva nastalih upotrebom organskih otapala, zemlje članice EU su trebale najkasnije do travnja 2001. godine, u svoja nacionalna zakonodavstva ugraditi instrumente definirane Direktivom koji bi omogućili da emisije HOS-eva iz svih postrojenja koja spadaju u nadležnost Direktive budu ispod propisanih graničnih vrijednosti. Postojeća industrijska postrojenja morala su se prilagoditi izmijenjenom zakonodavstvu najkasnije do 31. listopada 2007. godine, poštujući granične vrijednosti emisija ili usvajanjem plana smanjenja emisija najkasnije do 31. listopada 2005. godine [15].

Od 1999. godine emisija štetnih tvari smanjila se 67%. Vidi se da VOC propisi imaju veliku ulogu u smanjenju emisije, a u budućnosti će se još i postrožiti [12].

Tablica 17: Granične vrijednosti sadržaja HOS-eva u proizvodima koji se stavljaju na tržište i moraju se postići do 31. ožujka 2008. [16]

A	KATEGORIJA: BOJE I LAKOVI		
	Potkategorija proizvoda	Vrsta premaza	Granična vrijednost sadržaja HOS-eva, g/l
a)	Mat premazi za unutarnje zidove i stropove (sjaj $\leq 25\%60^\circ$ )	VP OP	75 400
b)	Sjajni premazi za unutarnje zidove i stropove (sjaj $> 25\%60^\circ$ )	VP OP	150 400
c)	Premazi za vanjske zidove od mineralnih supstrata	VP OP	75 450
d)	Boje za unutarnje/vanjsko ukrašavanje i oblaganje drveta, metala ili plastike	VP OP	150 400
e)	Lakovi i neprozirne lazure, za unutarnje i vanjsko uređenje	VP OP	150 500
f)	Tankoslojne lazure za drvo	VP OP	150 700
g)	Temeljni premazi	VP OP	50 450
h)	Vezujući temeljni premazi	VP OP	50 750
i)	Jednokomponentni funkcionalni premazi	VP OP	140 600
j)	Dvokomponentni funkcionalni premazi	VP OP	140 550
k)	Višebojni premazi	VP OP	150 400
l)	Dekoratívni premazi	VP OP	300 500

Tablica 18: Granične vrijednosti sadržaja HOS-eva u proizvodima koji se stavljaju na tržište i moraju se postići do 1. siječnja 2010. [16]

A	KATEGORIJA: BOJE I LAKOVI		
	Potkategorija proizvoda	Vrsta premaza	Granična vrijednost sadržaja HOS-eva, g/l
a)	Mat premazi za unutarnje zidove i stropove (sjaj $\leq 25\%60^\circ$ )	VP OP	30 30
b)	Sjajni premazi za unutarnje zidove i stropove (sjaj $> 25\%60^\circ$ )	VP OP	100 100
c)	Premazi za vanjske zidove od mineralnih supstrata	VP OP	40 430

d)	Boje za unutarnje/vanjsko ukrašavanje i oblaganje drveta, metala ili plastike	VP OP	130 300
e)	Lakovi i neprozirne lazure, za unutarnje i vanjsko uređenje	VP OP	130 400
f)	Tankoslojne lazure za drvo	VP OP	130 700
g)	Temeljni premazi	VP OP	30 350
h)	Vezujući temeljni premazi	VP OP	30 750
i)	Jednokomponentni funkcionalni premazi	VP OP	140 500
j)	Dvokomponentni funkcionalni premazi	VP OP	140 500
k)	Višebojni premazi	VP OP	100 100
l)	Dekoratívni premazi	VP OP	200 200

Tablica 19: Granične vrijednosti sadržaja HOS-eva u proizvodima za završnu obradu vozila koji se stavljaju na tržište i moraju se postići do 31. ožujka 2008. [16]

B KATEGORIJA: PROIZVODI ZA ZAVRŠNU OBRADU VOZILA			
	Potkategorija proizvoda	Premazi	Granična vrijednost sadržaja HOS-eva, g/l
a)	Proizvodi za pripremu i čišćenje	Proizvodi za pripremu Sredstva za pretpranje	850 200
b)	Grubi kit/zapunjač	Sve vrste	250
c)	Temelj	Fini kit/zapunjač i opći temelj za metal Reaktivni temelji	540 780
d)	Završni premaz	Sve vrste	420
e)	Specijalni završni premazi	Sve vrste	840

## 7. PRIMJERI UPOTREBE VODORAZRIJEDIVIH I HIBRIDNIH PREMAZA

### *Primjer 1: Vodorazrijedivi premazni sistem*

16 željezničkih i cestovnih mostova u Melbournu u Australiji zaštićeno je debeloslojnim cink silikatnim premazom. Neki mostovi u eksploataciji su 37 godina i još su u izvrsnom stanju.



Slika 29. Most zaštićen vodorazrijedivim premazom [12]

### *Primjer 2: Vodorazrijedivi premazni sistem*

Naftna platforma u Bass Strait između južne Australije i Tasmanije obojana vodorazrijedivim anorganski cink silikatnim temeljnim premazom 1990. godine.



Slika 30. Platforma zaštićena vodorazrijedivim premazom [14]

*Primjer 3: Vodorazrijedivi premaz*

Vodorazrijedivi premazni sistem velike debljine filma koji se upotrebljava za HD korozijsku zaštitu nosivih čeličnih konstrukcija na mostu kojim prolazi autocesta.



Slika 31. Dijelovi mosta zaštićeni vodorazrijedivim premaznim sistemom [14]

*Primjer 4: Hibridni premazni sistem*

Spremnik za naftu u Esso Slagentagen u Norveškoj zaštićen 1995. godine poliuretanskim završnim slojem. Svjetloplavi kvadrat na dnu spremnika predstavlja akrilni vodorazrijedivi završni sloj nanesen u isto vrijeme kad i PUR sloj. Vodorazrijedivi sloj je zadržao svoju početnu boju i sjaj dok je PUR sloj izbljedio.



Slika 32. Spremnik za naftu zaštićen sistemom boja na bazi otapala i hibridnim sistemom [14]

*Primjer 5: Hibridni premazni sistem*

Spremnik za naftu, zapadna obala Norveške, obojan 1995. godine sa sistemom 6 (Vidi poglavlje 6.7). Zaštitni premaz se pokazao odličnim i nakon 5 godina eksploatacije.



Slika 33. Spremnik za naftu zaštićen hibridnim premaznim sistemom [12]

*Primjer 6: Hibridni premazni sistem*

Cjevovod za plin, Alžir, obojan 1995. godine sa sistemom 3 (Vidi poglavlje 6.7). Zaštitni premaz se pokazao odličnim i nakon 5 godina eksploatacije.



Slika 34. Cjevovod za plin zaštićen hibridnim premaznim sistemom [12]



## 8. EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni dio diplomskog rada sastojao se od nanošenja premaznih sistema na bazi otapala na aluminijske i čelične uzorke te ispitivanja u slanoj komori, vlažnoj komori, UV komori, ispitivanja uranjanjem, ispitivanja tvrdoće, prionjivosti, ispitivanja debljine premaza te elektrokemijskih ispitivanja. Eksperimentalnim dijelom se želi pokazati kako boje na bazi otapala sa smanjenim sadržajem HOS-eva, kako bi udovoljile uredbi, pružaju jednako dobru antikorozivnu zaštitu kao i boje na bazi otapala koje su povučene sa tržišta zbog zakonskih regulativa.

U eksperimentu se koristilo 16 aluminijskih uzoraka i 16 pocinčanih čeličnih uzoraka.

### 8.1 Tehnologija nanošenja premaza

Nanošenje premaza odvijalo se u nekoliko važnih koraka:

#### Korak 1. Odmašćivanje uzoraka

Odmašćivanje se izvodilo Glasurit čistačem 360-4 i papirom za čišćenje.

#### Korak 2. Mehanička priprema površine

Mehanička priprema površine se izvodila brušenjem. Koristila se ručna vibraciona brusilica i brusni papir klase P 150.



Slika 35. Ručna vibraciona brusilica [17]

#### Korak 3. Odstranjivanje brusne prašine ispuhivanjem

#### Korak 4. Nanošenje temeljnog premaza

Nanošenje premaza obavljalo se zračnim prskanjem.

Kao temeljni premaz koristio se Glasurit epoksi premaz (vidi Prilog 1).

Temeljni premaz sastoji se od:

- baze 801-703,
- otvrđivača 965-53 i
- razrjeđivača 352-216 koji se miješaju u omjeru 4:1:1.

Promjer sapnice pištolja za zračno prskanje je 1,5 mm.

Premaz se nanosi u dva prolaza i ukupna debljina sloja je 40-50  $\mu\text{m}$ .



Slika 36. Uzorci prevučeni temeljnim premazom [17]

#### Korak 5. Sušenje

Sušenje je obavljeno u lakirnici na temperaturi od 60°C i trajanju od 30 minuta.



Slika 37. Uređaj za regulaciju temperature i ventilacije [17]

#### Korak 6. Nanošenje međusloja

Kao međuslojni premaz koristio se Glasurit poliakrilni premaz (vidi Prilog 2).

Međuslojni premaz sastoji se od:

- baze 284-20,
- otvrđivača 922-16/18 i
- razrjeđivača 352-216 koji se miješaju u omjeru 4:1:1.

Promjer sapnice pištolja za zračno prskanje je 1,5 mm.

Premaz se nanosi u tri prolaza i ukupna debljina sloja je 50-60  $\mu\text{m}$ .



Slika 38. Nanošenje međuslojnog premaza [17]

#### Korak 7. **Sušenje**

Sušenje je obavljeno na temperaturi od 60°C u trajanju od 60 minuta.

#### Korak 8. **Prozračivanje**

Nakon sušenja, uzorci su prozračeni na okolišnoj temperaturi u trajanju od 5 minuta.

#### Korak 9. **Nanošenje kontrolnog spreja**

Kontrolni sprej nanešen je na uzorke prskanjem (maglenjem) zbog ispitivanja površinskih grešaka koje se nakon brušenja očituju kao sitne crne točkice.

Kontrolni sprej sastoji se od:

- boje 581-40/90 i
- razrjeđivača 352-216 koji se miješaju u omjeru 1:9.

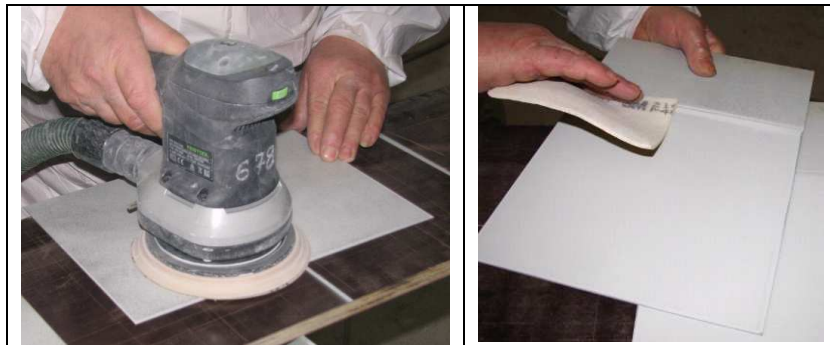
Sprej se nanosi jednim prskanjem.



