

# Utjecaj čistača s inhibitorom korozije za pripremu površine na zaštitna svojstva premaza

---

**Koričan, Marija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*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:235:249924>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Marija Koričan**

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentori:

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

Student:

Marija Koričan

Zagreb, 2019.

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

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Ivanu Stojanoviću na savjetima i pomoći pri izradi ovog rada.

Također se zahvaljujem svim djelatnicima Laboratorija za zaštitu materijala na stručnoj pomoći, strpljenu, trudu i savjetima pri izradi diplomskog rada. Zahvaljujem se i djelatnicima Laboratorija za ljevarstvo na pomoći prilikom površinske pripreme uzoraka.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na podršci tijekom studija.

Marija Koričan



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

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

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MARIJA KORIČAN** Mat. br.: 0035195833

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Utjecaj čistača s inhibitorom korozije za pripremu površine na zaštitna svojstva premaza**

Naslov rada na engleskom jeziku: **The effect of VpCI cleaners for surface preparation on coating protection properties**

Opis zadatka:

Zaštita od korozije premazima je osnovna metoda zaštite čeličnih konstrukcija, pri čemu se velika pažnja pridaje pripremi površine za nanošenje premaza. Različitim postupcima pripreme površine uklanjaju se korozijski produkti, masnoće, ulja i druga onečišćenja, te postiže optimalna hrapavost podloge. Kao odmašćivači površina često se koriste razrjeđivači, ali iz ekoloških razloga nastoje se zamijeniti čistačima na bazi vode s dodatkom inhibitora korozije.

U teorijskom dijelu rada potrebno je obraditi organske prevlake. Detaljnije izučiti postupke pripreme površine te se osvrnuti na primjenu inhibitora korozije u sredstvima za pripremu površine.

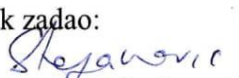
U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je ispitati čistače na bazi vode s hlapljivim inhibitorom korozije i usporediti njihovu djelotvornost za odmašćivanje površine s razrjeđivačem. Uzorke od općeg konstrukcijskog čelika potrebno je pripremiti na različite načine te zaštititi premazom. Utjecaj pripreme površine na zaštitna svojstva premaza ispitati u slanoj i vlažnoj komori, te mjerenjem prionjivosti prevlake. Pomoću elektrokemijske impedancijske spektroskopije odrediti otpor premaza.


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

Zadatak zadan:  
26. rujna 2019.

Rok predaje rada:  
28. studenog 2019.

Predviđeni datum obrane:  
04. prosinca 2019.  
05. prosinca 2019.  
06. prosinca 2019.

Zadatak zadao:  
  
doc. dr. sc. Ivan Stojanović

Predsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## **SADRŽAJ**

POPIS SLIKA.....	I
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS OZNAKA .....	XI
SAŽETAK.....	XII
SUMMARY.....	XIII
1. UVOD.....	1
2. OSNOVNO O KOROZIJI.....	2
3. PREVLAKE – OSNOVNI POJMOVI .....	3
3.1. Metalne prevlake .....	3
3.2. Nemetalne anorganske prevlake.....	4
3.3. Organske prevlake (premazi).....	4
3.3.1. Vezivna sredstva premaza .....	6
3.3.2. Svojstva premaza.....	7
3.3.3. Klasifikacija premaza .....	8
3.3.4. Mehanizam djelovanja premaza.....	12
3.3.5. Odabir sustava premaza.....	14
3.4. Ekološki prihvatljivi premazi .....	16
3.4.1. Vodorazrjedivi premazi .....	17
4. PRIPREMA METALNE POVRŠINE.....	20
4.1. Odmašćivanje .....	20
4.2. Mehanička obrada površine.....	22
4.3. Kemijska obrada površine .....	24
5. PRIPREMA POVRŠINE UPORABOM INHIBITORA .....	26
5.1. Inhibitori korozije.....	26
5.2. Klasična primjena inhibitora .....	28
5.3. Inhibitori kod pripreme metalnih površina.....	29
6. PREGLED DOSADAŠNJIH ISPITIVANJA.....	31
6.1. Usporavanje procesa korozije u bojlerima .....	31
6.2. Inhibitori korozije kao otopine za čišćenje.....	32
6.3. Sredstva za čišćenje bez otapala u zrakoplovstvu .....	33
6.4. Inhibitori korozije i tekućine za čišćenje.....	34

7.	METODE LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA .....	36
7.1.	Mjerenje debljine suhog filma premaza .....	36
7.2.	Ispitivanje u vlažnoj komori .....	37
7.3.	Ispitivanje u slanoj komori .....	37
7.4.	Procjena stupnja propadanja premaza .....	38
7.4.1.	Ocjenjivanje stupnja mjehuranja .....	39
7.4.2.	Ocjenjivanje stupnja hrđanja .....	40
7.4.3.	Ispitivanje širenja korozije oko ureza .....	41
7.5.	Ispitivanje prionjivosti premaza urezivanjem mrežice .....	42
7.6.	Ispitivanje prionjivosti premaza vlačnom metodom .....	44
7.7.	Elektrokemijska impedancijska spektroskopija.....	46
8.	ISPITIVANJE DJELOTVORNOSTI INHIBITORA KOD PRIPREME POVRŠINE 48	
8.1.	Priprema površine uzoraka .....	52
8.2.	Nanošenje premaza.....	55
8.3.	Ispitivanje akrilnih premaza – manja koncentracija inhibitora korozije .....	56
8.3.1.	Akrilni premaz VpCI – 386 .....	56
8.3.1.1.	Debljina suhog filma premaza VpCI-386 .....	57
8.3.1.2.	Vlažna komora – premaz VpCI-386 .....	58
8.3.1.3.	Slana komora – premaz VpCI-386.....	62
8.3.1.4.	Elektrokemijska impedancijska spektroskopija – premaz VpCI-386 ...	67
8.3.2.	Chromos vodeni premaz (AQUALUX) .....	71
8.3.2.1.	Debljina suhog filma AQUALUX premaza.....	72
8.3.2.2.	Vlažna komora – AQUALUX premaz.....	73
8.3.2.3.	Slana komora – AQUALUX premaz .....	77
8.3.2.4.	Elektrokemijska impedancijska spektroskopija – AQUALUX premaz	81
8.4.	Ispitivanje akrilnih premaza – veća koncentracija inhibitora korozija.....	83
8.4.1.	Akrilni premaz VpCI – 386 .....	83
8.4.1.1.	Debljina suhog filma VpCI-386 premaza .....	84
8.4.1.2.	Vlažna komora – premaz VpCI-386 .....	85
8.4.1.3.	Slana komora – VpCI-386 premaz.....	87
8.4.1.4.	Elektrokemijska impedancijska spektroskopija – premaz VpCI-386 ...	91
8.4.2.	Chromos vodeni premaz (AQUALUX) .....	93
8.4.2.1.	Debljina suhog filma AQUALUX premaza.....	93
8.4.2.2.	Vlažna komora – AQUALUX premaz.....	95
8.4.2.3.	Slana komora – AQUALUX premaz .....	97
8.4.2.4.	Elektrokemijska impedancijska spektroskopija – AQUALUX premaz	101
8.5.	Ispitivanje epoksidnih premaza .....	103
8.5.1.	Chromos epoksi premaz (KEMEPOX BTS).....	103

8.5.1.1.	Debljina suhog filma premaza KEMEPOX .....	104
8.5.1.2.	Vlažna komora – KEMEPOX premaz .....	105
8.5.1.3.	Slana komora – KEMEPOX premaz.....	108
8.5.1.4.	Elektrokemijska impedancijska spektroskopija – KEMEPOX premaz 112	
8.5.2.	Epoksidni premaz VpCI-2026 .....	114
8.5.2.1.	Debljina suhog filma premaza VpCI-2026 .....	115
8.5.2.2.	Vlažna komora – premaz VpCI-2026 .....	117
8.5.2.3.	Slana komora – premaz VpCI-2026.....	121
8.5.2.4.	Elektrokemijska impedancijska spektroskopija – premaz VpCI-2026	125
9.	ZAKLJUČAK .....	128
	LITERATURA .....	130
	PRILOZI.....	132



**POPIS SLIKA**

Slika 1. Energetska promjena prilikom prerade i korozije metala [3].....	2
Slika 2. Zaštita prevlakama: prije i poslije nanošenja [5].....	3
Slika 3. Nanošenje metalne prevlake u autoindustriji [7].....	4
Slika 4. Ispitivanje prionjivosti zarezivanjem mrežice (“Cross-cut test”).....	7
Slika 5. Sustav premaza [8] .....	9
Slika 6. Formiranje filma kod boja na bazi otapala [8] .....	10
Slika 7. Formiranje filma kod boja na bazi vode [8] .....	10
Slika 8. Oksidacijsko sušenje [8].....	11
Slika 9. Dvokomponentno sušenje [8].....	11
Slika 10. Učinak barijere [8].....	12
Slika 11. Učinak inhibitora [8] .....	13
Slika 12. Galvanski učinak [8] .....	14
Slika 13. Trend prodaje ekološki prihvatljivih premaza od 2013. godine do 2020. godine [12] .....	16
Slika 14. Formiranje filma vodorazrjedivih premaza [13] .....	17
Slika 15. Utjecaj izbora koalescenata na svojstva umrežavanja [8] .....	18
Slika 16. Odmašćivanje (prije i poslije postupka) [14] .....	21
Slika 17. Mehanizam djelovanja anodnih inhibitora [17] .....	26
Slika 18. Mehanizam djelovanja katodnih inhibitora [17] .....	27
Slika 19. Mehanizam djelovanja hlapivih inhibitora korozije [8].....	28
Slika 20. Različite primjene inhibitora korozije [9], [20].....	29
Slika 21. Posljedice korozije nastale djelovanjem vodenog medija [19] .....	30
Slika 22. Primjena inhibitora korozije u zrakoplovstvu [25].....	33
Slika 23. Primjer uređaja za mjerenje debljine suhog filma premaza .....	36
Slika 24. Vlažna komora “Humidity Cabinet Model AB6”, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB .....	37

Slika 25. Slana komora “Ascott Model S450”, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB .....	38
Slika 26. Stanje površine zadano normom HRN EN ISO 4628-2.....	39
Slika 27. Stupanj hrđanja Ri 1 prema normi HRN EN ISO 4628-3 .....	40
Slika 28. Uklanjanje premaza u području ureza .....	41
Slika 29. Ispitivanje prionjivosti prevlake: a) oprema za ispitivanje, b) standardna skala..	42
Slika 30. Postupak ispitivanja prionjivosti prevlake prema normi HRN EN ISO 2409:2013 [1].....	43
Slika 31. Ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom - uklanjanje viška ljepila .....	44
Slika 32. Ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom, HRN EN ISO 4624.....	45
Slika 33. Nyquistov dijagram [10] .....	47
Slika 34. Bodeov dijagram [10].....	47
Slika 35. Tehničke karakteristike inhibitora VpCI-414 [26].....	49
Slika 36. Tehničke karakteristike inhibitora VpCI-416 [26].....	49
Slika 37. Tehničke karakteristike inhibitora VpCI-418 LM [26] .....	50
Slika 38. Tehničke karakteristike akrilnog premaza VpCI-386 [26].....	50
Slika 39. Tehničke karakteristike akrilnog premaza Chromos svjetlost [29].....	51
Slika 40. Tehničke karakteristike epoksidnog premaza Chromos svjetlost [29].....	51
Slika 41. Tehničke karakteristike epoksidnog premaza VpCI-2026 [26] .....	52
Slika 42. Kabina za pjeskarenje, Laboratorij za ljevarstvo, FSB .....	52
Slika 43. Pjeskareni uzorci .....	53
Slika 44. Faze pripreme uzoraka za ispitivanja .....	54
Slika 45. Različite debljine premaza (za isti broj nanesenih slojeva) .....	55
Slika 46. Uzorci premazani s akrilnim premazom VpCI – 386 (manja koncentracija) prije ispitivanja.....	56
Slika 47. Debljina suhog filma premaza VpCI-386 prema ispitivanjima (manja koncentracija inhibitora korozije) .....	58
Slika 48. Uzorci postavljeni na stalak za vlažnu komoru.....	58

---

Slika 49. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u vlažnoj komori – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije).....	59
Slika 50. Postavljanje uzoraka na stalak u slanu komoru.....	62
Slika 51. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u slanoj komori – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije).....	63
Slika 52. Ekvivalentni električni krugovi korišteni za opisivanje impedancijskih spektara za: (a) nov neporozan premaz; (b) porozan premaz gdje je došlo do korozije podloge; (c) porozan premaz.....	67
Slika 53. Izlaganje uzoraka otopini 3,5 %-tnog NaCl .....	68
Slika 54. Ispitna ćelija i uređaj za ispitivanje .....	68
Slika 55. Nyquistov dijagram za VpCI-386 premaz, dobiven ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću razrjeđivača, nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl70	
Slika 56. Uzorci premazani s Chromos vodenim premazom (AQUALUX) prije ispitivanja .....	71
Slika 57. Debljina suhog filma Chromos vodenog premaza prema ispitivanjima (manja koncentracija inhibitora korozije).....	73
Slika 58. Uzorci premazani s VpCI-386 i Chromos vodenim premazom u vlažnoj komori .....	73
Slika 59. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije).....	74
Slika 60. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u slanoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije).....	77
Slika 61. Mjehuravost i korodiranje površine Chromos vodenog premaza .....	79
Slika 62. Nyquistov dijagram za Chromos vodeni premaz, dobiven ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću čistača s nižom koncentracijom inhibitorom VpCI-416, nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl .....	82
Slika 63. Uzorci premazani s akrilnim premazom VpCI – 386 (veća koncentracija) prije ispitivanja.....	83

---

Slika 64. Debljina suhog filma VpCI-386 premaza prema ispitivanjima (veća koncentracija inhibitora korozije).....	85
Slika 65. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u vlažnoj komori – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije).....	85
Slika 66. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u slanoj komori – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije).....	88
Slika 67. Nyquistov dijagram za VpCI-386 premaz, dobiven ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću čistača s većom koncentracijom inhibitorom VpCI-416, nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl.....	92
Slika 68. Uzorci premazani s Chromos vodenim premazom (veća koncentracija) prije ispitivanja.....	93
Slika 69. Debljina suhog filma Chromos vodenog premaza prema ispitivanjima (veća koncentracija inhibitora korozije).....	94
Slika 70. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije).....	95
Slika 71. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u slanoj komori – Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije).....	98
Slika 72. Nyquistov dijagram za Chromos vodeni premaz, dobiven ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću čistača s većom koncentracijom inhibitorom VpCI-414, nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl.....	102
Slika 73. Uzorci premazani Chromos epoksi premazom .....	104
Slika 74. Debljina suhog filma Chromos epoksi premaza prema ispitivanjima.....	105
Slika 75. Uzorci premazani Chromos epoksi premazom – vlažna komora.....	106
Slika 76. Uzorci premazani Chromos epoksi premazom nakon 192 h ispitivanja u vlažnoj komori.....	106
Slika 77. Uzorci premazani Chromos epoksi premazom – slana komora.....	109
Slika 78. Uzorci premazani Chromos epoksi premazom nakon 192 h ispitivanja u slanoj komori.....	109

---

Slika 79. Nyquistov dijagram za Chromos epoksi premaz, dobiven ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću čistača s VpCI-414, nakon 96 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl.....	113
Slika 80. Uzorci zaštićeni VpCI-2026 premazom prije ispitivanja.....	114
Slika 81. Debljina suhog filma premaza VpCI-2026 prema ispitivanjima.....	116
Slika 82. Uzorci premazani VpCI-2026 – vlažna komora (lijevo – prije ispitivanja, desno – nakon 96 h ispitivanja) .....	117
Slika 83. Uzorci premazani VpCI-2026 premazom nakon 192 h ispitivanja u vlažnoj komori .....	118
Slika 84. Uzorci premazani VpCI-2026 premazom nakon 192 h ispitivanja u slanoj komori .....	121
Slika 85. Ekvivalentni električni krug – Warburgova impedancija.....	125
Slika 86. Warburgova impedancija, uzorak zaštićen vodenim premazom bez dodatka inhibitora korozije nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl.....	125
Slika 87. Nyquistov dijagram dobiven elektrokemijskim ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću razrjeđivača, zaštićen VpCI-2026, nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl.....	127