Slika 39. Nanošenje kontrolnog praška [17]

### Korak 10. **Brušenje**

Koristila se ručna vibraciona brusilica i brusni papir klase P 320. Uglovi i rubovi ručno superfino izbrušeni sa Softpad brusnim papirom.



Slika 40. Brušenje uzoraka [17]

### Korak 11. **Odstranjivanje brusne prašine ispuhivanjem**



Slika 41. Ispuhivanje prašine [17]

### Korak 12. **Završno čišćenje**

Neposredno prije samog lakiranja, uzorci su očišćeni sredstvom za odstranjivanje prašine 541-5. Nakon toga je obavljeno još jedno ispuhivanje, a zatim su sa posebnom krpom za prašinu završno obrisane površine za lakiranje.



Slika 42. Čišćenje uzoraka sredstvom za odstranjivanje prašine [17]



Slika 43. Odstranjivanje prašine Würth Staubbinderuch krpom [17]

### Korak 13. Nanošenje završnog laka

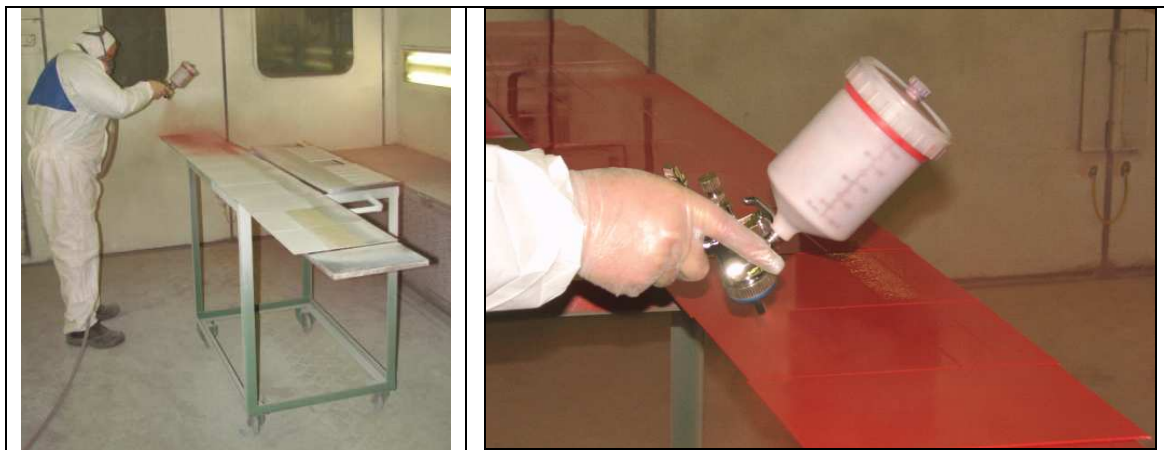
Kao završni lak koristio se Glasurit modificirani poliakrilni premaz (vidi Prilog 3).

Završni lak sastoji se od:

- baze 68-RAL 3000,
- otvrđivača 922-36/38 i
- razrjeđivača 352-216 koji se miješaju u omjeru 4:1:1.

Promjer sapnice pištolja za zračno prskanje je 1,4 mm.

Premaz se nanosi u dva prolaza i ukupna debljina sloja je 40-50  $\mu\text{m}$ .



Slika 44. Nanošenje završnog laka [17]

### Korak 14. Sušenje

Završno sušenje je obavljeno na temperaturi od 60°C u trajanju od 30 minuta. Nakon sušenja premaz je suh, ali još uvijek nije otporan na mehaničko djelovanje pa mora još neko vrijeme sušiti na okolišnom zraku.

## 8.2 Priprema uzoraka za ispitivanje

Nakon obavljenog lakiranja i sušenja uzorci su razvrstani i pripremljeni za ispitivanja. Aluminijski uzorci odvojeni su na jednu stranu i označeni oznakama A1...16 dok su čelični uzorci označeni oznakama B1...16.



Slika 45. Razvrstavanje uzoraka za ispitivanje [17]

Tablica 20: Raspored uzoraka za ispitivanje

Ispitivanje	Ispitni uzorak	Ispitivanje	Ispitni uzorak
Slana komora	A3	UV komora	A12
	A4		B12
	B3	Tvrdoća	A2
	B4		B2
Vlažna komora	A5	Uranjanje u vodenu otopinu 5% NaCl	A13
	A6		B13
	B5	Uranjanje u vodovodnu vodu	A14
	B6		B14
Za ispitivanje adhezije predviđeni su uzorci A7 i B7 i svi ostali uzorci nakon predviđenih ispitivanja.			
Za elektrokemijska ispitivanja predviđeni su uzorci A16 i B16 te nezaštićeni uzorci A0 i B0.			

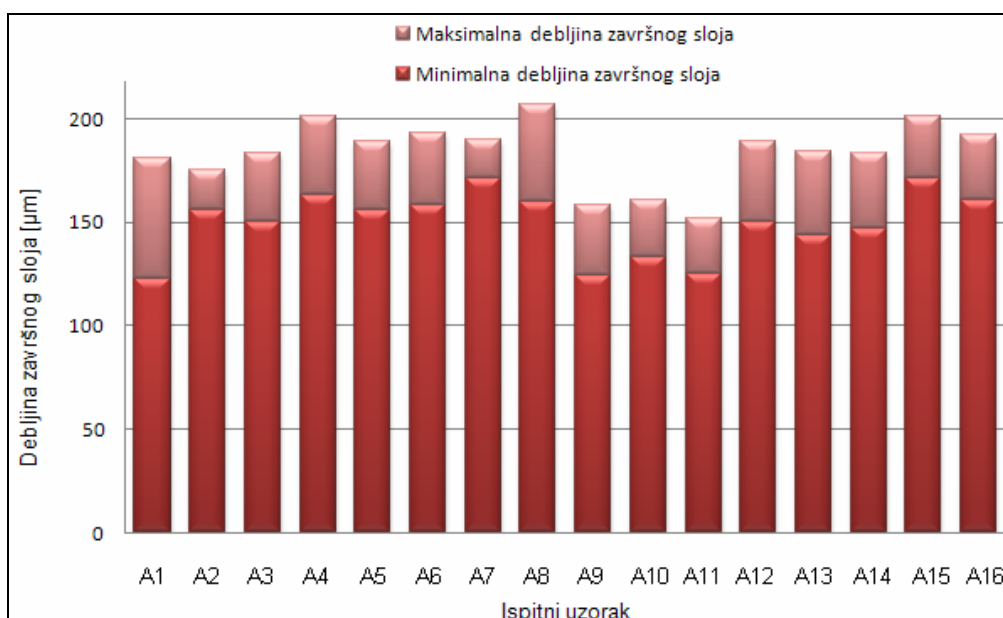
Kao što se vidi iz Tablice 20., neki uzorci nisu uvršteni u ispitivanja iz razloga što je potrebno imati nekoliko referentnih uzoraka za usporedbu.

### 8.3 Mjerenje debljine premaza

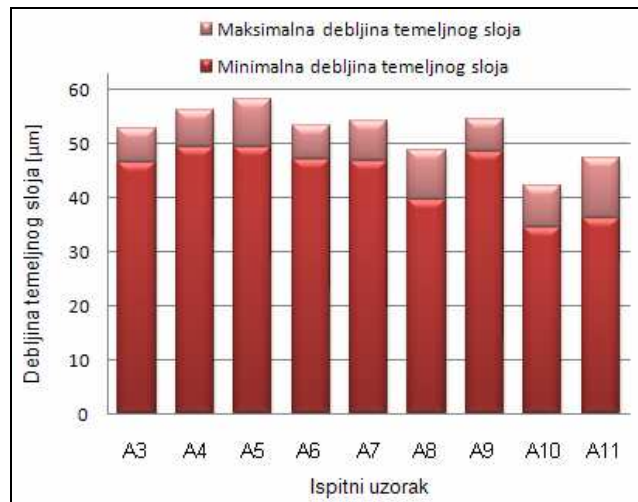
Mjerenje debljine premaza provedeno je na svim uzorcima prije korozijskih ispitivanja sukladno normi EN ISO 2360. Za mjerenje debljine korišten je uređaj QuaNix 1500 koji ima mogućnost spremanja podataka za svaki sloj u blokove. Za svaki sloj izvršeno je po deset mjerenja. Nakon izvršenog mjerenja uređaj se spaja na računalo i dobivaju se statistički podaci vezani uz debljinu prevlake (vidi Prilog 4).



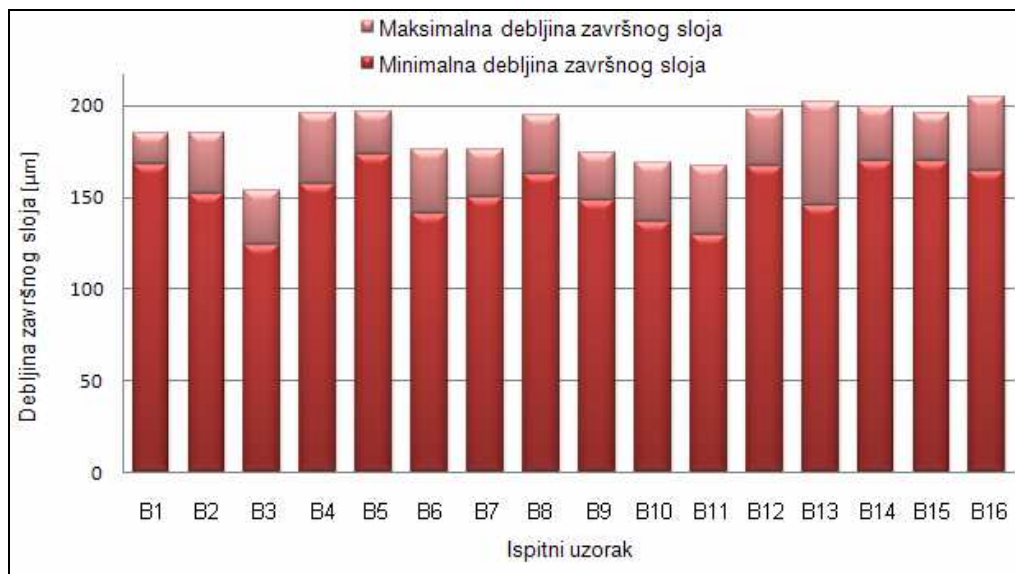
Slika 46. Mjerenje debljine prevlake po slojevima [17]