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Osnovne komponente premaza [9] .....	5
Tablica 2. Kategorije korozivnosti prema normi ISO 12944 [8].....	15
Tablica 3. Stupnjevi i razredi hrapavosti površina strojnih dijelova pri različitim obradama [15].....	22
Tablica 4. Stupnjevi pripreme površine prema standardu ISO 8501-1 [16].....	23
Tablica 5. Stupnjevi pripreme površine mlazom vode prema standardu ISO 8501-4 [16].	24
Tablica 6. pH-vrijednost otopina za čišćenje korištenih u istraživanju [22] .....	33
Tablica 7. Različite vrste inhibitora korozije [9] .....	35
Tablica 8. Stupnjevi hrđanja prema normi HRN EN ISO 4628-3.....	40
Tablica 9. Ovisnost vrijednosti razmaka ureza o debljini premaza [8] .....	42
Tablica 10. Impedancijske jednadžbe za elemente ekvivalentnog električnog kruga [8] ...	46
Tablica 11. Debljina suhog filma premaza VpCI -386 (manja koncentracija inhibitora) ...	57
Tablica 12. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u vlažnoj komori – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije) .....	60
Tablica 13. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u vlažnoj komori – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije).....	60
Tablica 14. Procjena propadanja premaza VpCI-386 nakon vađenja iz vlažne komore (manja koncentracija inhibitora korozije) prema normi HRN EN ISO 4628.....	61
Tablica 15. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u slanoj komori – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije).....	64
Tablica 16. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u slanoj komori – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije).....	64
Tablica 17. Procjena propadanja premaza VpCI-386 nakon vađenja iz slane komore (manja koncentracija inhibitora korozije) prema normi HRN EN ISO 4628.....	65
Tablica 18. Vrijednosti mjerenja korozije oko ureza – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije).....	66

---

Tablica 19. Stupanj korozije oko ureza – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije).....	66
Tablica 20. Parametri ispitivanja otpora premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom.....	67
Tablica 21 . Rezultati EIS-a za premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije) nakon 20 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl .....	69
Tablica 22. Rezultati EIS-a za premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije) nakon 168 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl .....	69
Tablica 23. Debljina suhog filma Chromos vodenog premaza (manja koncentracija inhibitora) .....	72
Tablica 24. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije).....	75
Tablica 25. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije) .....	75
Tablica 26. Procjena propadanja Chromos vodenog premaza nakon vađenja iz vlažne komore (manja koncentracija inhibitora korozije) .....	76
Tablica 27. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u slanoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije).....	78
Tablica 28. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u slanoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije) .....	78
Tablica 29. Procjena propadanja Chromos vodenog premaza nakon vađenja iz slane komore (manja koncentracija inhibitora korozije).....	80
Tablica 30. Vrijednosti mjerenja korozije oko ureza – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije).....	80
Tablica 31. Stupanj korozije oko ureza – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije) .....	81
Tablica 32. Rezultati EIS-a za Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije) nakon 20 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl.....	81
Tablica 33. Rezultati EIS-a za Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije) nakon 168 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl.....	82

---

Tablica 34. Debljina suhog filma premaza VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije) .....	84
Tablica 35. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u vlažnoj komori – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije) .....	86
Tablica 36. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u vlažnoj komori – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije) .....	86
Tablica 37. Procjena propadanja premaza VpCI-386 nakon vađenja iz vlažne komore (veća koncentracija inhibitora korozije).....	87
Tablica 38. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u slanoj komori – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije) .....	88
Tablica 39. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u slanoj komori – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije).....	89
Tablica 40. Procjena propadanja premaza VpCI-386 nakon vađenja iz slane komore (veća koncentracija inhibitora korozije).....	89
Tablica 41. Vrijednosti mjerenja korozije oko ureza – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije) .....	90
Tablica 42. Stupanj korozije oko ureza – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije) .....	90
Tablica 43. Rezultati EIS-a za premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije) nakon 20 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl .....	91
Tablica 44. Rezultati EIS-a za premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije) nakon 168 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl .....	91
Tablica 45. Debljina suhog filma Chromos vodenog premaza (veća koncentracija inhibitora korozije).....	94
Tablica 46. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije) .....	96
Tablica 47. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije).....	96
Tablica 48. Procjena propadanja Chromos vodenog premaza nakon vađenja iz vlažne komore (veća koncentracija inhibitora korozije).....	97



---

Tablica 49. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u slanoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije).....	98
Tablica 50. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u slanoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije) .....	99
Tablica 51. Procjena propadanja Chromos vodenog premaza nakon vađenja iz slane komore (veća koncentracija inhibitora korozije).....	99
Tablica 52. Vrijednosti mjerenja korozije oko ureza – Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije).....	100
Tablica 53. Stupanj korozije oko ureza – Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije).....	100
Tablica 54. Rezultati EIS-a za Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije) nakon 20 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl.....	101
Tablica 55. Rezultati EIS-a za Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije) nakon 168 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl.....	101
Tablica 56. Debljina suhog filma Chromos epoksi premaza.....	104
Tablica 57. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos epoksi premaz.....	107
Tablica 58. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos epoksi premaz .....	107
Tablica 59. Procjena propadanja Chromos epoksi premaza nakon ispitivanja u vlažnoj komori.....	108
Tablica 60. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u slanoj komori – Chromos epoksi premaz.....	110
Tablica 61. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u slanoj komori – Chromos epoksi premaz .....	110
Tablica 62. Procjena propadanja Chromos epoksi premaza nakon ispitivanja u slanoj komori .....	111
Tablica 63. Vrijednosti mjerenja korozije oko ureza – Chromos epoksidni premaz .....	111
Tablica 64. Stupanj korozije oko ureza – Chromos epoksidni premaz .....	112

---

Tablica 65. Rezultati EIS-a za Chromos epoksi premaz nakon 96 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl .....	112
Tablica 66. Rezultati EIS-a za Chromos epoksi premaz nakon 168 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl .....	113
Tablica 67. Debljina suhog filma premaza VpCI-2026.....	115
Tablica 68. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u vlažnoj komori – VpCI-2026 premaz.....	119
Tablica 69. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u vlažnoj komori – VpCI-2026 premaz .....	119
Tablica 70. Procjena propadanja VpCI-2026 premaza nakon ispitivanja u vlažnoj komori .....	120
Tablica 71. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u slanoj komori – VpCI-2026 premaz.....	122
Tablica 72. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u slanoj komori – VpCI-2026 premaz .....	122
Tablica 73. Procjena propadanja VpCI-2026 premaza nakon ispitivanja u slanoj komori	123
Tablica 74. Vrijednosti mjerenja korozije oko ureza – VpCI-2026 premaz .....	124
Tablica 75. Stupanj korozije oko ureza – VpCI-2026 premaz .....	124
Tablica 76. Rezultati EIS-a za VpCI-2026 premaz nakon 96 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl.....	126
Tablica 77. Rezultati EIS-a za VpCI-2026 premaz nakon 168 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl.....	126

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
<i>M</i>	-	ocjena stupnja korozije
<i>c</i>	mm	širina zone korozije
<i>w</i>	mm	širina ureza
$R_1$	$\Omega \text{ cm}^2$	otpor elektrolita
$R_2$	$\Omega \text{ cm}^2$	otpor filma
$R_3$	$\Omega \text{ cm}^2$	otpor prijenosa naboja
<i>Q</i>	$\text{F cm}^{-2}$	međufazni kapacitet
<i>W</i>	$\Omega \text{ cm}^2$	Warburgova impedancija uzrokovana difuzijom
$Z'$	$\Omega \text{ cm}^2$	realna komponenta impedancije
$Z''$	$\Omega \text{ cm}^2$	imaginarna komponenta impedancije
VpCI	-	hlapivi inhibitor korozije ( <i>Vapour phase Corrosion Inhibitor</i> )
SCE	-	zasićena kalomel elektroda ( <i>Saturated Calomel Electrode</i> )

## SAŽETAK

Kvalitetna priprema površine prije nanošenja premaza osigurava postizanje zaštitnih svojstava premaza i dug vijek trajanja. Klasične metode pripreme površine poput pjeskarenja učinkovite su pri uklanjanju korozijskih produkata i za postizanje optimalne hrapavosti. Klasični postupci zahtijevaju naknadno odmašćivanje površine koje se najčešće izvodi korištenjem razrjeđivača. Donošenjem ekoloških regulativa i zakona, razrjeđivači se nastoje zamijeniti čistačima na bazi vode s dodatkom inhibitora korozije pri čemu se postiže i privremena zaštita od korozije.

U radu su ispitana tri čistača na bazi vode s hlapivim inhibitorom korozije te je njihova djelotvornost uspoređena s čeličnim uzorcima pripremljenim klasičnim postupcima pjeskarenja i odmašćivanja razrjeđivačem. Aplicirani su akrilni i epoksidni premazi (s hlapivim inhibitorima i bez njih). Ispitivanja su provedena u slanoj i vlažnoj komori, nakon čega je ispitana prionjivost prevlake te se ocjenjivao stupanj propadanja premaza. Pomoću elektrokemijske impedancijske spektroskopije određena je otpornost prevlake u 3,5% -tnoj otopini NaCl.

Ključne riječi: *organske prevlake, priprema površine, čistači površine, hlapivi inhibitori korozije, prionjivost, elektrokemijska impedancijska spektroskopija*

## SUMMARY

Quality surface preparation before application of coating ensures that protective properties are long and durable. The classic methods of surface preparation such as sandblasting have been proven to be effective in the removal of corrosion products and to achieve the desired degree of roughness. Such a method of surface preparation requires a degreasing process, which is usually performed using a thinner. By adopting environmental regulations and laws, thinners attempt to be replaced with a water based cleaner with the addition of corrosion inhibitors, while providing temporary corrosion protection.

Three water-based cleaners with a vapour phase corrosion inhibitor were studied, and their efficiency was compared with steel samples prepared by classical methods of sandblasting and degreasing by thinner. Acrylic and epoxy coatings (with and without vapour phase inhibitors) were applied to the prepared surface. The tests were carried out in the salt spray and humidity chamber, after which the coating adhesion was tested and the degree of degradation of coatings was evaluated. Electrochemical impedance spectroscopy showed resistance of coating in 3.5% NaCl solution.

*Key words: organic coatings, surface preparation, surface cleaners, vapour phase corrosion inhibitors, adhesion, electrochemical impedance spectroscopy*

## 1. UVOD

Korozivna postojanost metala i mnogi drugi uvjeti (estetski, smanjenje mehaničke istrošenosti i dr.) najčešće se postižu uporabom različitih vrsta prevlaka. Prilikom odabira prevlaka u obzir se mora uzeti niz čimbenika koji utječu na učinkovitost. Osim svojstava same prevlake, poput njezine vrste i debljine, imamo i vanjske čimbenike koji utječu na njenu kvalitetu. Tu spadaju stanje površine na koju se nanosi prevlaka (čistoća i hrapavost), ali i okolišni uvjeti, točnije korozivnost okoliša.

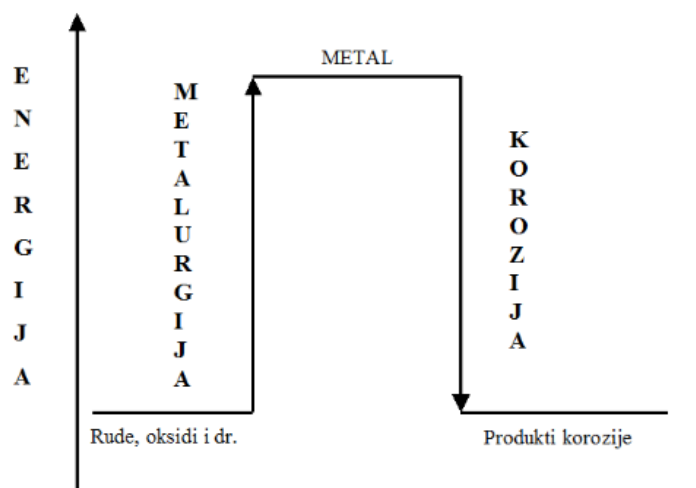
Prije korištenja prevlaka potrebno je pripremiti površinu metala. Kako je nemoguće ukloniti sve neravnine i nečistoće jednim postupkom, često se primjenjuje više metoda predobradbe. Glavni cilj pripreme površine je osigurati što je moguće čvršće prianjanje prevlake na metalnu površinu. Prianjanje je sposobnost premaza da prianja na površine, odnosno da se lijepi na površine [1]. Razlikujemo mehaničke postupke, kemijske postupke i odmašćivanje.

Tema ovog rada je usmjerena na pripremu metalne površine za nanošenje sustava premaza. Za bolje razumijevanje teme, navest će se osnovna svojstva prevlaka i pojasniti tehnike pripreme površine, a na naglasak će biti na odmašćivanju uporabom čistača s inhibitorom korozije.

Na kraju rada prikaz će se laboratorijsko ispitivanje i usporedba rezultata dobivenih klasičnom pripremom površine i rezultata dobivenih kod uzoraka pripremljenih sredstvima s inhibitorima korozije.

## 2. OSNOVNO O KOROZIJI

Korozija je kemijsko trošenje materijala međudjelovanjem plinovitog ili kapljevitoz medija pri čemu nastaju čvrsti, otopljeni ili plinoviti produkti [2]. Riječ je o spontanom procesu koji nastaje kao posljedica težnje materijala za povratkom u prirodno stanje. Slika 1 prikazuje energetska promjenu prilikom prerade i korozije metala.



Slika 1. Energetska promjena prilikom prerade i korozije metala [3]

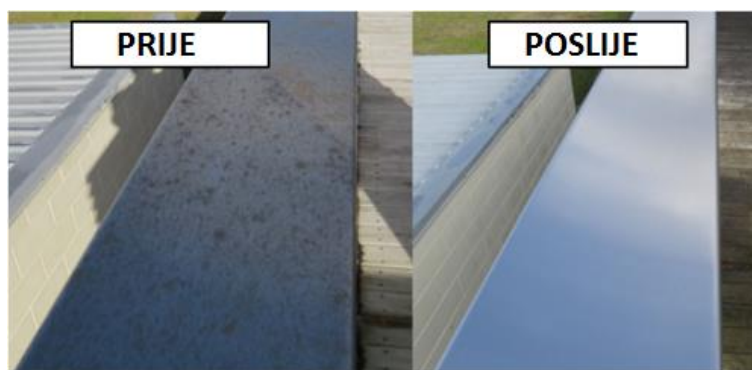
Korozija uzrokuje mnogobrojne negativne posljedice na materijalima. Najčešće posljedice su smanjenje mase i dimenzija, dok je prividno povećanje mase i dimenzija uzrokovano taloženjem čvrstih produkata rjeđe. Negativne posljedice korozije mogu se uočiti na samoj površini materijala, ali korozijski procesi također utječu i na mehanička svojstva materijala. Tako za posljedice imamo pojavu pukotina, povećanje hrapavosti, bubrenje, ali i smanjenje opteretivosti, smanjenje žilavosti i dr.

Korozijska oštećenja, smanjenje mase materijala i negativan utjecaj na njegova svojstva smanjuju njegov vijek trajanja i uporabnu vrijednost. Istovremeno se poskupljuje održavanje i obnova oštećenih dijelova konstrukcija. Primjenom primjerene metode ili tehnologije zaštite od korozije može se izbjeći 25 – 30 % troškova [4].