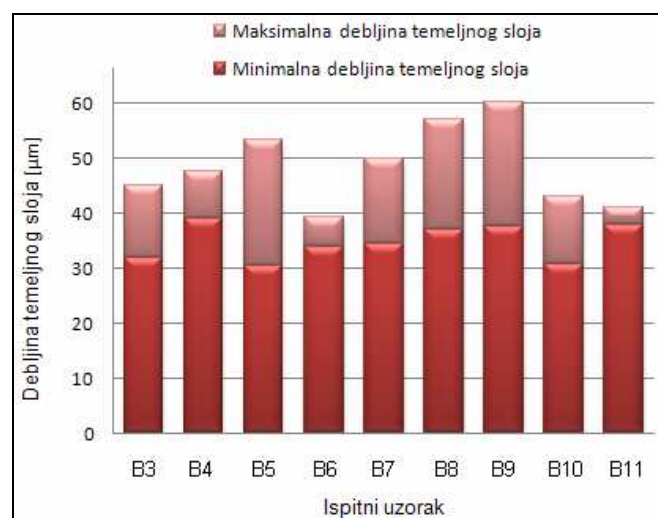
Slika 47. Minimalne i maksimalne debljine završnih slojeva aluminijskih uzoraka



Slika 48. Minimalne i maksimalne debljine temeljnih slojeva aluminijskih uzoraka



Slika 49. Minimalne i maksimalne debljine završnih slojeva čeličnih uzoraka



Slika 50. Minimalne i maksimalne debljine temeljnih slojeva čeličnih uzoraka



Tablica 21: Minimalne i maksimalne debljine premaza po uzorcima

Debljina završnog laka [μm]			Debljina temeljnog sloja [μm]			Debljina međusloja [μm]		
Aluminijski uzorci			Aluminijski uzorci			Aluminijski uzorci		
Uzorak	Maksimum	Minimum	Uzorak	Maksimum	Minimum	Uzorak	Maksimum	Minimum
A1	181	123	A3	52,9	46,5	A10	123	103
A2	175	156	A4	56,1	49,3	A11	114	105
A3	183	150	A5	58,1	49,3	Čelični uzorci		
A4	201	163	A6	53,4	47,1	B10	120	96,3
A5	189	156	A7	54,1	46,7	B11	111	96,8
A6	193	158	A8	48,9	39,6			
A7	190	171	A9	54,6	48,5			
A8	207	160	A10	42,2	34,4			
A9	158	124	A11	47,3	36,1			
A10	161	133	Čelični uzorci					
A11	152	125	B3	45	31,8			
A12	189	150	B4	47,6	39			
A13	184	144	B5	53,2	30,5			
A14	183	147	B6	39,2	33,9			
A15	201	171	B7	49,9	34,4			
A16	192	161	B8	57,2	37			
Čelični uzorci			B9	60,1	37,6			
B1	185	168	B10	43	30,8			
B2	185	152	B11	41,1	37,9			
B3	154	124						
B4	196	157						
B5	197	173						
B6	176	141						
B7	176	150						
B8	195	163						
B9	174	148						
B10	169	137						
B11	167	129						
B12	198	167						
B13	202	146						
B14	199	170						
B15	196	170						
B16	205	164						

Iz Tablice 21. se vidi kako dobivene debljine premaza prate preporuke proizvođača uz manja odstupanja završnog sloja koja su rezultat preklapanja i vezanja slojeva prilikom nanošenja. Maksimalna debljina sa završnim lakom bi trebala biti oko 160 μm, sa međuslojem oko 110 μm, a temeljnog sloja oko 50 μm.

#### 8.4 Ispitivanje u UV komori

Ispitivanje se vrši prema normi HRN EN ISO 4892-2 u svrhu dobivanja rezultata otpornosti završnog laka na UV zračenje. Ispitivanje se obavlja u SOLARBOX 522/1500e UV komori u trajanju od 800 h (~33 dana).



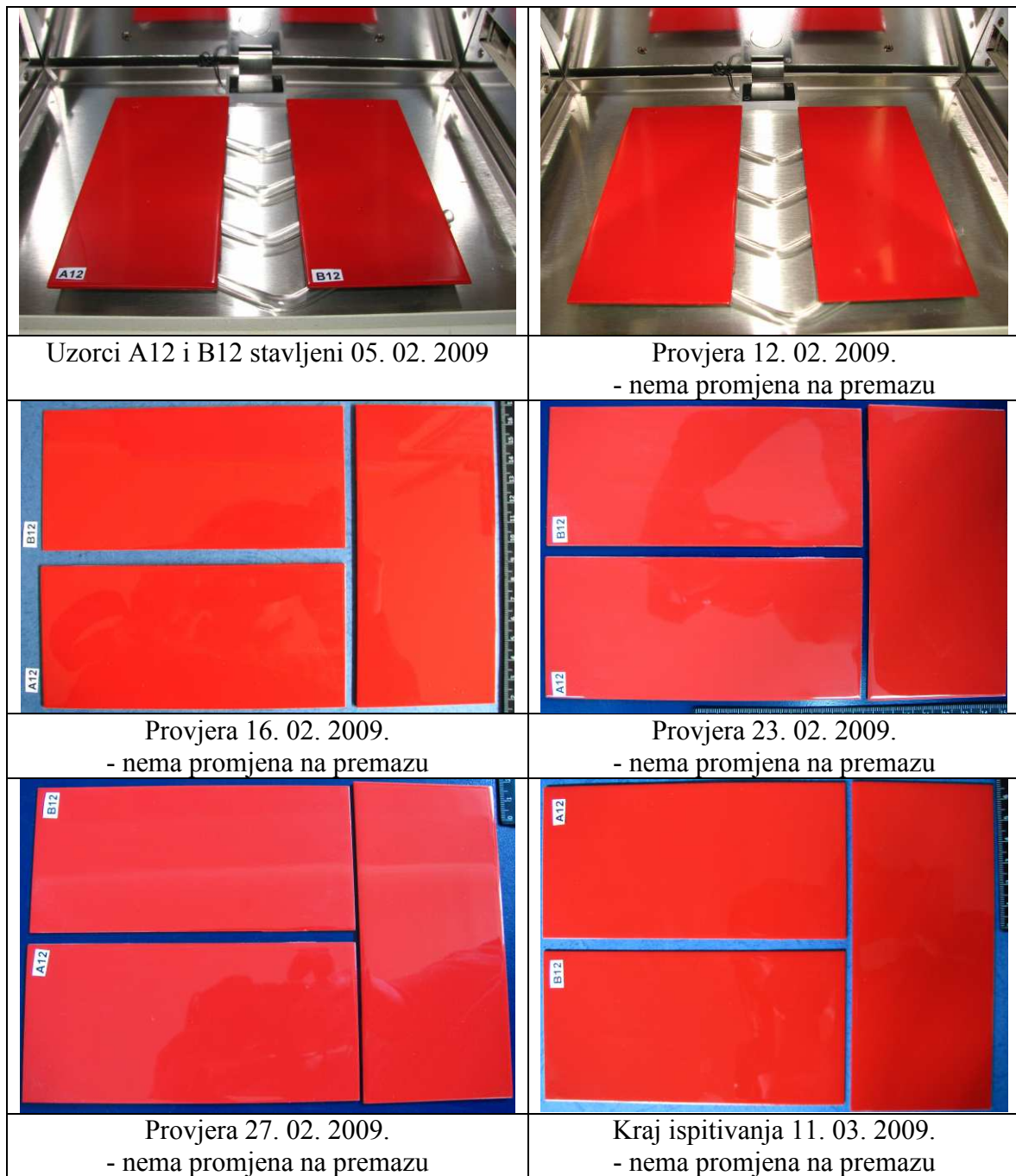
Slika 51. UV komora [17]

Ispitivanje se provelo na sljedećim uzorcima:

A12 - aluminijski uzorak dimenzija 150×70,

B12 - čelični uzorak dimenzija 150×70.

Glavna prednost akrilnih boja je njihova otpornost na UV zračenje što se je i potvrdilo ovim ispitivanjem. Nakon završenog ispitivanja od 800 h utvrđeno je kako nema promjene u nijansi i sjaju (vidi Slika 52).



Slika 52. Stanje uzoraka prije i tijekom ispitivanja u UV komori [17]

## 8.5 Ispitivanje uranjanjem

Ispitivanje se vrši prema normi ASTM G44 i koristi se za ispitivanje aluminijskih i željeznih legura. Ciklus je podijeljen u dva dijela tj. 10 minuta uranjanja u 5%-tnu vodenu otopinu NaCl-a odnosno vodovodnu vodu te nakon toga 50 minuta sušenja uzoraka na slobodnoj atmosferi nakon izranjanja. Ovaj ciklus se neprekidno ponavlja tijekom 24 sata u danu u trajanju od ~768 h (32 dana). Metoda izmjeničnim uranjanjem u 5%-tnu vodenu otopinu NaCl-a široko je primjenjiva i daje dobre rezultate u pogledu procjene otpornosti metala prema koroziji u uvjetima promjenjivih okolišnih uvjeta.

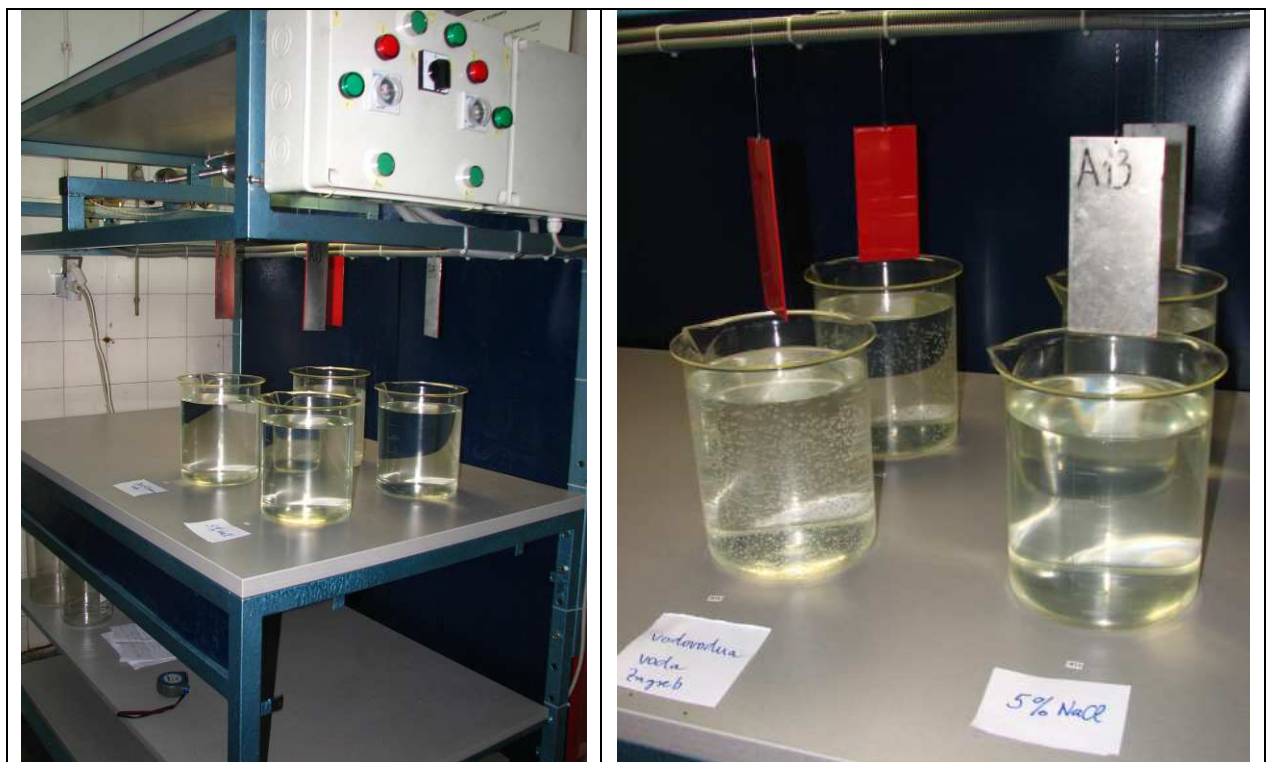
Ispitivanje se provelo na sljedećim uzorcima:

A13 - aluminijski uzorak dimenzija 150×70 stavljen u 5%-tnu vodenu otopinu NaCl-a,

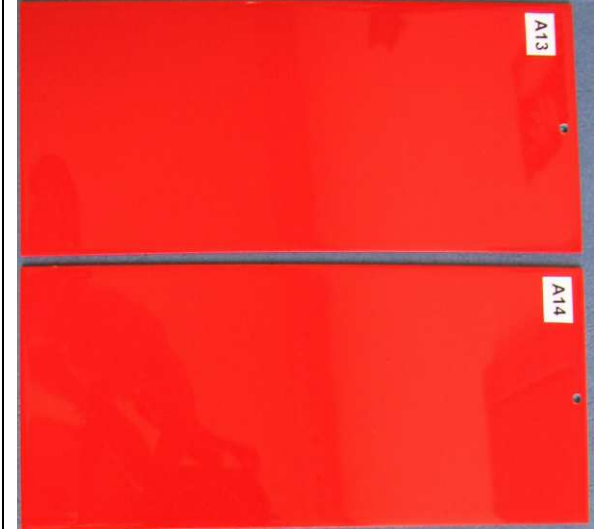





A14 - aluminijski uzorak dimenzija 150×70 stavljen u vodovodnu vodu Zagreb,

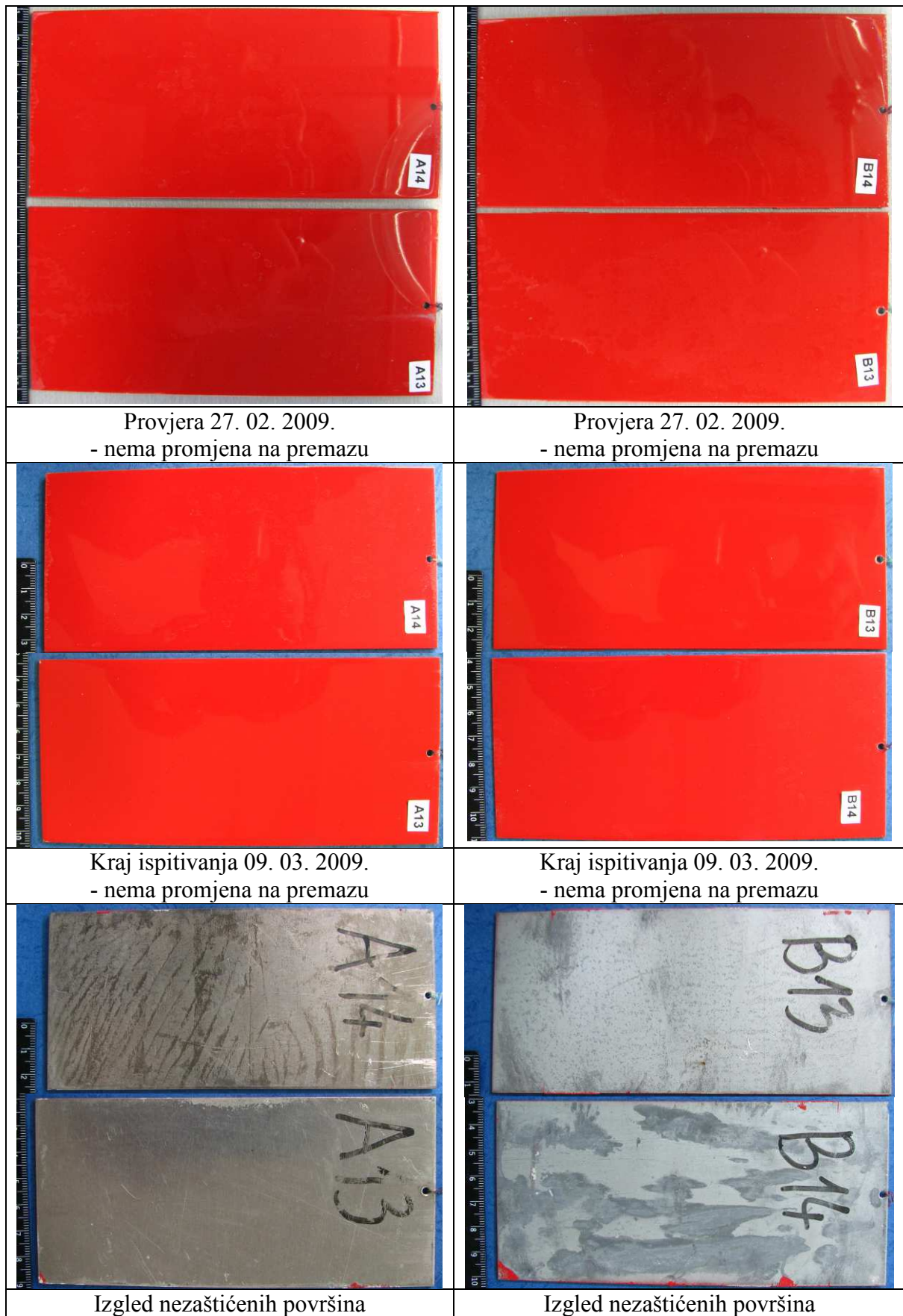
B13 - čelični uzorak dimenzija 150×70 stavljen u 5%-tnu vodenu otopinu NaCl-a,

B14 - čelični uzorak dimenzija 150×70 stavljen u vodovodnu vodu Zagreb.



Slika 53. Uređaj za ispitivanje uranjanjem [17]

Aluminijski uzorci	Čelični uzorci
	
Uzorci A13 i A14 stavljeni 05. 02. 2009	Uzorci B13 i B14 stavljeni 05. 02. 2009
	
Provjera 16. 02. 2009. - nema promjena na premazu	Provjera 16. 02. 2009. - nema promjena na premazu
	
Provjera 23. 02. 2009. - nema promjena na premazu	Provjera 23. 02. 2009. - nema promjena na premazu



Slika 54. Stanje uzoraka prije i tijekom ispitivanja uranjanjem [17]

### Nezaštićeni uzorci u vodovodnoj vodi

- aluminijski uzorak A13 je postojan prema pojavi korozije
  - čelični uzorak B13 je također postojan prema pojavi korozije jer otapanjem cinkovog oksida  $ZnO_2$  nastaje cinkov hidroksid  $Zn(OH)_2$  koji ima zaštitna svojstva
- Uzorci A13 i B13 mogu se upotrebljavati i bez zaštite premazima ukoliko su izloženi vodi čiji je sastav isti ili sličan vodovodnoj vodi iz Zagreba koja se koristila u ispitivanju.

### Nezaštićeni uzorci u 5%-tnoj vodenoj otopini NaCl-a

- aluminijski uzorak A14 nije postojan prema pojavi korozije. Cijeli pasivni film je razoren i nastupa ubrzana korozija.
  - čelični uzorak B14 također nije postojan prema pojavi korozije jer se stvaraju cinkovi kloridi  $ZnCl_2$  (siva nezaštićena područja) dok se cinkov hidroksid  $Zn(OH)_2$  (bijela područja) koji ima zaštitna svojstva otapa.
- Uzorci A14 i B14 ne mogu se upotrebljavati bez zaštite premazima ukoliko su izloženi slanoj vodi čiji je sastav isti ili sličan slanoj vodi koja se koristila u ispitivanju.

Zaštićeni uzorci nakon uranjanja od 32 dana u vodovodnu vodu odnosno vodenu otopinu 5% NaCl-a pokazuju izvrsnu otpornost prema koroziji.

## 8.6 Ispitivanje u vlažnoj komori

Ispitivanje se vrši prema normi DIN EN ISO 6270-2 u svrhu prepoznavanja grešaka antikorozivne zaštite u vlažnim i toplim klimatskim sredinama. Za ispitivanje je odabrana konstantna klima s kondenziranom destiliranom vodom. Temperatura u komori iznosi  $40\pm 3^{\circ}\text{C}$ , a relativna vlažnost zraka oko 100% s orošavanjem uzoraka.

Ispitivanja se vrše u trajanju od ~672 h (28 dana).

Ispitivanje se provelo na sljedećim uzorcima:

A5 - aluminijski uzorak dimenzija formata A4,

A6 - aluminijski uzorak dimenzija formata A4,

B5 - čelični uzorak dimenzija formata A4,





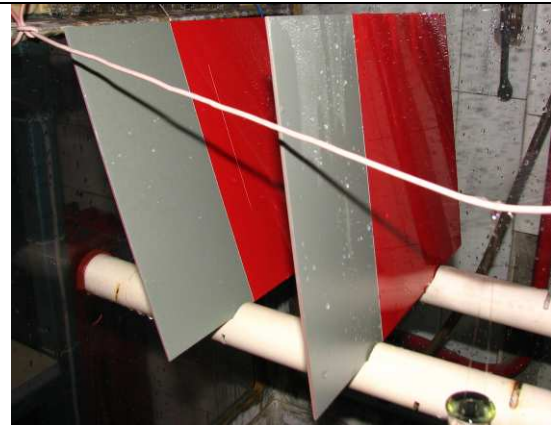
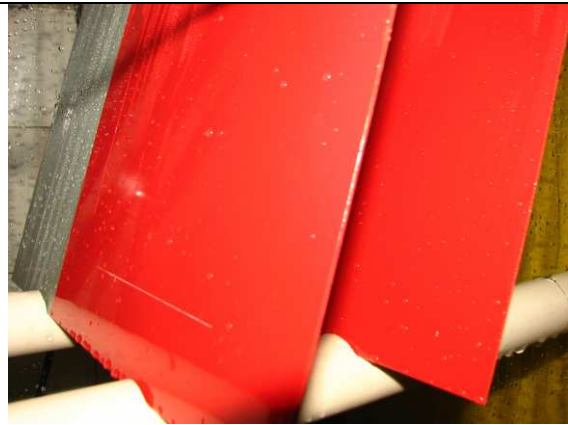
B6 - čelični uzorak dimenzija formata A4.