Najrašireniji proizvodi za zaštitu od korozije su prevlake.

### 3. PREVLAKE – OSNOVNI POJMOVI

Zaštitne prevlake su najčešći odabir za postizanje antikorozivne zaštite i željenih estetskih svojstava površine. Prevlake tvore barijeru između površine na koje su nanijete i korozivnog okoliša te time štite površinu od negativnih vanjskih čimbenika. Imaju mali udio u ukupnom volumenu konstrukcije što omogućuje neometanu eksploataciju. Zbog navedenih svojstava, prevlake imaju značajnu ulogu u razvoju proizvoda i veliki utjecaj na njegovu kvalitetu. Slika 2 prikazuje površinu prije i poslije nanošenja prevlake.



Slika 2. Zaštita prevlakama: prije i poslije nanošenja [5]

Postoje različite vrste prevlaka. Svim prevlakama je primarna funkcija zaštita od korozije, dok sekundarne funkcije mogu biti različite (smanjenje mehaničkog trošenja, popravak istrošenih dijelova, estetski premaz...). Odabir ovisi o vrsti površine na koju se prevlaka treba nanijeti i eksploatacijskim uvjetima u kojima će se nalaziti. Zaštitne prevlake mogu biti: metalne, nemetalne anorganske i organske [6].

#### 3.1. Metalne prevlake

Metalne prevlake se nanose u uvjetima kada se želi postići određena sekundarna funkcija. Ovim načinom se mogu postići bolja toplinska ili električna vodljivost, tvrdoća, sjaj površine i dr. Postoji niz postupaka nanošenja metalnih prevlaka. Neki od njih su: metode vrućeg uranjanja, metalizacija prskanjem, platiranje, galvanotehnika i mnogi drugi. Jedan od češćih postupaka je metoda vrućeg uranjanja. Glavni uvjeti kod navedene metode su da osnovni metal ima mnogo više talište od pokrivnog metala i da se oba metala legiraju. Prilikom obrade nastaje legura na čijoj površini ostaje film taline. Film se hlađenjem skrućuje i time nastaje prevlaka na površini osnovnog metala i u međusloju legure. Kvaliteta prevlake vrućim uranjanjem ovisi o mogućnosti taline da potpuno kvasi sve obrađivane površine. Kako bi se zadani uvjet ispunio, potrebno je osigurati potpunu čistoću površine



podloge i taline. Ovaj postupak se koristi za nanošenje prevlaka cinka, kositra, olova i njegovih legura, aluminijske najčešće na ugljični čelik ili lijevano željezo (rjeđe bakar i njegove legure). Nanošenje metalne prevlake prikazano je na slici 3.



Slika 3. Nanošenje metalne prevlake u autoindustriji [7]

### 3.2. Nemetalne anorganske prevlake

Nemetalne anorganske prevlake nanose se mehaničkim i kemijskim postupcima. U ovoj skupini spadaju prevlake betona, cementa, keramike i dr. Najčešći postupak mehaničkog nanošenja je emajliranje, čime se stvara sloj alkalnog borosilikatnog stakla na metalu. Mogu se nanositi i postupkom prskanja (nanošenje u rastaljenom stanju), premazivanjem ili oblaganjem.

Velika prednost kemijskog nanošenja je što osnovni metal sudjeluje u stvaranju prevlake te se tako osigurava dobro prijanjanje. Kemijskim postupkom se nanose različiti oksidi, fosfati, kromati i dr. Kako bi se osigurala homogena i jednolika prevlaka potrebno je pripremiti metalnu površinu i ukloniti moguće nečistoće i neravnine.

### 3.3. Organske prevlake (premazi)

Zaštita premazima je najraširenija metoda zaštite u tehnici. Organskim prevlakama se smatraju sve one koje čini kompaktna organska tvar tvorbom opne. Takvi se slojevi dobivaju nanošenjem organskih premaznih sredstava, uobičajenim podmazivanjem, plastifikacijom, gumiranjem i bitumenizacijom [8]. Premazi se nanose u svrhu zaštite

površine, ali vrlo često i za poboljšanje estetskog izgleda. Iz tog razloga postoje različiti bezbojni i obojeni premazi, sjajni ili mat, te premazi za postizanje izgleda nekog metala. Zbog svojih raznolikih svojstava, premazi se mogu koristiti i u specifičnim uvjetima npr. kod ukopanih ili podvodnih konstrukcija. Zato postoje razni antivegetativni premazi, premazi za električne instalacije, protupožarni premazi i dr.

Osnovno tehničko svojstvo premaza je njihova trajnost jer im je glavna svrha razdvajanje metalne podloge od okoliša. Površina se ne zaštićuje jednim slojem, već sustavom premaza koji se obično sastoje od temeljnog sloja, jednog ili više međuslojeva i završnog sloja. Svaki sloj doprinosi kvaliteti i svojstvima sustava premaza. Kako se u ovom projektu proučava utjecaj različitih metoda pripreme površine na prionjivost premaza, izrazita pažnja se usmjerava na temeljni sloj. Temeljni sloj se nanosi direktno na metalnu površinu. Mora osigurati dobru prionjivost premaza na podlogu, pružiti dobru zaštitu od korozije i omogućiti dugi period premazivanja.

Svaku organsku prevlaku čine pet komponenti. Svaka komponenta ima svoju ulogu u sastavu premaza i razlikuju im se udjeli u sastavu. Osnovne komponente prikazane su u tablici 1.

**Tablica 1. Osnovne komponente premaza [9]**

<b>KOMPONENTE PREMAZA</b>	<b>vezivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Neisparljivi dio medija boje</li> <li>▪ Povezuju sve komponente premaznog sredstva</li> <li>▪ Stvaraju tvrdi zaštitni sloj</li> <li>▪ Sušiva ulja, smole, derivati celuloze...</li> </ul>
	<b>otapalo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hlapivi organski spojevi u kojima se vezivo otapa</li> <li>▪ Ne dolazi do kemijskih promjena</li> <li>▪ Za postizanje određene viskoznosti</li> <li>▪ Ugljikovodici, alkoholi, esteri, ketoni</li> </ul>
	<b>pigmenti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Organske ili anorganske, obojene ili neobojene, netopljive čestice u obliku praha, paste ili vlakana</li> <li>▪ Neprozirnost i obojenje naliča, poboljšava zaštitno djelovanje, otpornost na svjetlo, mehanička svojstva</li> </ul>
	<b>punilo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bijele ili slabo obojene, netopljive anorganske tvari</li> <li>▪ Poboljšavaju mehanička svojstva, mazivost, svojstva tečenja</li> <li>▪ Reguliranje sjaja, poboljšanje barijernih svojstva</li> </ul>
	<b>aditivi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mali udio u premazu, značajan utjecaj na svojstva</li> <li>▪ Za sprječavanje nedostataka u premazima (pjena, sedimentacija...) ili za davanje specifičnih svojstava (klizavost, svjetlostabilnost...)</li> </ul>

### 3.3.1. Vezivna sredstva premaza

Veziva su organske tvari u tekućem ili praškastom stanju koje povezuju sve komponente premaza i čine neisparljivi dio medija boje. Nakon nanošenja stvaraju tvrdi zaštitni sloj. Kako bi se postigla željena svojstva premaza, često se kombinira više vrsta veziva. Neka od veziva su [1]:

- sušiva ulja
- alkidne smole
- nezasićene poliesterske smole
- epoksidne smole
- akrilatna veziva
- silikonske smole
- klorkaučuk i dr.

Postoji još vrsta veziva, a u ovom radu će se navesti svojstva akrilnih i epoksidnih premaza.

Epoksidni premazi zbog svojih otpornih svojstava svoju primjenu pronalaze u industrijama i vrlo agresivnim, zagađenim okolinama. Formiraju čvrste i tvrde premaze koji u slabije korozivnim uvjetima mogu imati vrlo dugi vijek trajanja. Postojani su u atmosferi i vodi, kiselim i lužnatim vodenim otopinama, u tlu i u organskim otapalima, imaju dobra mehanička svojstva i slabu vodopropusnost. Pri djelovanju ultraljubičastih zraka (izloženost suncu) dolazi do rastvaranja veziva zbog čega su skloni kredanju.

Akrilni premazi su, za razliku od epoksidnih, otporni na ultraljubičasta zračenja. Nisu otporni na organska otapala. Pokazuju kemijsku otpornost. Često se koriste kao dekorativni, pokrivni premaz. Djelovanjem topline postaju mekaniji i oblikovljivi.

### 3.3.2. Svojstva premaza

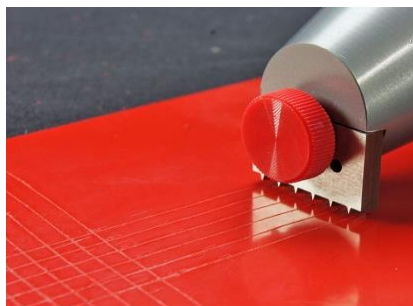
Kako bi se odabrao ispravan sustav premaza i zatim odredila njegova kvaliteta, potrebno je ispitati njegova osnovna svojstva. Postoji niz standardiziranih ispitivanja koja pomažu odrediti vrstu i svojstva premaza, odrediti način nanošenja te predvidjeti njegovo ponašanje u uvjetima eksploatacije.

Postoji velik broj svojstava koja se mogu proučavati (koženje, taloženje, ton i izgled boje, postojanost na svjetlu, debljina i dr.). U ovom radu se proučava utjecaj pripreme metalne površine na prionjivost premaza, te će se iz tog razloga objasniti osnovna svojstva vezana uz temeljni sloj sustava premaza.

Temeljni premaz ima sljedeća svojstva [10]:

- prionjivost
- kohezija
- inertnost
- vezivanje s međupremazom
- elastičnost.

**Prionjivost** je sposobnost premaza da se lijepi na površine. Ovisi o kvaliteti pripreme površine i o kompatibilnosti premaznih sredstava [1]. Kad premaz dođe u kontakt s metalnom površinom, nastaju veze uzrokovane djelovanjem fizikalnih i kemijskih sila. Iz tog razloga je potrebna ujednačena, čista površina kako bi se stvorio jednolik i homogen premaz. Dobra prionjivost omogućuje ostvarivanje zaštitnih svojstava premaza, dok će loša prionjivost rezultirati ranijim propadanjem premaza. Prilikom ispitivanja prionjanja mjeri se sila potrebna da se premaz skine s površine. Problem kod ispitivanja je što su to razorne metode koje uništavaju zaštitni premaz. Najčešće su u primjeni dvije metode: ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom ISO 4624 i metoda zarezivanja mrežice ISO 2409 (prikazana na slici 4).



**Slika 4. Ispitivanje prionjivosti zarezivanjem mrežice (“Cross-cut test”)**

**Kohezija** je privlačna sila koja djeluje između susjednih čestica tvari. Za temeljni premaz je karakteristična velika čvrstoća, tj. jake međumolekulske veze između čestica metalne površine i čestica premaza.

**Inertnost** temeljnog premaza označava veliku otpornost premaza na koroziju i kemikalije. Ukoliko bi premaz reagirao sa zaostalim onečišćenjima ili tragovima kemikalija na površini metala, moglo bi doći do kemijske reakcije i ubrzanog širenja korozijskog procesa. Kako bi se ta mogućnost izbjegla, potrebno je prije nanošenja premaza očistiti površinu metala.

Vrlo bitno svojstvo temeljnih premaza je i dobro **vezivanje s međupremazom**. Međupremaz osigurava debljinu sustava premaza i omogućava dobro prijanjanje završnog premaza. Stvara dodatnu barijeru i sprječava prodor vlage i kisika do podloge.

**Elastičnost** premaza je sposobnost premaza da se odrezane vrpce premaza mogu saviti u smotak i razviti. Ukoliko to ne mogu, govorimo o krhkosti premaza [1]. Ovo svojstvo je važno pri promjenama temperature kako ne bi došlo do pucanja prevlake.

Navedena svojstva se mijenjaju ovisno o tipu premaza, njegovu načinu nanošenja i površini na koju se nanose. Neovisno je li riječ o metalnoj, anorganskoj ili organskoj prevlaci, veliki utjecaj na kvalitetu ima sama površina na koju se nanosi. Iz tog razloga, velika pažnja se mora posvetiti samoj pripremi površine, njenoj mehaničkoj i kemijskoj obradi te odmašćivanju.

### 3.3.3. *Klasifikacija premaza*

Postoji velik broj podjela premaza, ovisno o točki gledišta. Tako se premazi mogu klasificirati prema sastavu, osnovnoj namjeni, podlogama na koje se nanose, izgledu i dr. Ovdje će biti navedene samo neke podjele, pomoću kojih će se lakše objasniti eksperimentalni dio rada.

Najjednostavnija podjela premaza je prema osnovnoj namjeni. Osim za zaštitu od korozije, premazi se često koriste i za zaštitu od mehaničkog trošenja. Također postoje i protupožarni premazi, premazi za zaštitu od biološkog obrastanja i dr.

U današnje vrijeme veliki značaj u klasifikaciji premaza ima njihov sastav. Pritom se podjela može zasnovati na vrsti veziva, pigmenta ili razrjeđivača tj. otapala [1]. Tako se često premazi dijele na premaze na bazi vode i premaze s organskim otapalima. Pooštravanjem ekoloških regulativa organska otapala se nastoje smanjiti ili potpuno izbaciti iz sastava premaza.

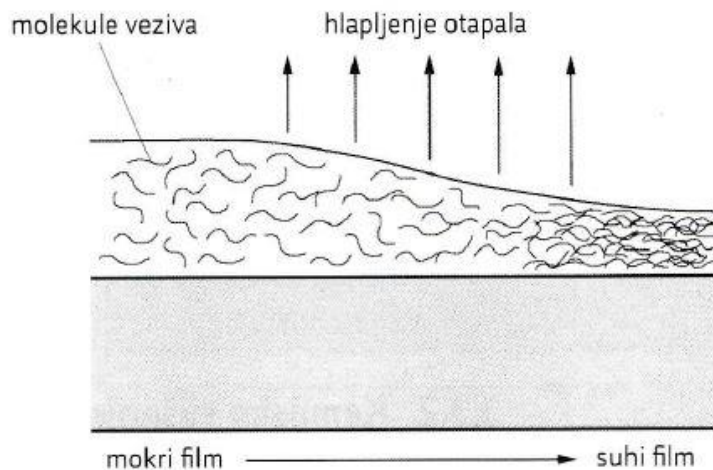
Kad se premazi proučavaju s obzirom na njihovu ulogu u premaznu sustavu, razlikujemo temeljne, međuslojne i završne/pokrivne premaze, prikazane na slici 5. Temeljni premaz osigurava adheziju na podlogu. Nanosi se direktno na podlogu i u središtu je ispitivanja ovog rada. Međuslojni premazi utječu na transparentnost i osiguravaju debljinu filma premaza. Završnim premazima se nastoje ispuniti zahtjevi vezani uz izgled premaza (boju, sjaj) i njezino održavanje (otpor na abraziju, čišćenje površine..). Svaki sloj štiti podlogu od korozivnih utjecaja okoline [8].



Slika 5. Sustav premaza [8]

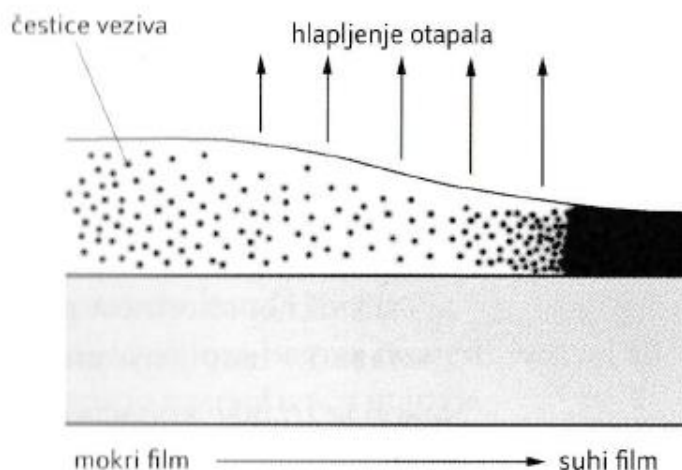
Kad je riječ o broju sastojaka koji se miješaju prije apliciranja premaza razlikujemo jednokomponentne, dvokomponentne i višekomponentne premaze. Neovisno o broju sastojaka, veliku važnost prilikom pripreme premaza ima miješanje boje. Miješanje boje, ručno ili strojno, važan je korak jer jednolika i homogena smjesa osigurava postizanje zaštitnog djelovanja, ali i jednolik izgled prevlake.

S tehničkog gledišta, premazi se dijele i prema mehanizmu sušenja, na fizikalno i kemijsko sušenje [1]. **Fizikalno sušeni premazi** formiraju se hlapljenjem otapala u tri faze: brzim hlapljenjem otapala s površine, hlapljenjem otapala difuzijom kroz slojeve koncentrirane polimerne otopine i hlapljenjem preostalog otapala u filmu. Konačni produkt je polimer, suh na prašinu. Ovim načinom se suše boje na bazi otapala i na bazi vode. Kod boja na bazi otapala, vezivo se otapa u otapalu. Tijekom sušenja otapalo hlapi, a molekule veziva se isprepleću i privlače na površinu (slika 6) [1, 8].



Slika 6. Formiranje filma kod boja na bazi otapala [8]

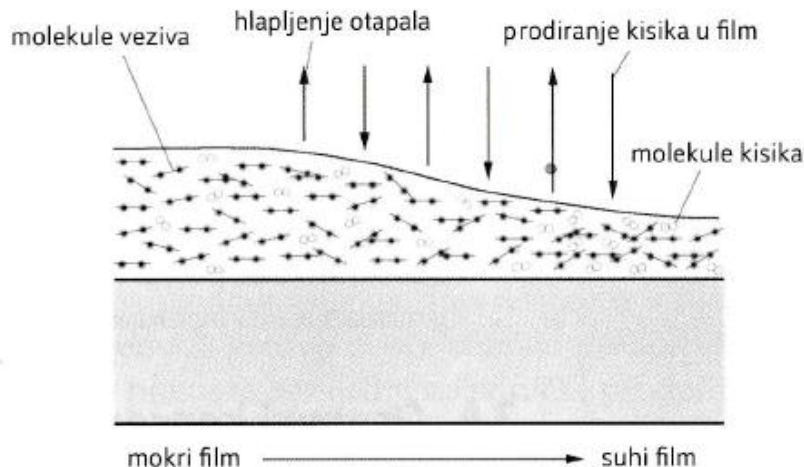
Boje na bazi vode imaju čestice veziva dispergirane u vodi. Voda tijekom sušenja hlapi, a čestice veziva se u međusobnom kontaktu deformiraju i potom spajaju na površini. Time se formira kontinuirani film (slika 7) [8].



Slika 7. Formiranje filma kod boja na bazi vode [8]

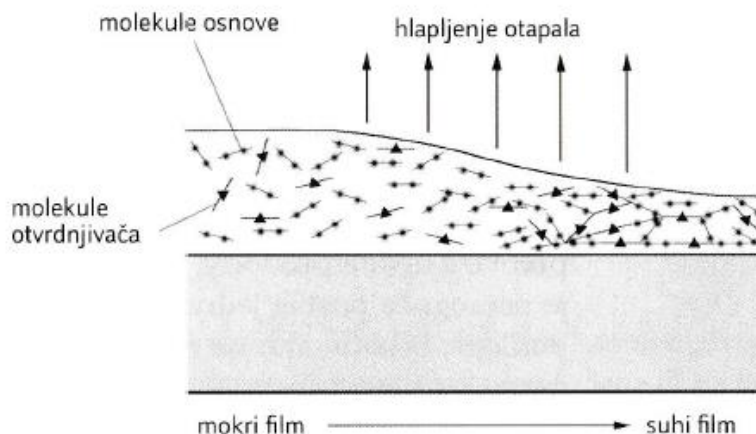
**Kemijsko sušenje** može se razvrstati u tri grupe: oksidacijsko sušenje, dvokomponentno sušenje i druge polimerizirajuće reakcije [8]. **Oksidacijsko sušenje** događa se kod boja koje u svom sastavu kao vezivo imaju ulja. Hlapljenjem organskog ili vodenog otapala i reakcijom kisika i veziva nastaje film (slika 8). Ovaj način sušenja karakterističan je za alkide, uretan-alkide i epoksi-estere [8].





Slika 8. Oksidacijsko sušenje [8]

**Dvokomponentno sušenje** karakteristično je za boje koje se sastoje od osnove (baze) i sredstva za otvrdnjavanje. Hlapljenjem otapala i kemijskom reakcijom između veziva i sredstva za otvrdnjavanje nastaje film. Ovim procesom suše se epoksidi, epoksi-vinili, PUR poliesteri, PUR akrilne smole, PUR epoksi smole i dr [1, 8]. Postupak je prikazan na slici 9.



Slika 9. Dvokomponentno sušenje [8]

Postoje i drugi postupci kojim se formira film, koji nisu detaljnije obrađeni u ovom radu. Neki od njih su: reakcija veziva s vlagom u zraku, polimerizacija pri povišenim temperaturama i dr. [1], [8]



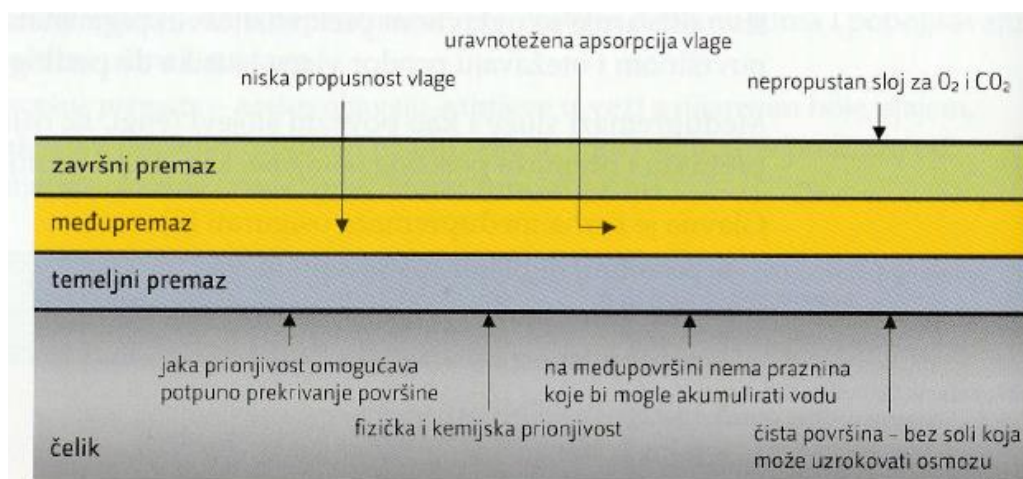
### 3.3.4. Mehanizam djelovanja premaza

Najočitiji način kojim premazi štite podlogu od korozije je fizičkim odvajanjem materijala od utjecaja okoline. Dodavanjem odgovarajućih pigmentata, premazi ostvaruju zaštitnu funkciju. Tri su glavna principa [1, 8]:

1. učinak barijere
2. učinak inhibitora
3. galvanski učinak.

#### 1. Učinak barijere

Uporabom debelih premaza, debljine od 250 do 500  $\mu\text{m}$ , postiže se barijera koja usporava prodor vode i kisika prema površini te zadržava nabijene ione. Učinak barijere je prikazan na slici 10.



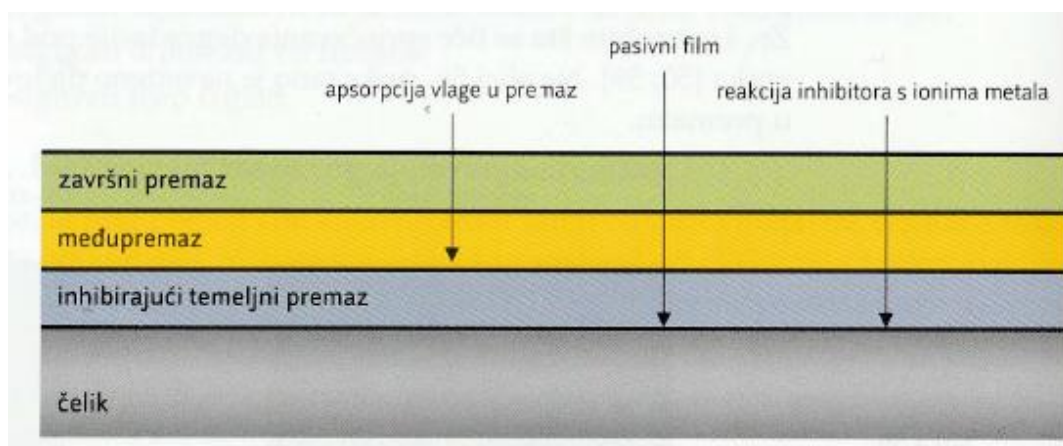
Slika 10. Učinak barijere [8]

Glavno svojstvo učinka barijere je njegova nepropusnost, zbog čega je čest odabir za zaštitu čelika koji su neprekidno uronjeni [1, 8].

Ukoliko se želi postići učinak barijere, ali i tanji premaz, dodavaju se pigmenti u listićima. Prilikom nanošenja premaza, listići se orijentiraju usporedno s površinom podloge/prethodnog sloja i time se smanjuje propusnost premaza. U tu svrhu se često koriste listići aluminija, željezni tinjac, listićavi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i grafitni listići. Osim što djeluju na propusnost, listićavi pigmenti koče degradaciju veziva i povećavaju trajnost zaštite reflektiranjem zračenja u površinskom dijelu premaza [8].

## 2. Učinak inhibitora

Primjenom inhibitorских pigmenata u temeljnim premazima koči se ionizacija metala pasiviranjem površine. Tvore se netopljivi slojevi korozijskih produkata i neutraliziraju kisele tvari iz okoline. Kao inhibitori korozije djeluju ili sami pigmenti ili produkti njihovih reakcija sa sastojcima veziva. Kako bi inhibitorски pigmenti imali zaštitno djelovanje u vodenim elektrolitima, uvjet je da moraju biti barem slabo topljivi u vodi [8]. Učinak inhibitora prikazan je na slici 11.

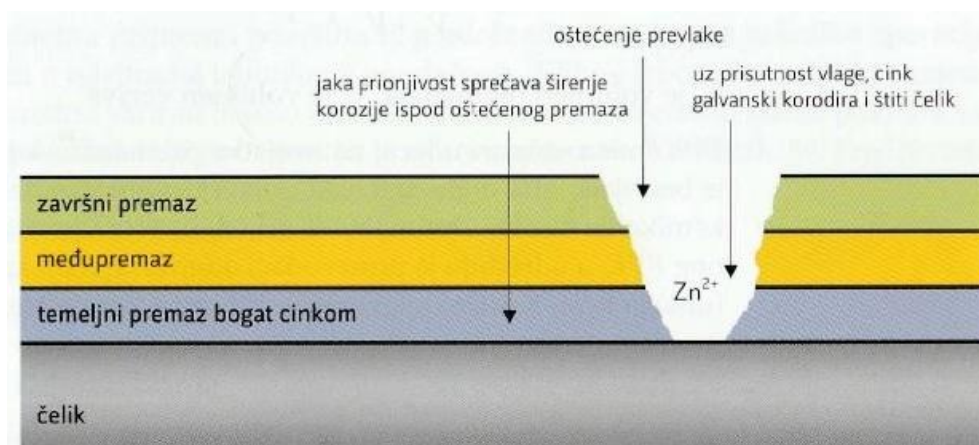


Slika 11. Učinak inhibitora [8]

U odnosu na učinak barijere, učinak inhibitora može imati negativne posljedice. Određeni inhibirajući pigmenti imaju tendenciju da reagiraju s vodom, što može uzrokovati pojavu mjehurića i rano propadanje premaza [8].

## 3. Galvanski učinak

Korištenjem kugličastih pigmenata od praškastog cinka u temeljnim premazima za čelik i lijevano željezo ostvaruje se galvanski učinak. Kako je cink neplemenitiji metal, izložen je koroziji dok je podloga zaštićena. Suhi premaz bogat cinkom sadrži oko 95 % Zn-praha čime se osigurava metalni karakter sloja i omogućuje učinak katodne zaštite. U reakciji s vodom ili vodenom otopinom nastaje korozijski galvanski članak u kojem je cink anoda, a čelična podloga katoda. Cink korodira ionizacijom, oslobođeni elektroni odlaze na čeličnu podlogu i sprječavaju koroziju čelika [8]. Galvanski učinak je prikazan na slici 12.



**Slika 12. Galvanski učinak [8]**

Premazi pigmentirani cinkom u praksi su poznati i kao radionički temelji (eng. *shopprimers*). Koriste se za privremenu zaštitu konstrukcija od nelegiranih čelika tijekom skladištenja i transporta [8].

### 3.3.5. Odabir sustava premaza

Kako bi se osigurao kvalitetan i učinkovit sustav premaza, potrebno je prilikom odabira uzeti u obzir niz čimbenika vezanih uz sam premaz, podlogu na koju se aplicira premaz, ali i eksploatacijske uvjete u kojima će se konstrukcija nalaziti. Prije samog nanošenja premaza, potrebno je pripremiti površinu podloge na koju se nanosi. Kako bi se osigurala kvalitetna priprema površine i apliciranje premaza, potrebno je osigurati i stupanj nadziranja kvalitete izvođenja.

Prilikom odabira sustava premaza potrebno je razmotriti utjecaj sustava na okoliš, ali i čovjeka. Potrebno je ispuniti zahtjeve vezane uz sigurnost, zdravlje i zaštitu okoliša te osigurati kvalitetne uvjete rada.

Korozivnost okoliša ima znatan utjecaj na kvalitetu sustava zaštite. Ista konstrukcija može raditi u različitim okolišnim opterećenjima, gdje može doći do velikih promjena temperature zraka, vlage zraka ili drugih kriterija. Takvu promjenjivost okolišnih uvjeta potrebno je uzeti u obzir prilikom odabira sustava. Najbolje primjere konstrukcija koje su izložene različitim okolišnim uvjetima nalazimo u brodogradnji i zrakoplovstvu.

Kako bi se olakšao odabir sustava premaza, izdana je norma HRN EN ISO 12944 (*Boje i lakovi – Zaštita od korozije čeličnih konstrukcija zaštitnim sustavom boja*), koja povezuje klasifikaciju medija s odgovarajućim premaznim sustavom. Norma obuhvaća pravila za

oblikovanje konstrukcije, pripremu površine, nadzor, specifikacije te laboratorijska ispitivanja [8]. U tablici 2 prikazane su kategorije korozivnosti prema navedenoj normi.