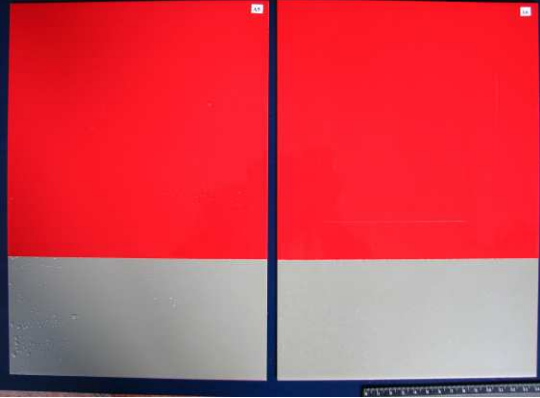

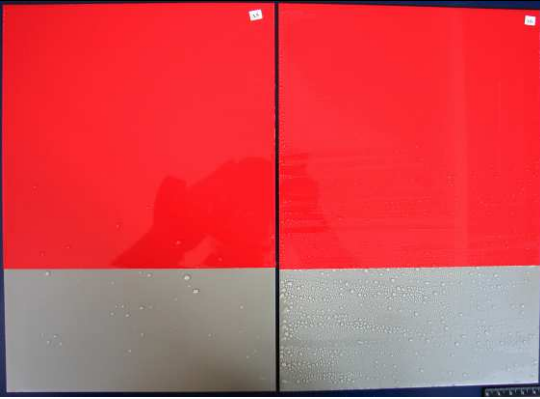




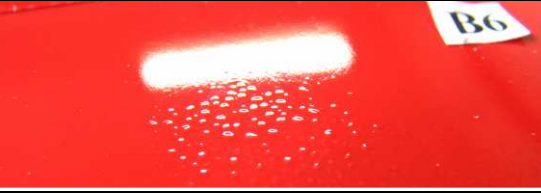


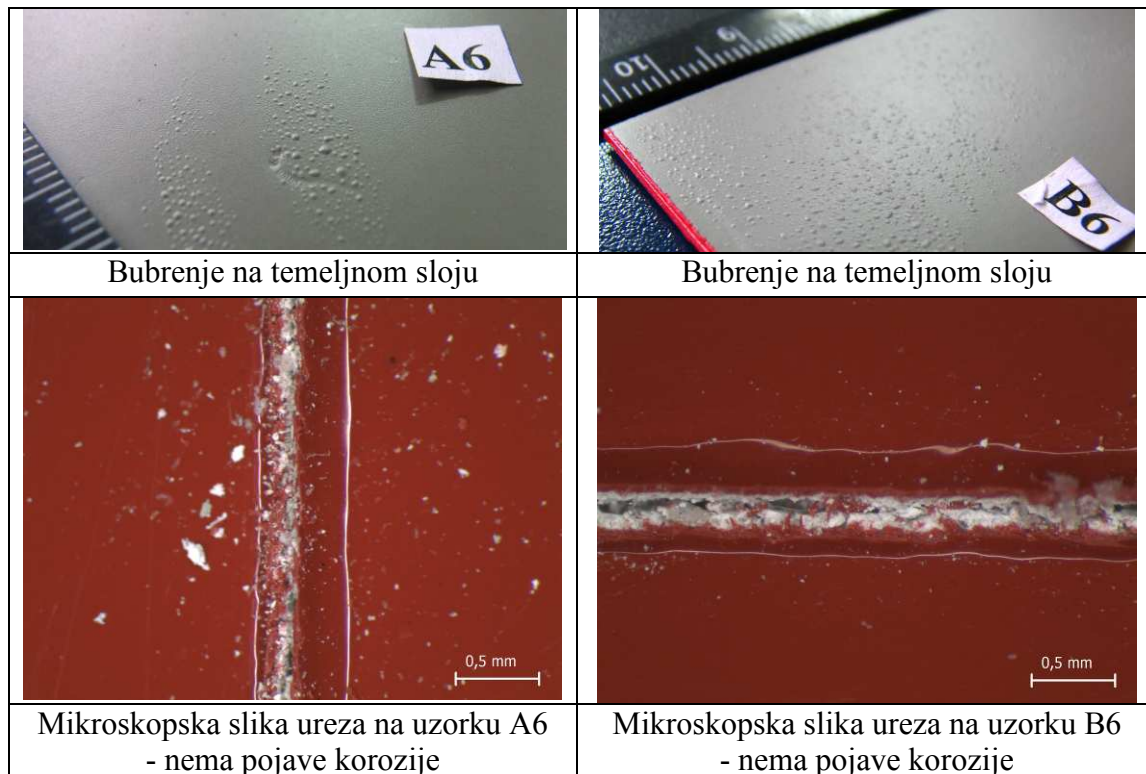
Slika 55. Vlažna komora [17]

Na uzorke A6 i B6 urezani su urezi prema normi EN ISO 7253 koji ubrzavaju proces nastanka korozije.



	
<p>Urezivanje ureza skalpelom</p>	<p>Izgled ureza</p>
<p><b>Aluminijski uzorci</b></p>	<p><b>Čelični uzorci</b></p>
	
<p>Uzorci A5 i A6 stavljeni 09. 02. 2009</p>	<p>Uzorci B5 i B6 stavljeni 09. 02. 2009</p>
	
<p>Provjera 16. 02. 2009. - nema promjena na premazu</p>	<p>Provjera 16. 02. 2009. - nema promjena na premazu</p>

	
Provjera 23. 02. 2009. - nema promjena na premazu	Provjera 23. 02. 2009. - nema promjena na premazu
	
Provjera 27. 02. 2009. - nema promjena na premazu	Provjera 27. 02. 2009. - nema promjena na premazu
	
Kraj ispitivanja 09.03. 2009. - pojava lokalnog bubrenja, no nema znakova korozije	Kraj ispitivanja 09. 03. 2009. - pojava lokalnog bubrenja, no nema znakova korozije
	
Bubrenje na završnom sloju	Bubrenje na završnom sloju



Slika 56. Stanje uzoraka prije i tijekom ispitivanja u vlažnoj komori [17]

Iako na uzorcima nije bilo pojave korozije ipak je došlo do nastanka bubrenja na nekim mjestima. Nakon što su izvađeni uzorci odstajali neko vrijeme na zraku kako bi se osušili, cross-cut test je pokazao kako na tim mjestima dolazi do smanjenja adhezije i razaranja zaštitnih slojeva (vidi Slika 61.).

Mogući uzrok nastajanja lokalnog bubrenja je onečišćenje površine mašću, uljem, soli i sl. Nečistoće sa površine privlače vlagu koja penetrira kroz sloj premaza i stvara mjehur.

Na urezima nije primjećena pojava korozije koja se širi ispod premaza.

Na kraju ispitivanja količina kondenzata iznosila je ~200ml.

### 8.7 Ispitivanje u slanoj komori

Ispitivanje u slanoj komori sukladno normi HRN ISO 9227. Za ispitivanje se koristila 5%-tna vodena otopina NaCl-a, a temperatura u slanoj komori je iznosila 35°C.

Ispitivanje je provedeno u trajanju od 240 h (10 dana) u komori Ascott, model S450.

Ispitivanje se provelo na sljedećim uzorcima:

A3 - aluminijski uzorak dimenzija formata A4,

A4 - aluminijski uzorak dimenzija formata A4,


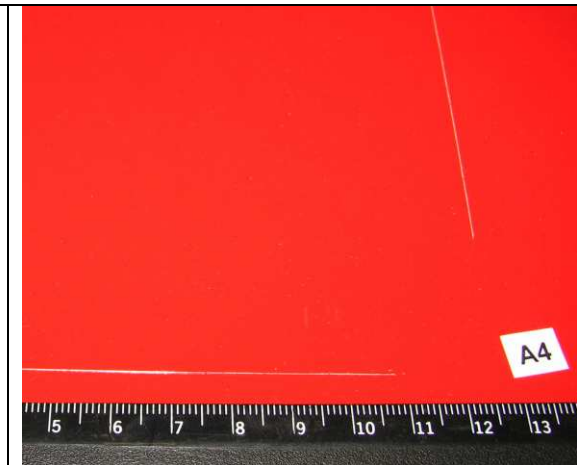


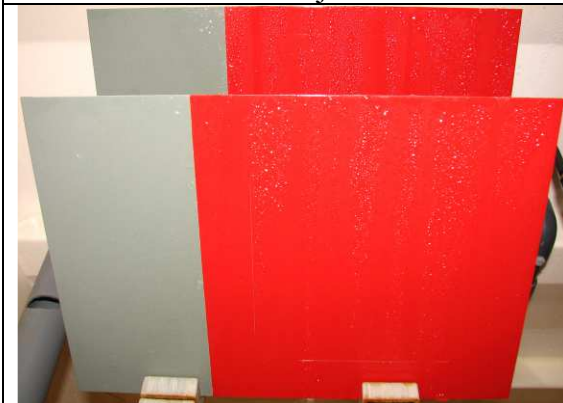

B3 - čelični uzorak dimenzija formata A4,

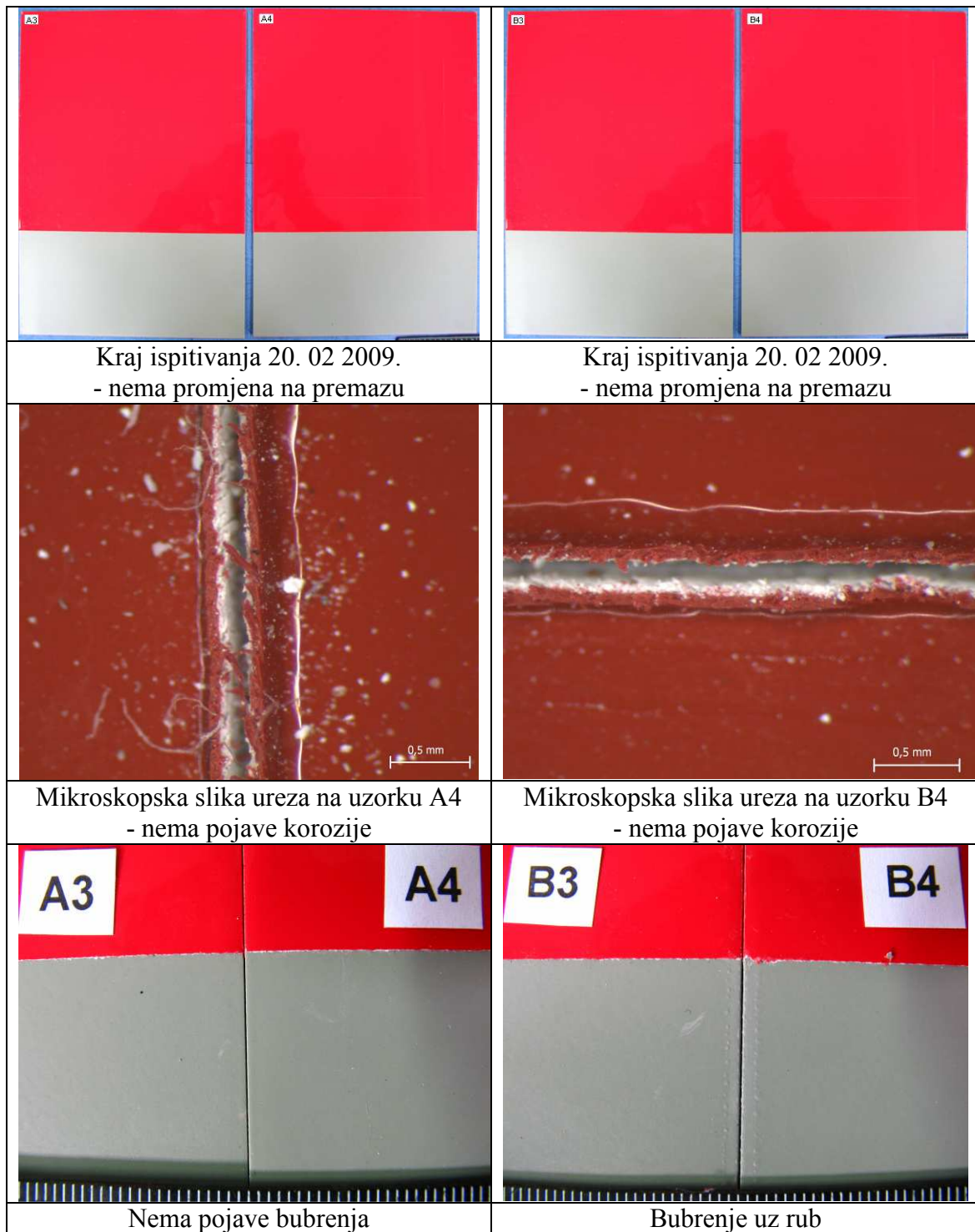
B4 - čelični uzorak dimenzija formata A4.



Slika 57. Slana komora [17]

Na uzorke A4 i B4 urezani su urezi prema normi EN ISO 7253 koji ubrzavaju proces nastanka korozije.

	
<p>Urezivanje ureza skalpelom <b>Aluminijski uzorci</b></p>	<p>Izgled ureza <b>Čelični uzorci</b></p>
	
<p>Uzorci A3 i A4 stavljeni 10. 02. 2009</p>	<p>Uzorci B3 i B4 stavljeni 10. 02. 2009</p>
	
<p>Provjera 16. 02 2009. - nema promjena na premazu</p>	<p>Provjera 16. 02 2009. - nema promjena na premazu</p>



Slika 58. Stanje uzoraka prije i tijekom ispitivanja u slanoj komori [17]

Ispitivanja u slanoj komori pokazala su kako je odabrani zaštitni sistem postojan prema agresivnim sredinama. Čak i na uzorcima na kojima je urezan urez nema pojave korozije koja se širi ispod premaza.

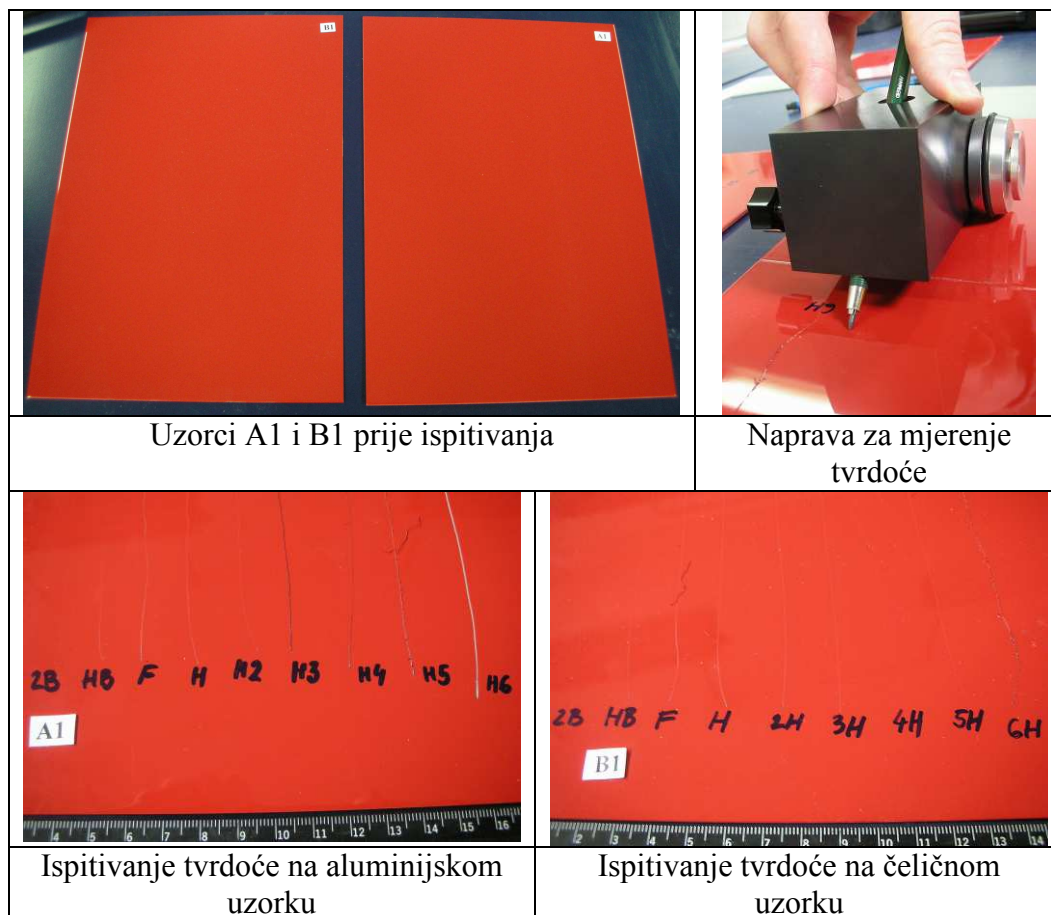
## 8.8 Ispitivanje tvrdoće premaza

Jedan od zahtjeva koji se postavlja na premaz kojim se antikorozivno zaštićuje metalna površina je njegova tvrdoća. Tvrdoća ima odlučujući utjecaj na otpornost (čvrstoću) premaza na paranje. Paranjem, oštećenom premazu pada kvaliteta i vijek trajanja antikorozivne zaštite metalne površine [18]. Ispitivanje se provodilo sukladno normi ISO 15184. Za ispitivanje se najčešće koristi test olovkom (Woff Wilborn metoda) različitih tvrdoća mina u rasponu od 6H (najtvrđe) do 6B (najmekše): 6H-5H-4H-3H-2H-H-F-HB-B-2B-3B-4B-5B-6B. Oprema za mjerenje se sastoji od 14 olovaka zajedno sa instrumentom Simex koji omogućava da se olovka drži pod kutom od 45° u odnosu na površinu. Ispitivanje počinje uporabom olovke najveće tvrdoće i nastavlja se prema mekšoj. Prva olovka koja ne ostavi trag na površini, označava tvrdoću prevlake. Olovke od 3B do 6B su *meke*, od 2B do 2H su *srednje*, a od 3H do 6H su *tvrde*.

Ispitivanje se provelo na sljedećim uzorcima:

A1 - aluminijski uzorak dimenzija formata A4,

B1 - čelični uzorak dimenzija formata A4.



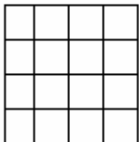
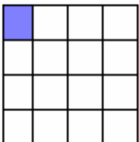
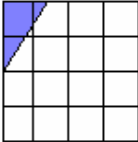
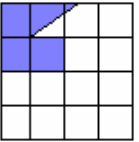
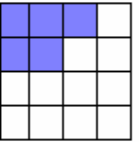
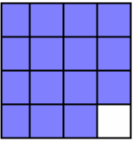
Slika 59. Stanje uzoraka prije i tijekom ispitivanja tvrdoće [17]

Rezultat ispitivanja: Olovka **2B** prva nije ostavila trag na površini što znači da premaz spada u srednje tvrde premaze.

### 8.9 Ispitivanje prionjivosti

Prianjanje sloja premaza na podlogu određuje se metodom mrežice (cross-cut test) prema ISO 2409. Ispitivanje se sastoji u tome da se u sloj premaza do podloge uređajem s pet oštrica ureže pet horizontalnih i okomitih zareza (kvadratna mreža), prilijepi ljepljiva vrpca i nakon otkidanja vrpce promatra se postotak slobodne površine. Stupanj prianjanja određuje se promatranjem prianjanja kvadratića urezane mrežice na podlogu [19].