**Tablica 2. Kategorije korozivnosti prema normi ISO 12944 [8]**

Kategorija korozivnosti	Gubitak mase po jedinici površine/gubitak debljine (poslije prve godine izlaganja)				Primjeri okruženja
	Niskouglični čelik		Cink		
	Gubitak mase, g m <sup>2</sup>	Gubitak debljine, μm	Gubitak mase, g m <sup>2</sup>	Gubitak debljine, μm	
<b>C1</b> Jako niska	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	grijane građevine s neutralnom atmosferom (uredi, škole, hoteli...)
<b>C2</b> Niska	> 10-20	> 1,3-25	> 0,7-5	> 0,1-0,7	negrijane građevine (garaže, sportske dvorane) okruženja s malim zagađenjem
<b>C3</b> Srednja	> 200-400	> 25-50	> 5-15	> 0,7-2,1	gradska i industrijska okruženja, područja s malim salinitetom, proizvodne prostorije s velikom vlagom
<b>C4</b> Visoka	> 400-650	> 50-80	> 15-30	> 2,1-4,2	srednji salinitet, kemijski pogoni, bazeni
<b>C5</b> Jako visoka	> 650-1500	> 80-200	> 30-60	> 4,2-8,4	industrijska područja s visokom vlagom i agresivnom atmosferom, veliko zagađenje, visoka razina saliniteta
<b>CX</b> ekstremna	> 650-1500	> 80-200	> 30-60	> 4,2-8,4	pučina-visoki salinitet ekstremno visoka vlažnost i agresivna atmosfera suprotropske i tropske atmosfere

Iz tablice 2 vidljivo je da je atmosferska korozija rezultat djelovanja kisika i vlage. Ukoliko se eliminira jedan od čimbenika ne dolazi do korozije.

Norma HRN EN ISO 12944 također propisuje i eksploatacijski vijek sustava premaza [8]:

- nizak, L: do 7 godina
- srednji, M: 7 – 15 godina
- visok, H: 15 - 25 godina
- vrlo visok, VH: više od 25 godina.

Veliki utjecaj na odabir sustava premaza ima i mogućnost održavanja. Kad je riječ o održavanju, potrebno je uzeti u obzir mogućnost izvedbe potrebnih popravaka i uvjete apliciranja premaza (radioničko bojenje ili na bojenje na terenu).

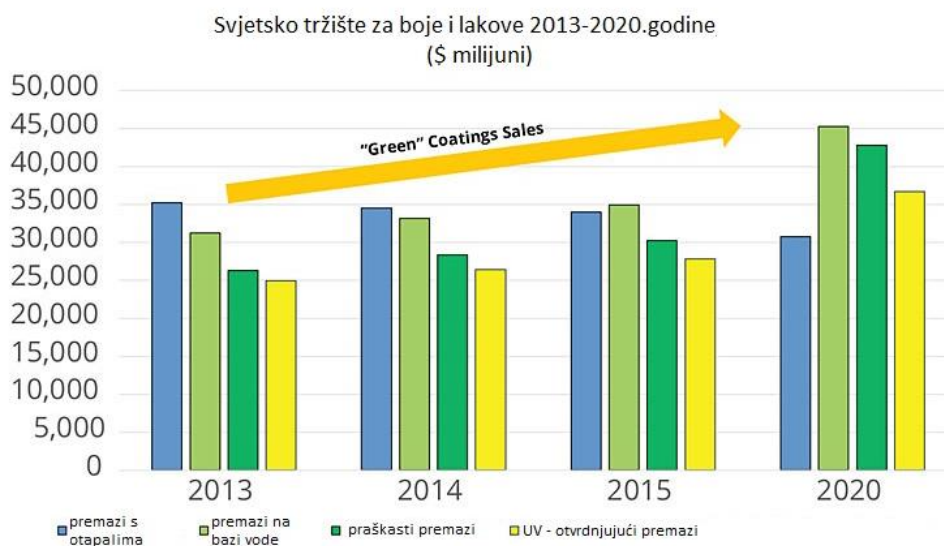
Na kraju, u obzir se mora uzeti i cijena premaza po kvadratnom metru površine.

### 3.4. Ekološki prihvatljivi premazi

Zbog onečišćenja okoliša uzrokovano velikom količinom industrijskog otpada donijete su ekološke regulative i zakoni koji su ograničili količinu ispuštanja organskih otapala u okoliš. Cilj proizvođača boja i lakova je smanjiti udio organskih otapala u premazu ili ih potpuno izbaciti čime nastaje nova grupa premaza – ekološki prihvatljivi premazi. U tu skupinu spadaju [8]:

- vodorazrjedivi premazi
- premazi s visokim udjelom suhe tvari
- praškasti premazi
- 100 %-tni bezotapalni sustavi premaza.

Ekološki prihvatljivi premazi, osim što su sigurniji za primjenu za okoliš i čovjeka, pokazuju i dobra zaštitna svojstva. Uz sve strože ekološke regulative, pozitivna svojstva ekoloških premaza utjecala su na sve veći porast primjene i proizvodnje ovog tipa premaza. Slika 13 prikazuje trend prodaje ekološki prihvatljivih premaza koji se očekuje do 2020. godine. Podaci su dobiveni 2014. godine od strane „BCC Research“ [12].



Slika 13. Trend prodaje ekološki prihvatljivih premaza od 2013. godine do 2020. godine [12]

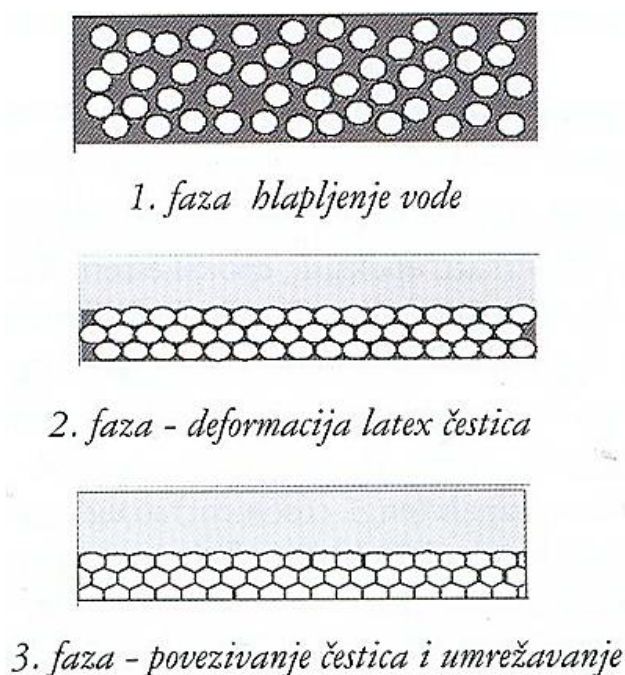
### 3.4.1. Vodorazrjedivi premazi

Glavni razlog razvoja vodorazrjedivih premaza je kako bi se zamijenila organska otapala u premazima. Glavna prednost ovih premaza je njihova nezapaljivost i neotrovnost.

Vodorazrjedivi premazi u svrhu otapala i razrjeđivača koriste vodu. Sadrže minimalni udio organskih otapala. Također sadrže i antikorozivne pigmente koji ne sadrže teške metale (olovo, krom) što ih čini neotrovnima. Promjenom kemijskog sastava smanjuje se emisija štetnih tvari u atmosferu, ali se i mijenjaju svojstva premaza.

Prilikom dobivanja vodorazrjedivih premaza treba obratiti pažnju na pravilan odabir komponenata kako bi se omogućilo stvaranje zaštitnog filma. U ovoj fazi potrebno je razumjeti proces stvaranja filma fizikalno sušivih vodorazrjedivih premaza.

Proces stvaranja zaštitnog filma se sastoji od tri faze, kako je prikazano na slici 14. U prvoj fazi dolazi do hlapljenja vode i vodotopivih otapala, koji ostavljaju gusto složeni sloj dispergiranih polimernih čestica s mikroskopskim kanalićima između njih, koji s vremenom nestaju. U drugoj fazi se navedene čestice deformiraju iz svojeg početnog, sfernog oblika. Time nastaje kontinuirani, tanki film. U trećoj fazi dolazi do procesa koalescencije, tj. povezivanja i umrežavanja čestica čime se jača film [13].

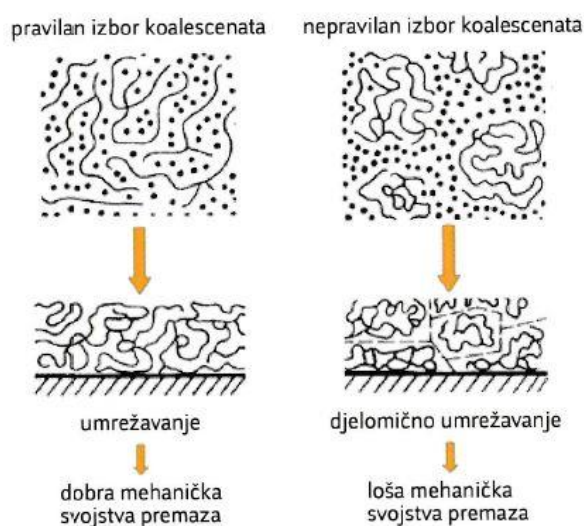


Slika 14. Formiranje filma vodorazrjedivih premaza [13]



Proces stvaranja filma je vremenski dug te se iz tog razloga dodavaju organska otapala koja ubrzavaju taj proces. Ekološki prihvatljivi premazi zato sadrže štetne tvari, ali je njihov udio znatno niži od graničnih vrijednosti.

Fizikalno sušenje premaza počinje odmah nakon što je premaz nanesen na površinu hlapljenjem vode, nakon čega slijedi koalescencija. Nakon potpune difuzije vodenih otapala formira se homogeni polimer, suh na prašinu. Pritom je vrlo važan odabir koalescenta koji snizuje minimalnu temperaturu stvaranja filma i viskoznost polimera. Neodgovarajući koalescent onemogućuje koalescenciju što rezultira djelomičnim umrežavanjem i, na kraju, lošim mehaničkim svojstvima premaza [8]. Utjecaj izbora koalescenta na svojstva umrežavanja premaza je prikazan na slici 15.



**Slika 15. Utjecaj izbora koalescenta na svojstva umrežavanja [8]**

Nanošenje vodorazrjedivih premaza se ne razlikuje od nanošenja premaza na bazi otapala. Parametri s najvećim utjecajem na premaz prilikom nanošenja su temperatura (viša od 5 °C, optimalna temperatura oko 20 °C) i relativna vlažnost zraka (manja od 85 %). Navedeni parametri utječu na vrijeme sušenja premaza, koje direktno utječe na mogućnost pojave grešaka, i stvaranje homogenog filma [8].

Pri primjeni vodorazrjedivih premaza u obzir treba uzeti fizikalna svojstva vode. Molekule vode karakterizira visoka površinska napetost zbog čega je otežana penetracija u prljave, prašnjave i relativno porozne površine. Ukoliko se ovaj tip premaza nanese na neadekvatno pripremljenu metalnu podlogu, velika je mogućnost pojave grešaka poput slabog prijanjanja, pojave kratera i nepotpunog pokrivanja rubova. Navedene greške se javljaju i prilikom korištenja premaza na bazi otapala, ali zbog manje osjetljivosti ovih premaza na prisutnost masnoće, pojava grešaka nije kritična kao kod vodorazrjedivih premaza [8].



## 4. PRIPREMA METALNE POVRŠINE

Prije nanošenja zaštitnih prevlaka potrebno je pripremiti podlogu. Priprema površine se sastoji od uklanjanja hrđe, vlage, okujine, prašine i ostalih onečišćenja koja bi mogla negativno utjecati na prionjivost prevlake. Onečišćenja bi mogla uzrokovati kemijske reakcije s prevlakom, time ubrzavajući korozijske procese i dovesti do pucanja prevlake.

Osim uklanjanja onečišćenja, pripremom površine nastoji se postići optimalna hrapavost površine. Ukoliko je površina potpuno glatka, prionjivost je slaba. S druge strane, ako je površina prehrapava, otežava se popunjavanje udubina i prekrivanje temeljnim premazom.

### 4.1. Odmašćivanje

Odmašćivanje je postupak kojim se uklanjaju masne tvari (biološke i mineralne) s površine metala. Neophodno je kod pripreme površine jer osigurava da prevlaka dobro prijanja na podlogu. Najčešće su masne tvari zaostaci sredstava za hlađenje i podmazivanje korištenih pri obradi odvajanjem čestica ili plastičnom deformiranju. Također mogu nastati prilikom rukovanja golim rukama ili zbog nanošenja masnih prevlaka za privremenu zaštitu [10].

Postupci odmašćivanja su [1]:

- pomoću lužnatih otopina
- pomoću organskih otapala
- elektrokemijsko odmašćivanje
- ultrazvučno odmašćivanje.

Odmašćivanje lužnatim otopinama najčešće se upotrebljava za odmašćivanje uranjanjem pri temperaturama 60-100 °C ili prskanjem lužnatih otopina pri temperaturama 70-90 °C [11]. U lužnate otopine spadaju otopine 5-10% NaOH, KOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Postupak se može ubrzati elektrolitičkim postupkom, tj. katodnim ili anodnim spajanjem metalnih predmeta u krug istosmjerne struje [11]. Ova metoda odmašćivanja nije pogodna za metale koji bi se otopili (aluminij, cink i njihove legure) i nemetalne materijale.

Masne tvari se fizikalno otapaju u raznim organskim tekućinama, a u primjeni su najčešće vodene emulzije ugljikovodika i halogeniranih (klorirani ili fluorirani) ugljikovodika. Također se upotrebljavaju i razrjeđivači (kojima je primarna svrha smanjenje viskoznosti

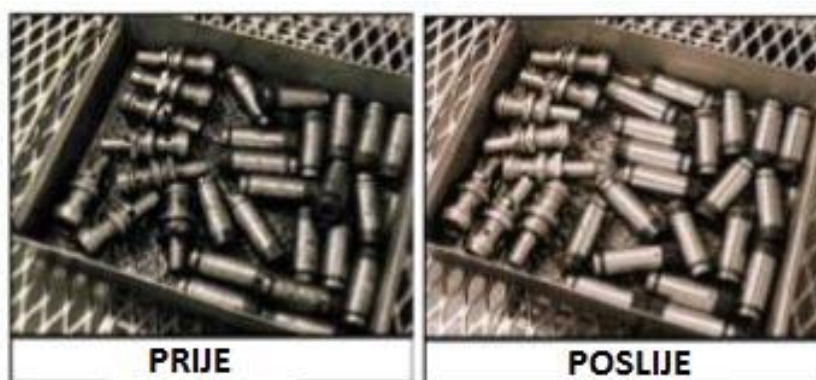
premaznih sredstava) koji su smjese organskih otapala, ugljikovodika, estera, alkohola i dr. Glavno svojstvo organskih otapala je velika moć otapanja masnih tvari i poželjno je da nisu otrovna i zapaljiva, da se mogu regenerirati destilacijom, da su kemijski postojana i neagresivna prema materijalima koji se odmašćuju [11]. Koriste se derivati nafte, benzin i petrolej kojima je glavni nedostatak zapaljivost. Trikloretilen i tetraklorugljik su nezapaljivi, ali im je nedostatak njihova toksičnost. Fino odmašćivanje ne može provesti organskim otapalima jer na obrađenim površinama uvijek zaostaje film otopine s udjelom masnih tvari [11]. Postupak se provodi trljanjem krpom, četkom umočenom u otapalo ili uranjanjem u hladno, toplo ili vrelo otapalo (po mogućnosti uz kretanje uronjenog predmeta).

Elektrokemijsko odmašćivanje može biti katodno, anodno ili kombinirano, ovisno je li predmet koji se treba odmastiti anoda ili katoda. Češće je u primjeni katodno odmašćivanje jer se kod anodnog slabije odvaja masnoća s površine. Nedostatak katodnog je što postoji opasnost od vodikove krhkosti (smanjenje žilavosti metala). Zbog navedenih nedostataka često se kombiniraju ova dva postupka.

Za fino odmašćivanje, nakon provedenog grubog postupka odmašćivanja, koristi se i ultrazvučno odmašćivanje. Postupak se provodi pomoću vibratora uronjenih u otapalo koji proizvode ultrazvuk. Ultrazvuk na uronjenom predmetu izaziva visoke tlačne i vlačne sile koje odvajaju masnoće s površine. Nedostatak postupka je visoka cijena.

Postoji još mnogo postupaka odmašćivanja. Neki od njih su odmašćivanje vodenom parom, spaljivanjem i dr., te odabir ovisi o tipu površine koja se obrađuje.

Slika 16 prikazuje izgled obradaka prije i nakon odmašćivanja.



Slika 16. Odmašćivanje (prije i poslije postupka) [14]

### 4.2. Mehanička obrada površine

Mehaničkom obradom se prvenstveno nastoji postići optimalna kvaliteta površine i ukloniti korozijski produkti. Čine ju sljedeći postupci: brušenje, poliranje, obrada u bubnjevima, četkanje, pjeskarenje, obrada vodenim mlazom i sačmarenje [1].

Brušenje je postupak obrade površine kojim se uklanjaju produkti korozije i ostala onečišćenja međusobnim trenjem podloge i zrnaca abraziva. Često se izvodi stupnjevito pa se razlikuje grubo i fino brušenje. Ovim postupkom se može postići prosječno odstupanje profila Ra od 1 µm. Ako je potrebna veća glatkoća površine, provodi se postupak poliranja. Poliranjem se prosječno odstupanje profila Ra smanjuje na približno 1 µm, utiskivanjem mikroizbočina snažnim pritiskom. U tablici 3 prikazani su razredi hrapavosti pri različitim postupcima obrade površine.

**Tablica 3. Stupnjevi i razredi hrapavosti površina strojnih dijelova pri različitim obradama [15]**

Stupanj hrapavosti		N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Razred hrapavosti		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ra [µm]		0,012	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25
Rz [µm]		0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100
Ručna obrada	grubo turpijanje												
	fino turpijanje												
Pjeskarenje													
Brušenje	grubo												
	fino												
Poliranje	mehaničko												
	električno												
Honanje, lepanje													
Superfinaš													

Jedan od čestih postupaka je i obrada mlazom abraziva. Čišćenje površine moguće je provesti suhim ili mokrim mlazom čestica. U trenutku sudara mlaza s podlogom, kinetička energija se pretvara u mehanički učinak. Uklanjaju se rahla onečišćenja s površine i utiskuje materijal uz otvrdnjavanje [10]. Obično se koristi kremenij pijesak, zrnca elektrokorunda, čelične sačme, sječene hladno vučene čelične žice i dr. [6]. Postupak je standardiziran i ovisno o zahtjevima, podloga se obrađuje u različitim stupnjevima (prikazano u tablici 4).

Tablica 4. Stupnjevi pripreme površine prema standardu ISO 8501-1 [16]

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

**Napomene:**

1. Izraz "strano tijelo" može se odnositi na vodotopive soli i ostatke zavarivanja. Ta onečišćenja nije uvijek moguće potpuno odstraniti s površine suhim abrazivnim čišćenjem, ručnim i strojnim alatom ili čišćenjem plamenom. Stoga se može ukazati potreba za čišćenje mlazom abraziva na mokro.

2. Okujina, hrđa ili premaz smatraju se slabo prijanjajućima ukoliko ih je moguće odstraniti podizanjem pomoću tupe špetule.

Ako se radi o proizvodnji sitnih predmeta, neosjetljivih na udar, obrada površine se vrši u bubnjevima s abrazivom.

Četkanje je vrlo često ručna mehanička obrada, ali se može vršiti i strojno korištenjem rotirajućih četki. Koristi se za skidanje rahlih korozijskih produkata s površine metala (hrđe) i stare boje. Ručnom obradom moguće je skinuti slojeve koji labavo prijanjaju na površinu, dok strojna obrada osigurava veću produktivnost.

Pjeskarenje je obrada površine u struji kvarcnog pijeska ili korunda s komprimiranim zrakom. Ovim postupkom moguće je ukloniti korozijske produkte i stare prevlake. Glavni nedostatak pjeskarenja je opasnost za zdravlje zbog stvaranja silikatne prašine. Taj nedostatak se uklonio primjenom korunda umjesto kvarcnog pijeska. Sličan postupak je sačmarenje, gdje se obrada provodi mlazom čelične sačme pomoću specijalnih mlaznica.

Primjena abraziva u mlazu vode je učinkovit način obrade površine, ali nastaje ekološki problem oko zbrinjavanja otpadnih voda koje nastaju pjeskarenjem. Obradom mlazom vode, bez dodatka abraziva, dobiva se ekološki prihvatljiv postupak obrade površine. Postupak je standardiziran i ovisno o vodenom tlaku postoje različiti stupnjevi obrade (tablica 5). Zbog mogućnosti regulacije tlaka, postupak je prikladan za popravak starih premaznih sustava. Nedostatak postupka je što se ne može postići određeni profil hrapavosti pa se koristi za čišćenje površina koje su već obrađivane mlazom abraziva i imaju određenu hrapavost površine. Veliki nedostatak je i korodiranje obrađene površine.

Tablica 5. Stupnjevi pripreme površine mlazom vode prema standardu ISO 8501-4 [16]

Opis površine nakon čišćenja:	
Wa 1	<b>Lagano čišćenje mlazom vode pod visokim pritiskom</b> Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, i slabo prijanjajuće okujine, hrđe premaza i stranih tijela. Bilo koje zaostalo onečišćenje mora biti nasumice prisutno i prijanjati čvrsto za podlogu.
Wa 2	<b>Temeljito čišćenje mlazom vode pod visokim pritiskom</b> Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, i slabo prijanjajuće okujine, hrđe, premaza i stranih tijela. Bilo koje zaostalo onečišćenje mora biti nasumice prisutno i može biti u obliku čvrsto prijanjajućeg premaza, čvrsto prijanjajućeg stranog tijela ili mrlja od ranije prisutne hrđe.
Wa 2½	<b>Vrlo temeljito čišćenje mlazom vode pod visokim pritiskom</b> Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva hrđe, ulja, masnoća, onečišćenja, prethodnog premaza, izuzev laganih tragova, te stranih tijela. Može se pojaviti promjena nijanse na površini na mjestima gdje originalni premaz nije bio netaknut. Mjesta sive ili smeđe/crme promjene koja su primijećena na korodiranom čeliku ili čeliku na kojemu je prisutna dubinska korozija ne mogu se odstraniti daljnjim čišćenjem vodenim mlazom.

Postoji još vrsta mehaničkih obrada, karakterističnih za neko područje primjene. Prilikom kovanja i zavarivanja čest postupak je čekićanje kojim se skidaju krhki slojevi onečišćenja. Pri obradi velikih konstrukcija, npr. u brodogradnji, provodi se postupak plamenog čišćenja tj. uklanjaju se debeli slojevi onečišćenja zagrijavanjem površine plamenicima. Prilikom obrade odvajanjem čestica (tokarenje, glodanje, itd.) istovremeno se vrši mehanička predobradba.

#### 4.3. Kemijska obrada površine

Kemijska obrada površina odvija se u otopinama kiselina ili lužina - dekapiranje. Ovim postupkom uklanjanju se korozijski produkti i anorganska onečišćenja s površine metala [1]. Kemijske reakcije mogu biti spontane (kemijski postupci) ili izazvane električnom strujom (elektrokemijski postupci). Razlikujemo kiselinsko i lužnato dekapiranje.

Kiselinsko dekapiranje najčešće se odvija u otopinama sumporne ili klorovodične kiseline za željezo i čelik, te u otopini dušične kiseline za bakar [1]. Kiselinskim nagrivanjem otapaju se korozijski produkti i okujina te pri tome nastaju soli i voda. Ovisno o tipu osnovnog metala koji se obrađuje, temperaturi obrade i prisustvu elemenata poput silicija, fosfida, grafita i dr., odabire se vrsta kiseline. Pri obradi ugljičnih i niskolegiranih čelika najčešće se koriste sumporna ili klorovodična kiselina, ali se obrada zna vršiti pomoću fluoridne, fosfatne ili amidosulfatne kiseline. U novije vrijeme koriste se i otopine organskih

kiselina pri višim temperaturama. Kiselinama se često dodaju inhibitori koji usporavaju koroziju osnovnog metala i smanjuju opasnost od vodikove bolesti. Obrada se najčešće vrši uranjanjem. Nakon kiselinskog nagrivanja potrebno je temeljito ispiranje obrađene površine i neutralizacija ostataka kiselinskih tragova lužnatim tvarima.

Lužnato dekapiranje odvija se u otopini natrijevog hidroksida [1]. Postupak se temelji na kemijskim reakcijama između korozivskih produkata i lužnate otopine. Koriste se otopine natrijevog hidroksida koje ne izazivaju koroziju i imaju veliku učinkovitost odmašćivanja. Obrada se obično vrši uranjanjem u vruće kupelji. Problem se javlja prilikom ispiranja nakon obrade. Lužnate tvari se teško uklanjaju pa je potrebna neutralizacija površine razrijeđenim kiselinama.



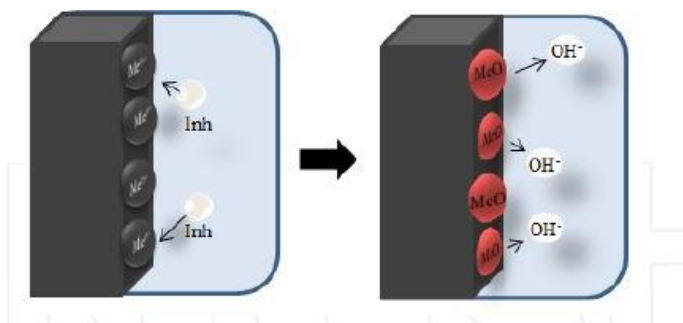
## 5. PRIPREMA POVRŠINE UPORABOM INHIBITORA

Inhibitori korozije su često u primjeni prilikom zaštite konstrukcija prevlakama. Najčešće se dodaju u samu prevlaku kako bi poboljšali njezina antikorozivna svojstva. U novije vrijeme, inhibitori se primjenjuju na samu površinu na koju se nanosi prevlaka. Miješaju se u različite otopine za čišćenje površina prilikom pripreme površine. Time se nastoji poboljšati prionjivost prevlaka, njezina inertnost i dr. Postupak je pogodan i jer se stvara antikorozivna zaštita tijekom privremenog skladištenja.

### 5.1. Inhibitori korozije

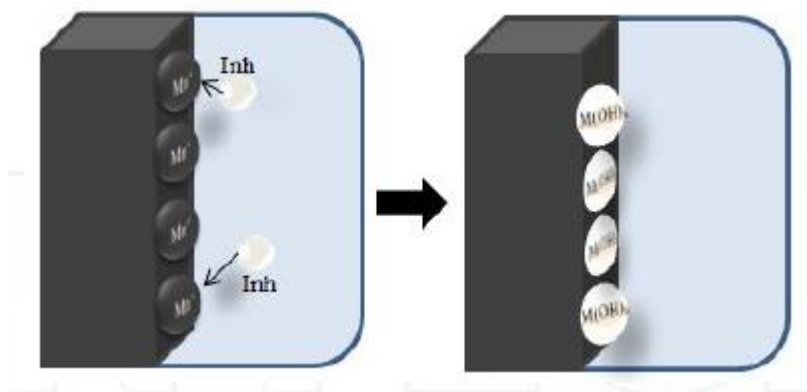
Inhibitori korozije su tvari organskog ili anorganskog podrijetla koje u vrlo malim koncentracijama smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti (0,1 mm/god) [8]. Svoju primjenu najviše nalaze u uvjetima kad su konstrukcije teško ili potpuno nepristupačne za kvalitetnu zaštitu premazima. Ovisno o načinu djelovanja, inhibitori mogu biti anodni, katodni i mješoviti.

**Anodni inhibitori** koče anodnu reakciju, tj. ionizaciju metala. Stvaraju se filmovi oksida ili slabo topljivih soli. Nastali film stvara barijeru između metalne površine i korozivnog okoliša. Mehanizam djelovanja prikazan je na slici 17. Anodni inhibitori potiču prirodnu pasivaciju metalne površine pa se obično koriste za obnavljanje ili pojačanje prirodnog oksidnog filma. Prilikom korištenja anodnih inhibitora, velika pažnja se mora posvetiti njihovoj koncentraciji. Pri nižim koncentracijama postoji opasnost od začetka nekog oblika korozije, te zbog toga spadaju u skupinu „opasnih“ inhibitora. Najvažniji su anodni inhibitori pasivatori, tj. topljive soli oksidativnih aniona kakvi su kromati ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ), nitriti ( $\text{NO}_2^-$ ), molibdati ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ), volframati ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) i vanadati ( $\text{VO}_3^-$ ) koji u otopinama pH 5-9 prevode Fe, Ni, Co i njihove legure u pasivno stanje (snažno kočenje procesa korozije = spora korozija) [8].



Slika 17. Mehanizam djelovanja anodnih inhibitora [17]

**Katodni inhibitori** koče katodnu reakciju redukcijom vodika/kisika ili djeluju kao taložni inhibitori. Ovaj tip inhibitora ima lužnata svojstva zbog čega dolazi do reakcije s metalnom površinom. Oslobađaju se metalni ioni koji tvore netopive spojeve te se ti spojevi dalje talože na katodnim mjestima. Nastaje film koji ograničava difuziju redukcijskih elemenata na tim mjestima (prikazano na slici 18). Primjena katodnih inhibitora može imati i svoje negativne posljedice. Može doći do difundiranja zarobljenog vodika u metalnu rešetku što povećava opasnost od pucanja (vodikova krhkost). U usporedbi s anodnim inhibitorima jednake koncentracije, katodni inhibitori su znatno manje djelotvorni [1]. Njihova primjena se smatra „sigurnom“ jer ne uzrokuju mjestimičnu koroziju. U neutralnim i lužnatim otopinama djelotvorni su anorganski katodni inhibitori (npr. soli cinka i nikla), dok su u kiselim otopinama u primjeni organski katodni inhibitori (agar-agar, dekstrin, aldehidi) [1], [9].



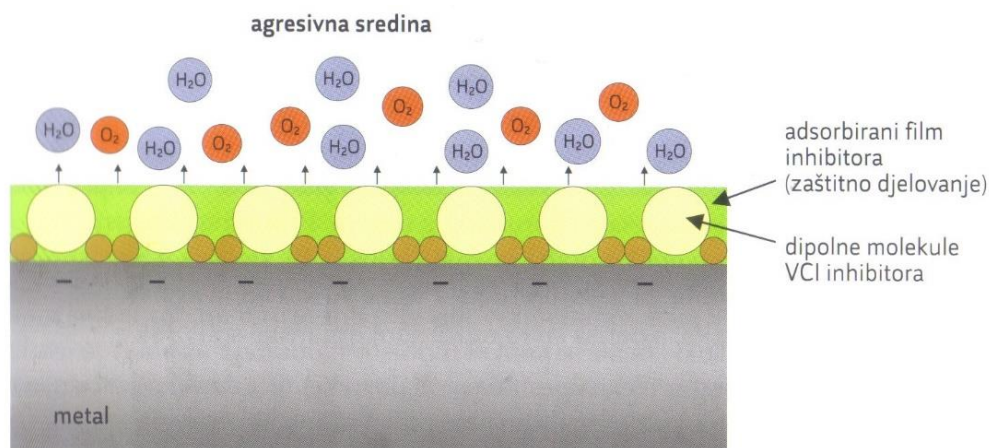
Slika 18. Mehanizam djelovanja katodnih inhibitora [17]

**Mješoviti inhibitori** imaju anodno i katodno djelovanje. To su najčešće organski spojevi koji se adsorbiraju na metalnu površinu (drugi naziv – adsorpcijski inhibitori) [1]. Tvore se spojevi u obliku zaštitnih monomolekulskih filmova. Monomolekulsko nakupljanje može biti fizikalno (adsorpcija) ili kemijsko (kemisorpcija) [9]. Adsorpcija je posljedica intermolekulskih sila privlačenja (Van der Waalsove sile) između organskih iona i površine metala. Adsorpcija ovisi o svojstvima organskih inhibitora, vrijednostima korozijskog potencijala i vrsti aniona prisutnih u agresivnom mediju [1]. Kemisorpcija je proces vezivanja molekula na površinu. Sile su jače nego kod fizikalne adsorpcije i nazivaju se valentnim silama. U odnosu na adsorpciju, kemisorpcija je sporiji proces i ima veću energiju aktivacije. Također, njezino djelovanje znatno ovisi o temperaturi. Fizikalna adsorpcija



obično je reverzibilna i višeslojna, a kemijska ireverzibilna i monoslojna. Najpoznatiji su želatina, agar-agar, škrob, tanin, K-glukonat. U ovu skupinu inhibitora spadaju i derivati acetilena, soli organskih kiselina, spojevi s dušikom (amini) i njihove soli (nitrati), spojevi sa sumporom, tioalkoholi (merkaptani), sulfidi [8].