Tablica 22: Ocjene prionjivosti [19]

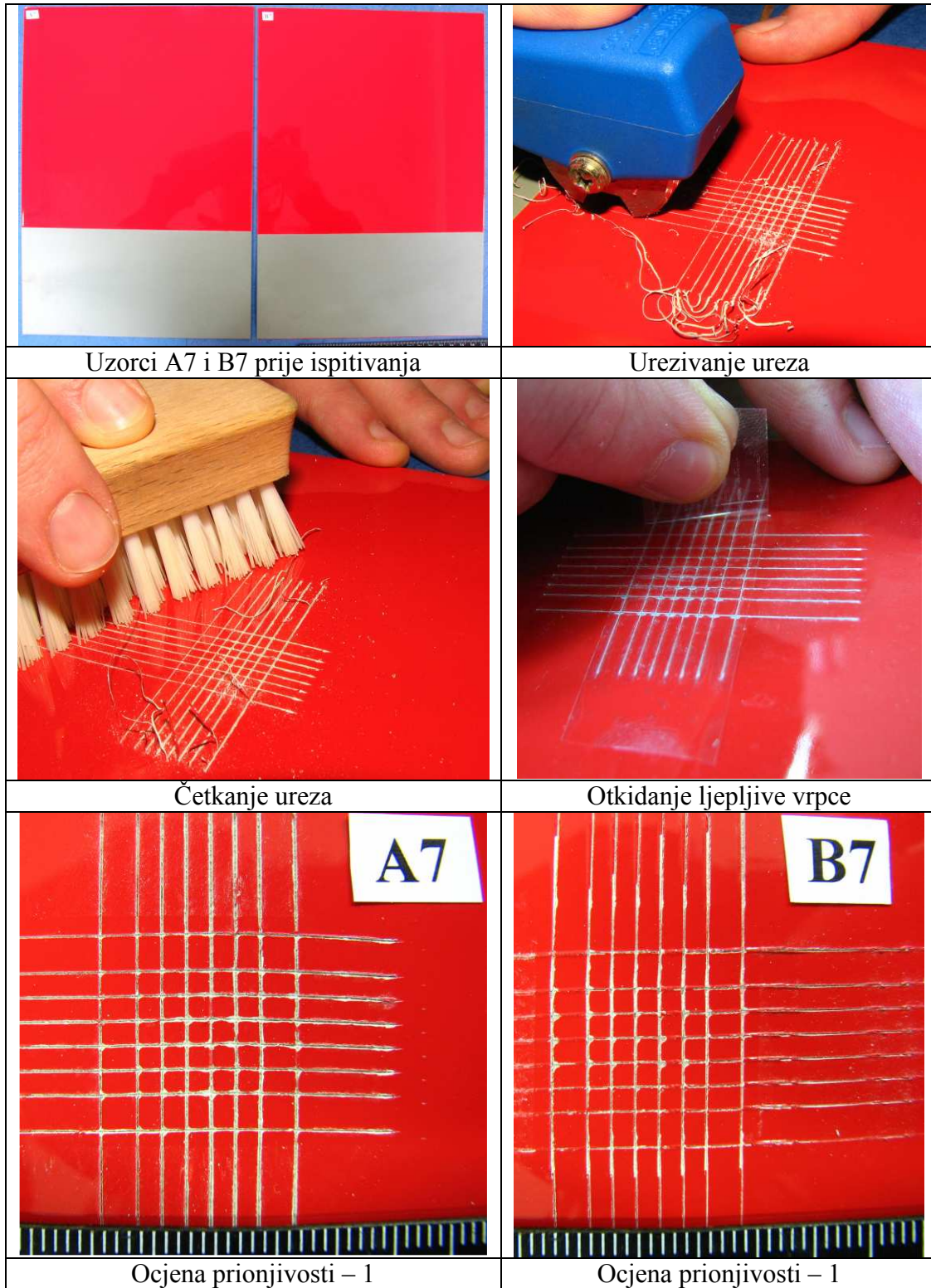
Izgled površine						
	bez ljuštenja sloja	5% odvojene površine	5-10% odvojene površine	15-30% odvojene površine	> 30% odvojene površine	izrazito ljuštenje
Ocjene prianjanja DIN 53151	<b>G0</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>	<b>G5</b>
Ocjene prianjanja ISO 2409	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

Ispitivanje se provelo na sljedećim uzorcima:


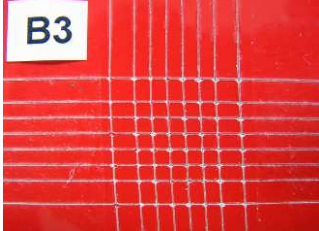
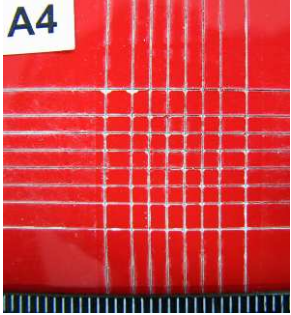
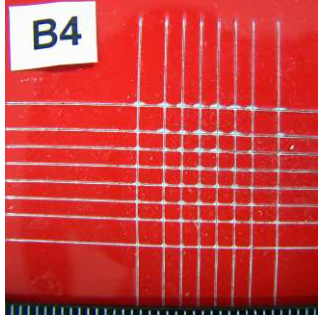

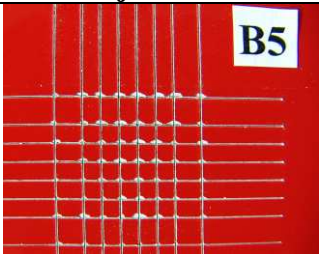
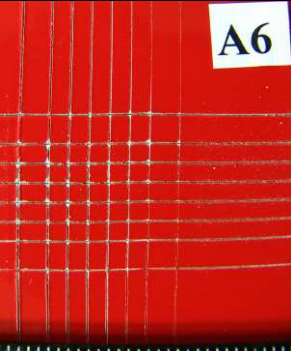
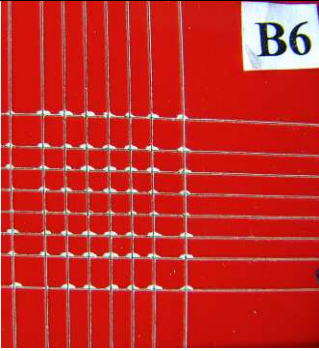

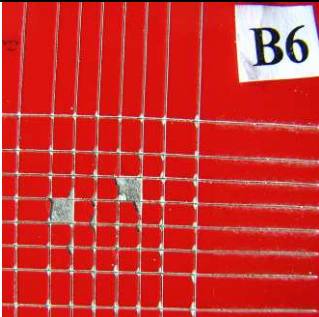
A7 - aluminijski uzorak dimenzija formata A4,

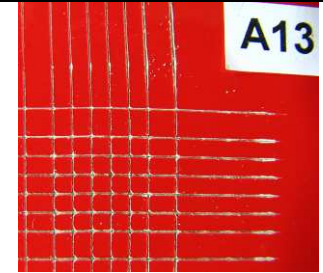
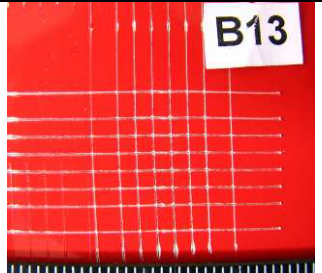


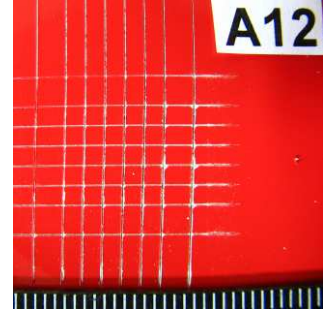

B7 - čelični uzorak dimenzija formata A4 koji su namijenjeni samo za ispitivanje adhezije te na uzorcima koji su bili na na gore navedenim ispitivanjima.





Slika 60. Stanje uzoraka prije i tijekom ispitivanja prionjivosti [17]

Uzorci koji su bili u slanoj komori		Rezultati ispitivanja
		Ocjena prionjivosti – 1
		Ocjena prionjivosti – 1
Uzorci koji su bili u vlažnoj komori		Rezultati ispitivanja
		Ocjena prionjivosti – 2
		Ocjena prionjivosti – 2
		Ispitivanje provedeno na mjestima gdje je došlo do bubrenja. Ocjena prionjivosti - 4

Uzorci koji su bili na ispitivanju uranjanjem		Rezultati ispitivanja
		Ocjena prionjivosti - 0
		Ocjena prionjivosti - 0
Uzorci koji su bili na UV ispitivanju		Rezultati ispitivanja
		Ocjena prionjivosti - 0

Slika 61. Ispitivanje prionjivosti uzoraka koji su bili na ispitivanjima [17]

## 8.10 Elektrokemijska ispitivanja

Elektrokemijska ispitivanja provedena su sukladno normi DIN 50918 na uređaju Potentiostat/Galvanostat Model 273A EG&E uz primjenu programa SoftCorr III u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB Zagreb, u trajanju od 11.03.2009. do 16.03.2009.



Slika 62. Uređaj za elektrokemijska ispitivanja [17]

Potenciostat je elektronski uređaj koji omogućuje praćenje parametara korozije te iznosa struje i napona za vrijeme elektrokemijskih ispitivanja.

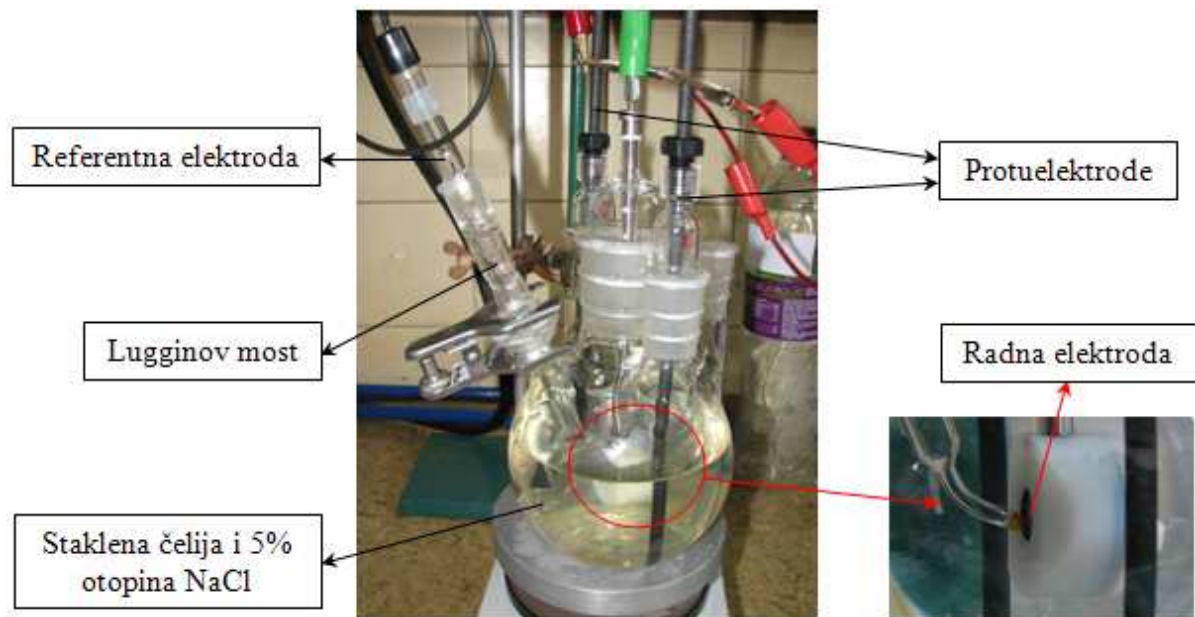
Elektrokemijska ispitivanja provode se u staklenoj čeliji oblikovanoj tako da svaka elektroda ima svoje ležište.

Radna elektroda je uzorak koji ispitujemo. Normom su određene dimenzije tog uzorka ( $\text{Ø}16 \text{ mm}$ ) što odgovara veličini držača radne elektrode, dok je elektrolitu izložena površina od  $1 \text{ cm}^2$ .

Referentna elektroda je elektroda poznatog potencijala koja ne sudjeluje u strujnom krugu već se pomoću nje samo mjeri potencijal radne elektrode. Kao referentna elektroda u Laboratoriju za zaštitu materijala koristi se zasićena kalomel elektroda potencijala  $+0.242 \text{ V}$  u odnosu na vodikovu elektrodu. Ona nije direktno uronjena u elektrolit u kojem se ispituje korozijska postojanost uzorka već se pomoću Lugginovog mosta približava radnoj elektrodi.

Protuelektroda je vodič koji zatvara strujni krug. U strujnom krugu nalaze se dvije protuelektrode između kojih je simetrično postavljena radna elektroda.

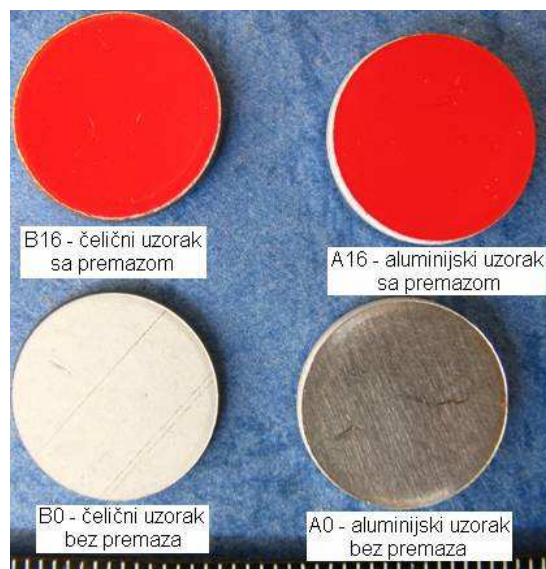
Protuelektrode su izrađene od materijala dobre vodljivosti (npr. grafit) koji uz to mora biti dovoljno otporan kako ne bi došlo do otapanja pod utjecajem protoka struje.



Slika 63. Tipični raspored elektroda pri elektrokemijskim ispitivanjima [17]

Provedena elektrokemijska ispitivanja kojima su određeni parametri opće korozije su (vidi Tablica 23):

- ovisnost korozijskog potencijala o vremenu ( $E_{kor}$ ),
- linearna polarizacija ( $R_p$ ),
- snimanje Tafelovih krivulja ( $b_a$  i  $b_k$ ),
- ciklička polarizacija.



Slika 64. Nezaštićeni uzorci te uzorci zaštićeni premazom [17]



Slika 65. Izgled nezaštićenih uzoraka prije i nakon elektrokemijskih ispitivanja [17]

Tablica 23: Rezultati elektrokemijskih ispitivanja [17]

Uzorak	$E_{kor}$ [mV]	$R_p$ [k $\Omega$ ]	$b_a$ [V/dek]	$b_c$ [V/dek]	$I_{kor}$ [ $\mu$ A/cm <sup>2</sup> ]	$v_{kor}$ [mm/god]
<b>A0</b>	-762	47,66	$41,76 \cdot 10^{-3}$	$585,7 \cdot 10^{-3}$	1,049	$11,13 \cdot 10^{-3}$
<b>A16</b>	-68	-	$-11,91 \cdot 10^{-3}$	$135,4 \cdot 10^{-3}$	-0,1682	-
<b>B0</b>	-1038	1,647	$100 \cdot 10^{-3}$	$2,014 \cdot 10^{-3}$	2,563	$38,35 \cdot 10^{-3}$
<b>B16</b>	-972	-	$167,4 \cdot 10^{-3}$	$-4,306 \cdot 10^{-21}$	0,08308	$1,243 \cdot 10^{-6}$

$E_{kor}$  – korozijski potencijal,  $v_{kor}$  – brzina korozije,  $R_p$  – polarizacijski otpor,  $I_{kor}$  – gustoća korozijske struje,  $b_a$  i  $b_c$  – nagib anodnog i katodnog Tafelovog pravca

Iz dobivenih rezultata elektrokemijskih ispitivanja može se zaključiti kako aluminijški nezaštićeni uzorci imaju bolju korozijsku otpornost od nezaštićenih pocinčanih uzoraka u 5%-tnoj otopini NaCl-a. Brzina korozije kod zaštićenih pocinčanih uzoraka je zanemariva dok brzinu kod zaštićenih aluminijških uzoraka nije bilo moguće odrediti zbog same korozijske otpornosti sustava zaštitni premazni sistem/aluminij.

### 8.11 Zaključak eksperimentalnog dijela

Niz laboratorijskih ispitivanja koja su izvršena na uzorcima potvrdio je kako je premazni sistem boja na bazi otapala sa smanjenim udjelom HOS-eva dobro odabran. Laboratorijske ubrzane testove potvrđuje i praksa jer se ovakvi premazni sistemi uspješno primjenjuju za zaštitu vatrogasnih vozila.

*Mjerenje debljine premaza* - debljine završnog sloja su u rasponu od 123 – 207  $\mu\text{m}$  što je u skladu s preporukama proizvođača.

*Ispitivanje u UV komori* - završni poliakrilni lak je otporan na UV svjetlo i ne gubi na sjaju i nijansi.

*Ispitivanje uranjanjem* - premazni sistem je otporan na cikličko uranjanje i sušenje na zraku te nema znakova korozije.

*Ispitivanje u vlažnoj komori* - premazni sistem je otporan na jako vlažna i topla okruženja te nema znakova korozije, no dolazi do pojave manjeg bubrenja uz rub uzoraka i po površini premaza.

*Ispitivanje u slanoj komori* - premazni sistem je otporan na slane, agresivne sredine te nema znakova korozije, no dolazi do pojave manjeg bubrenja uz rub čeličnih uzoraka.

*Ispitivanje tvrdoće premaza* - premaz spada u srednje tvrde prevlake tvrdoće 2B.

*Ispitivanje prionjivosti* - prionjivost je jako dobra sa ocjenama 0 i 1 dok uzorci ispitivani u vlažnoj komori imaju nešto slabije rezultate sa ocjenom 2 (na mjestu bubrenja dolazi do otkidanja sloja - ocjena 4).

*Elektrokemijska ispitivanja* – premazni sistem pokazuje jako dobru korozijsku otpornost što se najbolje može vidjeti u razlici brzina korozija zaštićenih i nezaštićenih uzoraka.

## 9. ZAKLJUČAK

Diplomski rad obrađuje zaštitu čeličnih konstrukcija premazima. Zaštita premazima je osnovna metoda zaštite materijala i oni se konstantno usavršavaju kako bi im svojstva kao što su prijanjanje, tvrdoća, sjaj, elastičnost, otpornost na kemikalije bila što bolja. Današnji ekološki propisi "potiču" razvijanje premaza sa što nižim udjelom HOS-eva i vodorazrijedivih premaza. Eksperimentalni dio je pokazao kako premazi sa smanjenim udjelom HOS-eva ne gube na svojoj kvaliteti i svojstvima i kako mogu uspješno zamijeniti stare opasnije premaze. Isto tako, eksperiment je pokazao kako je za kvalitetnu zaštitu premazima potrebna jako dobra i pažljiva priprema površine sve od mehaničke pa do kemijske obrade. Unatoč dobro odabranom premaznom sistemu, zaštita se može pokazati nedjelotvornom ako površina nije dobro pripremljena. Uz premaze sa smanjenim udjelom HOS-eva, današnji trend su hibridni premazni sistemi koji su pokazali jako dobra svojstva i oni su jedna premosnica između boja na bazi otapala i vodorazrijedivih sustava. Ovisno o zahtjevima, vodorazrijedivi premazi mogu poslužiti kao temeljni premazi, ali i kao završni lakovi. Kao što je već i napisano, vodorazrijedivi premazi mogu pružiti jednako dobru korozijsku zaštitu kao i boje na bazi otapala. Za takvu zaštitu potrebno je poštivati osnovna pravila i preporuke proizvođača prilikom nanošenja. Iako se u stranim zemljama vodorazrijedivi premazi već niz godina uspješno upotrebljavaju što dokazuju i primjeri, kod nas još uvijek nisu prihvaćeni u tolikoj mjeri. Najbitniji razlog je skepticizam potrošača prema novim proizvodima o kojima još nisu dovoljno educirani. No, zbog zaštite čovjeka i prirode, vodorazrijedivi premazi i hibridni sustavi pogotovo, zauzet će vodeće mjesto na tržištu i tako postati primarna zaštita konstrukcija od korozije.



## 9. LITERATURA

- [1] Rački-Weihnacht N.: Boje i lakovi - jučer danas sutra, Chromos boje i lakovi d.d., Zagreb, 2004.
- [2] Stupnišek-Lisac E.: Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2007.
- [3] Esih I.: Osnove površinske zaštite, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.
- [4] Katedra za zaštitu materijala: Korozija i metode zaštite od korozije, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 37, 53.
- [5] Jotun: Coating manual, Jotun Protective Coatings, Jotun Paints, Sandefjord, Norway, 2001.
- [6] Hempel: Protective coatings manual, 2001.
- [7] ISO 12944: Korozijska zaštita čeličnih konstrukcija zaštitnim premaznim sistemima
- [8] Predavanja iz kolegija Montaža i zaštita, 2005/'06.
- [9] [http://niveta.hr/proizvodi\\_4a.htm](http://niveta.hr/proizvodi_4a.htm)
- [10] [http://www.ivje.hr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=44&Itemid=71](http://www.ivje.hr/index.php?option=com_content&task=view&id=44&Itemid=71)
- [11] Kjærnsmo D., Kleven K., Scheie J., Corrosion Protection, Frosio Inspector's book of reference, Hempel A/S, 2003.
- [12] <http://www.jotun.com/www/com/20020113.nsf?OpenDatabase&db=/www/com/20020116.nsf&v=12FE&e=uk&m=92A&c=5BC1A07357E5F8B7C12570210037FEF3>, "New water-borne products matching solvent-borne coatings in corrosion protection", 2004.
- [13] <http://www.p2pays.org/ref/01/00777/alternat.htm>, Alternatives to Solvent-Borne Coatings
- [14] <http://www.jotun.com/www/com/20020113.nsf?OpenDatabase&db=/www/com/20020116.nsf&v=12FE&e=uk&m=92A&c=5BC1A07357E5F8B7C12570210037FEF3>, "High performance water-borne coatings for heavy duty corrosion protection", 2004.
- [15] <http://okolis.mzopu.hr/default.asp?ID=451>

- [16] <http://narodne-novine.nnhr/clanci/sluzbeni/299255.html>, Uredba o graničnim vrijednostima sadržaja hlapivih organskih spojeva u određenim bojama i lakovima i proizvodima za završnu obradu vozila, Narodne novine 178/2004
- [17] Vlastita arhiva slika
- [18] B. Brener: Kontrolno-mjerni instrumenti i pomagala u djelatnosti antikorozivne zaštite, Zagreb, 1985.
- [19] N. Despot, D. Rajhenbah: Korozija i zaštita procesnih postrojenja, Zagreb, 1995.