Danas su sve više u primjeni **hlapivi inhibitori korozije** (VpCI, eng. *Vapour phase corrosion inhibitor*). To je posebna skupina inhibitora (organske tvari) koji imaju dovoljno visok tlak para da sublimiraju i učine nekorozivnim okolni zrak ili neki drugi plin. Tlak se kreće od 0,01 Pa do 100 Pa. Prilikom dodira pare s površinom metala, VCI kondenzira u tanki film koji putem ionizacije zaštićuje metal. Mehanizam djelovanja prikazan je na slici 19. Hlapivi inhibitori korozije se rabe u obliku praha ili se njihovom alkoholnom otopinom natapaju papiri, odnosno spužvaste tvari (najčešće poliplasti). Ovdje spadaju amini i njihove soli s inhibitorским anionima, i to nitritima, benzoatima, karboksilatima ili karbonatima [9].



Slika 19. Mehanizam djelovanja hlapivih inhibitora korozije [8]

## 5.2. Klasična primjena inhibitora

Inhibitori su najčešće u primjeni prilikom zaštite od korozije. Koriste se u sustavima za grijanje i hlađenje, u parnim kotlovima, zaštiti oružja, brodogradnji, u sredstvima za hlađenje i podmazivanje tijekom obrade rezanjem, za privremenu zaštitu tijekom transporta i skladištenja i dr. Primjenom inhibitora postižu se značajne uštede i omogućuje kvalitetan rad. Osnovna prednost primjene inhibitora pred drugim metodama zaštite je vrlo jednostavna montaža, konstantnost električnih i mehaničkih svojstava, te samoobnavljanje zaštitnog

djelovanja tijekom eksploatacije ili mirovanja navedenih elemenata [8]. Na slici 20 prikazana su različita područja primjene inhibitora korozije.



Slika 20. Različite primjene inhibitora korozije [9], [20]

### 5.3. Inhibitori kod pripreme metalnih površina

Jedan od najčešćih načina pripreme površine je primjenom abraziva. Osim visokih troškova (zbrinjavanje otpadnih voda, abraziva...), veliki nedostatak ove metode je štetan utjecaj na okoliš. Uklanjanjem abraziva razvija se novi postupak obrade vodenim mlazom. Time se smanjila štetnost na okoliš, ali se javlja novi problem. Voda je vrlo agresivan medij koji znatno ubrzava korozijske procese. Na slici 21 prikazane su posljedice korozije nastale djelovanjem vodenog medija. Posljedica korozije su pucanja cijevi, razaranje materijala i slično. Iz tog razloga se u vodeni mlaz dodaju inhibitori koji sprječavaju korodiranje površine prilikom čišćenja.

Drugi način primjene inhibitora korozije je u obliku čistača površine. Čistači su proizvodi za čišćenje, odmašćivanje i pripremu površine metala. Prednost im je lako nanošenje i mogućnost zaštite velikih površina.



**Slika 21. Posljedice korozije nastale djelovanjem vodenog medija [19]**

U današnje vrijeme naglasak je na ekološkoj prihvatljivosti inhibitora korozije, tako da je većina na bazi vode i biorazgradiva. Također se vodi računa i o zaštiti radnika koji nanose čistače, tako da je sve više proizvoda neotrovno. Ovisno o tipu čistača, oni uklanjaju masti, ulja i hrđu s metalne površine i često ostavljaju tanak film inhibitora koji štiti površinu od korozije. Primjena inhibitora korozije kao čistača još uvijek je u razvoju. Uspoređuju se s konvencionalnim metodama pripreme površine poput pjeskarenja i zatim odmašćivanja upotrebom razrjeđivača.

## 6. PREGLED DOSADAŠNJIH ISPITIVANJA

Korištenje inhibitora korozije pri pripremi površina sve je češća pojava. Njihova zadaća nije više samo usporavanje korozijskih procesa, nego i uklanjanje masti, ulja i drugih nečistoća s površine metala. U nastavku rada bit će opisano nekoliko radova na temu inhibitora i njihova postupna primjena kod pripreme površine.

### 6.1. Usporavanje procesa korozije u bojlerima

U radu [21] je istraživana djelotvornost malih količina inhibitora korozije u uvjetima visoke vlage i temperatura (bojleri). Istraživan je prvenstveno utjecaj visokih temperatura na stabilnost inhibitorske zaštite u dužem periodu djelovanja. S obzirom na uvjete u kojim se inhibitor nalazio, tražio se dokaz njegove djelotvornosti u parnom i u tekućem mediju. Zaštitni filmovi nastali djelovanjem inhibitora morali su izdržati zadane uvjete kako ne bi došlo do pucanja filma i lokalne korozije. Kritična mjesta su bila parne cijevi i njihove spojne točke te koljena.

Temelj istraživanja bila je mogućnost otapanja alkalnih amina (inhibitora) u mediju unutar kotlova, koji bi zatim isparili zajedno sa parom, kondenzirali se i tako zaštitili sve dijelove bojlerskog sustava.

Daljnijm istraživanjem dokazano je da male količine amina visoke molekularne mase pružaju djelotvornu i dugotrajnu korozijsku zaštitu u tekućim medijima. Dodatnim istraživanjima došlo se do zaključka da dodavanjem alkohola u već zadane uvjete, moguće je postići zaštitu od korozije u tekućoj, ali i u parnoj fazi procesa.

Novi inhibitorski sustavi su pokazali inertna svojstva i kemijsku stabilnost nastalih filmova. Kao rezultat kemijske stabilnosti nastao je pozitivan učinak na napojne vode. Zbog inertnosti cijelog sustava, smanjila se potreba za čestim tretiranjem otpadnih voda i čestom obnovom korozijskog zaštitnog sustava. Postiglo se da korozijska postojanost ne ovisi više o pH-vrijednosti napojnih voda.

Ovim radom pokazao se sveukupni utjecaj antikorozivne zaštite na sustav. Smanjenjem stupnja korozije, smanjila se i potreba za održavanjem sustava i medija koji njime kruži [21].

## 6.2. Inhibitori korozije kao otopine za čišćenje

U radu [22] je proučavan sustav u kojem dolazi do isparavanja vode i prijenosa topline (bojleri). Istraživanje je započeto analizom sastava otopina za čišćenje metalnih površina u koje su se dodavali inhibitori korozije. Na temelju dobivenih rezultata, istraživanje se dalje usmjerilo na primjenu navedenih otopina u kemijskom čišćenju oksida s površine metala.

U sustavima gdje postoji protok vode i promjene temperature često se javlja korozija. Tijekom rada sustava dolazi do taloženja netopivih soli na površinama metala. Kao rezultat protoka tvrde vode, te soli su najčešće soli kalcija i magnezija. Takvo taloženje soli osim što utječe na korozivnost sustava, smanjuje i prijenos topline kroz sustav. Kako bi se riješio problem, u sustav se unose otopine za kemijsko čišćenje površina od soli. Dugo su se koristile otopine visoke razine kiselosti, ali se one sve više zamjenjuju lužinama koje se miješaju s inhibitorima korozije. Primjenom inhibitora korozije javljaju se novi problemi. Inhibitori korozije djelotvorni su na određenoj pH-vrijednosti ili u njezinom uskom intervalu. Drugi problem je što je većina inhibitora korozije relativno netopiva u otopinama za čišćenje i potreban je alkohol ili površinski aktivna tvar.

Cilj rada bio je pokušati pronaći inhibitor korozije koji je u određenoj koncentraciji topiv u otopinama za čišćenje, poželjno je da je primjenjiv u različitim vrstama otopinama za čišćenje i da ima šire područje djelotvornosti u odnosu na pH-vrijednost otopina.

Proučavao se inhibitor koji je u svom sastavu imao barem jednu alifatsku piridinijevu sol ili alifatsku kinolinijevu sol i spoj koji sadrži sumpor. Istraživala se njegova djelotvornost u inhibiranju korozije metala uslijed kontakta s vodenim otopinama za čišćenje. Daljnjim radom inhibitor je dispergirao ili otopljen u vodenoj otopini za čišćenje metalnih površina. Dodavanjem sumpora povećava razinu zaštite od korozije. Uobičajeni zahtjevi traže oko 0,2 mol-a spoja koji sadrži sumpor, ali analizom dobivenih podataka zaključeno je da se u ovim uvjetima zahtjeva veća količina sumpora u spoju (od 0,5 do 2 mol).

Inhibitor korozije je spriječio prekomjernu koroziju čistog osnovnog metala tijekom postupka čišćenja. Ispitivale su se razne kisele i lužnate otopine, na bazi vode, za čišćenje metalnih površina (prikazano u tablici 6). Dokazana je djelotvornost inhibitora u širokom rasponu pH-vrijednosti. Otopine za čišćenje obično imaju raspon pH-vrijednosti od 1 do 10.

**Tablica 6. pH-vrijednost otopina za čišćenje korištenih u istraživanju [22]**

OTOPINA ZA ČIŠĆENJE	AKTIVNE TVARI	pH
A	HEDTA	≈ 2,3
B	diamin EDTA	5
C	tetraamin EDTA	9,2
D	C + limunska kiselina	5
E	C + mravlja kiselina	5
F	glikolna kiselina + mravlja kiselina	≈2,2
G	trinatrijeva sol od B + sumporna kiselina	1,2 – 1,5
HEDTA	hidroksietil etilen diamin 3-octena kiselina tretirana amonijakom	
EDTA	etilendiamintetraoctena kiselina tretirana amonijakom	

Što se tiče topljivosti inhibitora nije bilo pozitivnih rezultata. Ovisno o pH-vrijednosti otopine za čišćenje inhibitor je bio manje ili više topljiv, ali ispod granica očekivanog.

Zaključeno je da je moguće povećati raspon pH-vrijednosti u kojem su inhibitori učinkoviti. Pokazali su djelotvornu zaštitu u različitim vrstama otopina za čišćenje. Međutim, inhibitor se nije miješao s otopinama za čišćenje ukoliko nije bio pomiješan s nekom vrstom otapala. Potrebno je vršiti daljnja ispitivanja kako bi se poboljšala topljivost inhibitora u vodenim otopinama [22].

### 6.3. Sredstva za čišćenje bez otapala u zrakoplovstvu

Istraživanje u radu [23] je provedeno na premazanim i nepremazanim dijelovima avionskog trupa. Istraživala su se sredstva za čišćenje metalnih površina kod kojih nije potrebna upotreba otapala te koja su biorazgradiva. Istraživana je i metoda njihova nanošenja (slika 22).

**Slika 22. Primjena inhibitora korozije u zrakoplovstvu [25]**

Sredstva za čišćenje koja su se koristila 90-ih godina prošlog stoljeća sadržavala su 10 do 15% otapala i različite koncentracije drugih elemenata štetnih za okoliš. Jedan od takvih elemenata je i hlapivi inhibitor korozije morfolin koji je danas naveden kao opasni zagađivač zraka. Drugi sporni element bilo je otapalo koje u svojoj strukturi sadrži fenoksilnu skupinu. Otapalo tokom biorazgradnje ispušta fenol, toksičan spoj koji može onečistiti vodu i stvoriti poteškoće tijekom njegovog odlaganja.

Stvoreno je sredstvo za čišćenje koje u svom sastavu ima linearni alkohol etoksilat i različite koncentracije inhibitora korozije, poput fosfatnog estera, triazolnog inhibitora, benzotriazola i dr. Linearni alkoholni etoksilat su dokazano djelotvoran u sredstvima za čišćenje, ali veliki nedostatak im je što za postizanje učinkovitosti zahtijevaju određenu koncentraciju otapala. Problemi zbog nekorištenja otapala javili su se i u obliku pjenivosti. Dodavanjem kaprilne dietanolamidne površinske aktivne tvari poboljšala se učinkovitost čišćenja i smanjila pjenivost sredstva. Ograničenje postoji u obliku snižene pH-vrijednosti jer povećanjem pH može doći do oštećenja aluminijskih legura. U sastavu sredstva za čišćenje dodano je i od 0,3% do 3% (max. 15%) inhibitora korozije kako bi se smanjila korozivnost aluminija, magnezija i čelika prevučenog kadmijem.

Korištenje opisanog sredstva za čišćenje povećalo je produktivnost postupka za 50%. Pokazalo se da je optimalna koncentracija sredstva za čišćenje u vodi 1:14, što dalje rezultira manjim troškovima nabave [23].

#### **6.4. Inhibitori korozije i tekućine za čišćenje**

U ovom radu [24] istraživana je utjecaj inhibitora korozije i tekućine za čišćenje poluvodičkih uređaja. Kod klasičnog postupka ožičenja poluvodičkih uređaja metal (za žice) nanosi se na silikonsku ploču gdje se stvara film. Stvoreni film se oblikuje u željeno ožičenje pomoću litografije i suhog nagrivanja. Željeni razmaci između žica postižu se postavljanjem izolacijskog filma. Postupak kemijskog poliranja sastoji se od sredstva za poliranje i jastučića za nanošenje. Služi za uklanjanje ostatka metalnog filma koji je izbačen iz utora nakon formiranja žica. Problem kod ovog postupka je što nakon poliranja dio sredstva ostaje na površini i potrebno je čišćenje.



Za rješavanje opisanog problema razvijena je tekućina za čišćenje s dodatkom inhibitora korozije. Dokazano je da spojevi koji u svojoj strukturi imaju ugljikov atom vezan s merkaptoskupinom (novi naziv- tioli) i drugi ugljikov atom vezan s hidroksilnom skupinom, međusobno vezani, ne uzrokuju procese korozije metala i pogodni su za miješanje sa sredstvima za čišćenje. Velika prednost ovih spojeva je što nisu uzrokovali negativne posljedice na ljudsko zdravlje i okoliš. Za inhibitor korozije dokazao se učinkovit spoj alifatskog alkohola. Tablica 7 prikazuje različite skupine inhibitora korozije.

**Tablica 7. Različite vrste inhibitora korozije [9]**

<b>ANODNI INHIBITORI</b>	<b>KATODNI INHIBITORI</b>	<b>ANODNI I KATODNI INHIBITORI</b>
Kromati	Karbonati	Topljiva ulja
Nitridi	Polifosfati	Merkaptobenzotiazol
Bikarbonati	Cink	Benzotriazol
Silikati	Fosfonati	-



## 7. METODE LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA

Kako bi se odredila svojstva premaza i utjecaj inhibitora korozije na površinu materijala, simuliraju se korozijski uvjeti i prate promjene na materijalu. Nakon određivanja debljine premaza, uzorci se pripremaju za ispitivanja. Ispitivanja će se odvijati u vlažnoj i slanoj komori. Poslije toga će se provesti elektrokemijsko ispitivanje izmjeničnom strujom, tj. elektrokemijska impedancijska spektroskopija.

### 7.1. Mjerenje debljine suhog filma premaza

Debljina filma ima velik utjecaj na kvalitetu premaza, ali i na proizvodne troškove. Ima direktan utjecaj na poroznost i postojanost premaza. Porastom debljine najčešće raste i korozijska postojanost premaza, ali prevelika debljina može dovesti do predugog sušenja, pucanja premaza i grešaka u filmu. Utjecajni parametri na debljinu filma su [8]:

- tehnika nanošenja
- vrsta premaza koji se aplicira
- uvjeti pri kojima se nanošenje izvodi
- vještina ličioca
- profil i kvaliteta pripremljene površine na koju se premaz nanosi.

Kontrola debljine filma premaza se provodi sukladno normi HRN EN ISO 2808:2008 i obuhvaća kontrolu debljine mokrog filma premaza i kontrolu debljine suhog filma premaza. U ovom istraživanju kontrolira se samo debljina suhog filma premaza.

Mjerenje debljine suhog filma premaza je nerazorna metoda ispitivanja. Uređaji koji se koriste pri mjerenju debljine suhog filma premaza najčešće rade na principu magnetizma ili vrtložnih struja (slika 23). Odabir ovisi o magnetičnosti podloge na koju je premaz apliciran.



Slika 23. Primjer uređaja za mjerenje debljine suhog filma premaza

## 7.2. Ispitivanje u vlažnoj komori

Ispitivanjem u vlažnoj komori (prikazana na slici 24) simulira se atmosfera toplog zraka zasićenog vlagom uz prisutnost kondenzirane vode. Ispitna temperatura iznosi  $40\pm 3$  °C, a relativna vlažnost zraka je oko 100 %. Ispitivanje se provodi sukladno normi HRN EN ISO 6270-2. Ovisno o vrsti premaza i inhibitora određuje se vrijeme trajanja ispitivanja.

Nakon završetka ispitivanja uzorci se vade iz vlažne komore. Uspoređuju se površine tretirane inhibitorom korozije s etalonom (netretirani uzorak) i na temelju rezultata određuje djelotvornost inhibitora. Procjena propadanja premaza provodi se prema normi ISO 4628.



**Slika 24. Vlažna komora “Humidity Cabinet Model AB6”, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB**

## 7.3. Ispitivanje u slanoj komori

Ispitivanjem u slanoj komori (prikazana na slici 25) uzorci se izlažu finoj magli 5 %-tne otopine NaCl. Temperatura u komori iznosi  $35\pm 2$  °C. Ispitivanje se provodi sukladno normi HRN EN ISO 9227. Ovisno o vrsti premaza i inhibitora određuje se vrijeme trajanja ispitivanja. Nakon završetka ispitivanja uzorci se vade iz komore i uspoređuju se površine tretirane inhibitorom korozije s etalonom (netretirani uzorak). Procjena propadanja premaza provodi se prema normi ISO 4628.



**Slika 25. Slana komora “Ascott Model S450”, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB**

Premazi ispitivani u vlažnoj i slanoj komori mogu se dalje ispitivati nekom drugom metodom. Tako se npr. može testirati prionjivost prevlake nakon izlaganja korozivskim uvjetima („Cross-cut“ test).

#### **7.4. Procjena stupnja propadanja premaza**

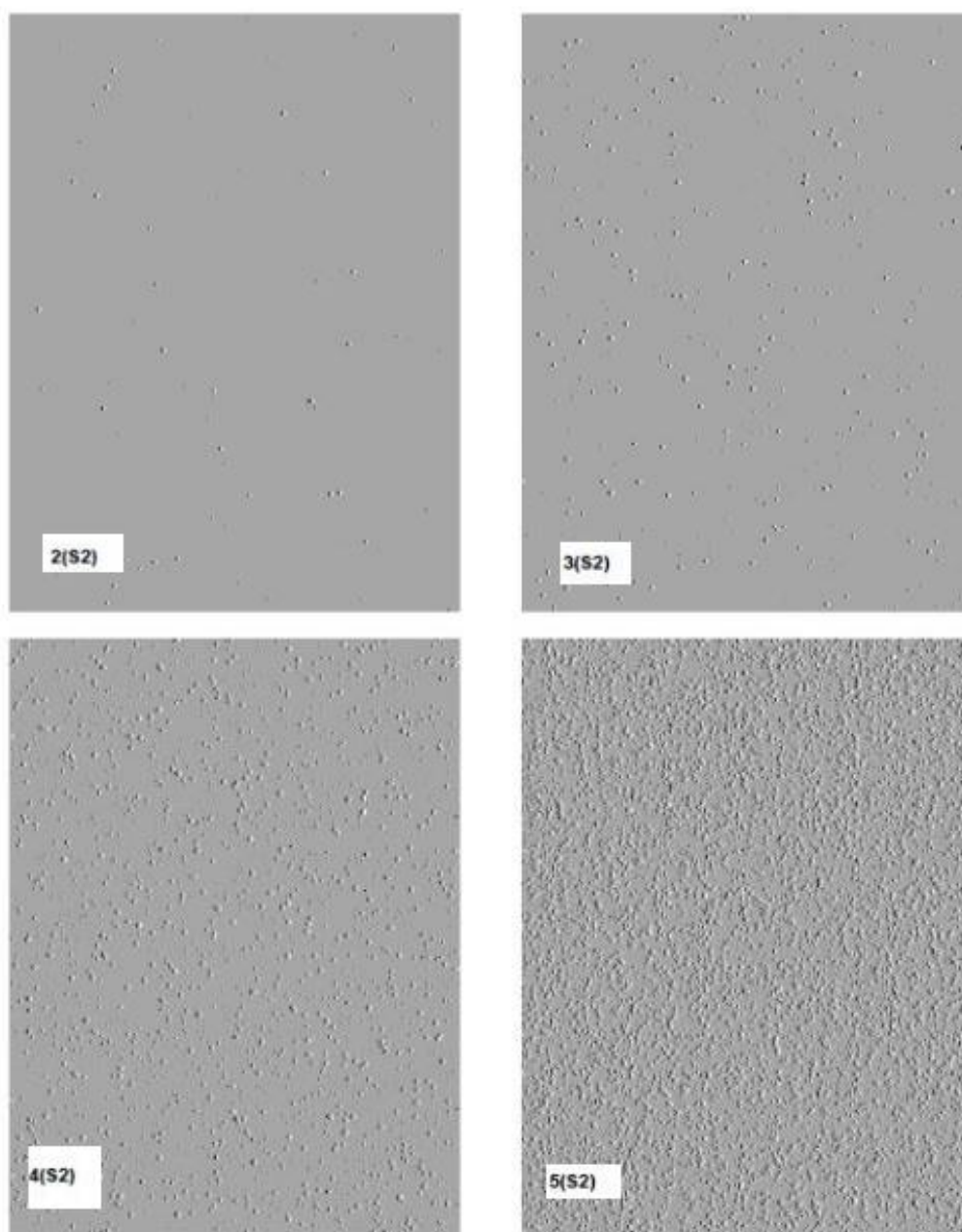
Nakon ispitivanja provedenih u slanoj i vlažnoj komori provodi se procjena propadanja premaza. Procjena se provodi prema normi ISO 4628 i čini ju nekoliko mogućih postupaka procjenjivanja.

Norme za procjenu propadanja premaza su:

- HRN EN ISO 4628 – 1: Opći uvod i sustav označivanja
- HRN EN ISO 4628 – 2: Ocjena stupnja mjehuranja
- HRN EN ISO 4628 – 3: Ocjena stupnja hrđanja
- HRN EN ISO 4628 – 4: Ocjena stupnja pucanja
- HRN EN ISO 4628 – 5: Ocjena stupnja ljuštenja
- HRN EN ISO 4628 – 6: Ocjena stupnja kredanja postupkom s ljepljivom vrpcom
- HRN EN ISO 4628 – 8: Ocjena stupnja raslojavanja i korozije oko ureza ili drugih oštećenja
- HRN EN ISO 4628 – 10: Ocjena stupnja filiformne korozije.

#### 7.4.1. Ocjenjivanje stupnja mjehuranja

Mjehuranje se može pojaviti na premazima nakon ispitivanja u vlažnoj ili slanoj komori i potrebno ga je ispitivati neposredno nakon vađenja iz komore jer se s vremenom mjehuri povlače. Ispitivanje se provodi prema normi HRN EN ISO 4628-2. Ispitivanje je vizualno i površina premaza se uspoređuje s primjerima u normi. Ocjenjuje se veličina mjehura i gustoća mjehura na površini. Na slici 26 prikazan je primjer površina s mjehurima iste veličine (oznaka veličine – S2), ali različite gustoće (oznake gustoće 2 – 5).



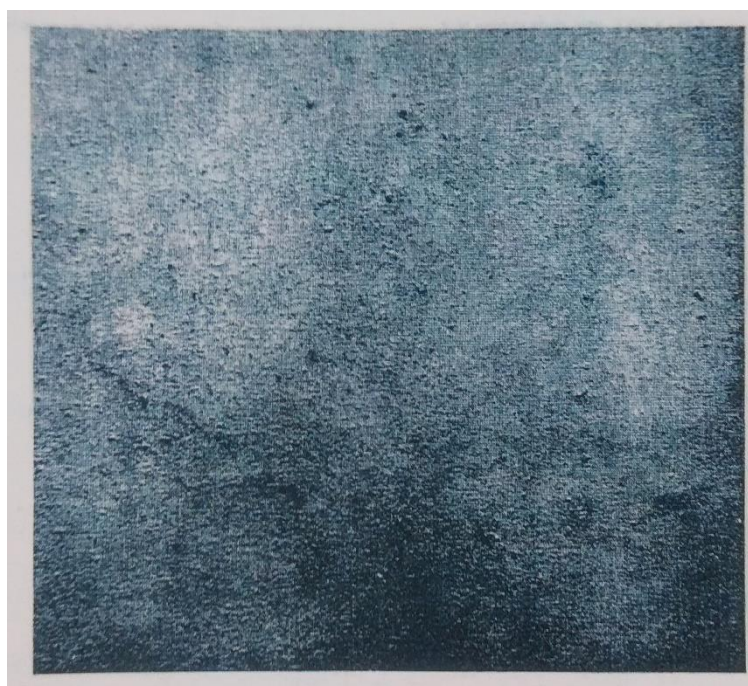
Slika 26. Stanje površine zadano normom HRN EN ISO 4628-2

#### 7.4.2. Ocjenjivanje stupnja hrđanja

Nakon vađenja uzoraka iz vlažne ili slane komore prvo što se primjećuje na površini premaza je pojava korozijskih produkata. Stupanj korozije se ocjenjuje prema normi HRN EN ISO 4628-3. Slično kao i pri ocjenjivanju stupnja mjehuranja, površina premaza se uspoređuje s primjerima zadanim u normi. U tablici 8 navedeni su stupnjevi hrđanja ovisno o postotku zahvaćenog područja premaza. Na slici 27 prikazan je primjer površine stupnja hrđanja Ri 1, zadan u normi.

**Tablica 8. Stupnjevi hrđanja prema normi HRN EN ISO 4628-3**

Stupanj hrđanja	Zahrdala površima, %
Ri 0	0
Ri 1	0,05
Ri 2	0,5
Ri 3	1
Ri 4	8
Ri 5	40 - 50



**Slika 27. Stupanj hrđanja Ri 1 prema normi HRN EN ISO 4628-3**



### 7.4.3. Ispitivanje širenja korozije oko ureza

Uobičajeni postupak prilikom ispitivanja u slanoj komori je zarezivanje površine premaza skalpelom, prikazano na slici 28. Na taj način se pokušava simulirati djelovanje korozivnog okoliša na nezaštićeni tj. oštećeni dio premaza. Time se promatra širenje korozije u oštećenom području ispod premaza. Postupak se provodi prema normi HRN EN ISO 4628-8.



Slika 28. Uklanjanje premaza u području ureza

Nakon ispitivanja u slanoj komori, premaz se uklanja u području ureza te se pomoću povećala s mjernom skalom mjeri širina zone korozije. Stupanj korozije, prema normi HRN EN ISO 4628-8, računa se prema jednadžbi:

$$M = \frac{c - w}{2} \quad (1)$$

gdje je:

- $M$  – ocjena stupnja korozije
- $c$  – širina zone korozije, mm
- $w$  – širina ureza, mm.

Prema navedenoj normi, ocjena stupnja korozije  $M$  mora biti manja od 1 mm.

## 7.5. Ispitivanje prionjivosti premaza urezivanjem mrežice

Kako je već objašnjeno u poglavlju 3, dobra prionjivost omogućuje ostvarivanje zaštitnih svojstava premaza i njezin vijek trajanja. Jedna od osnovnih metoda ispitivanja prionjivosti premaza je urezivanjem mrežice sukladno normi HRN EN ISO 2409:2013.

Metoda ispitivanja prionjivosti urezivanjem mrežice je razorna metoda ispitivanja gdje se pomoću instrumenta urezuje u premaz mrežica od 25 kvadratića. Urezi moraju biti jednoliki, a udaljenost između njih ovisi o debljini premaza, prikazano u tablici 9.

Tablica 9. Ovisnost vrijednosti razmaka ureza o debljini premaza [8]

Razmak između ureza, mm	Debljina premaza, $\mu\text{m}$
1	60
2	60 – 120
3	iznad 120

Za provođenje postupaka potrebni su instrumenti za urezivanje, četka i ljepljiva vrpca te standardna skala u normi HRN EN ISO 2409 (prikazano na slici 29.a i 29.b).



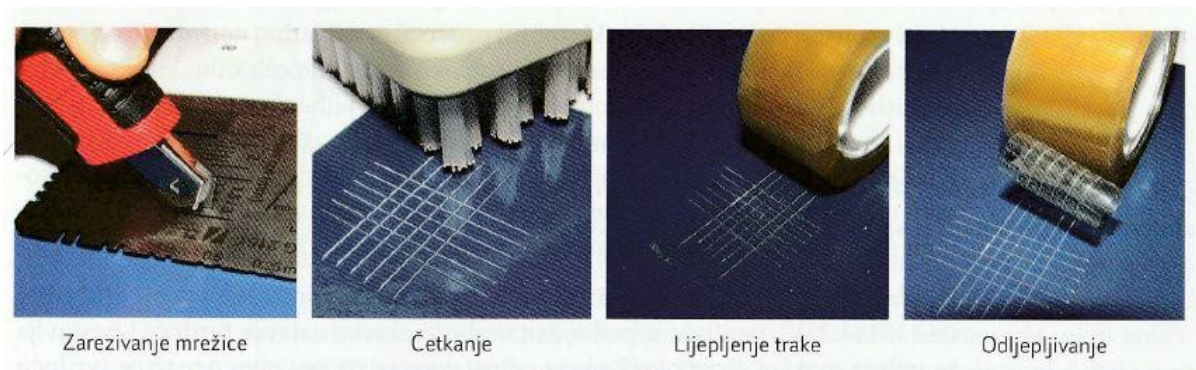
a) oprema za ispitivanje

Classification	Description	Appearance of surface of cross-cut area from which flaking has occurred (Example for six parallel cuts)
0	The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.	—
1	Detachment of small flakes of the coating at the intersections of the cuts. A cross-cut area not greater than 5 % is affected.	
2	The coating has flaked along the edges and/or at the intersections of the cuts. A cross-cut area greater than 5 %, but not greater than 15 %, is affected.	
3	The coating has flaked along the edges of the cuts partly or wholly in large ribbons, and/or it has flaked partly or wholly on different parts of the squares. A cross-cut area greater than 15 %, but not greater than 35 %, is affected.	
4	The coating has flaked along the edges of the cuts in large ribbons and/or some squares have detached partly or wholly. A cross-cut area greater than 35 %, but not greater than 65 %, is affected.	
5	Any degree of flaking that cannot even be classified by classification 4.	—

b) standardna skala, HRN EN ISO 2409

Slika 29. Ispitivanje prionjivosti prevlake: a) oprema za ispitivanje, b) standardna skala

Pomoću instrumenata za urezivanje u premaz se urezuje mrežica. Nakon urezivanja, četkom se lagano očisti područje mrežice kako bi se uklonili mogući ostaci premaza nastali urezivanjem. Na mrežicu se zatim lijepi ljepljiva vrpca i naglim pokretom se odlijepi. Postupak je prikazan na slici 30.



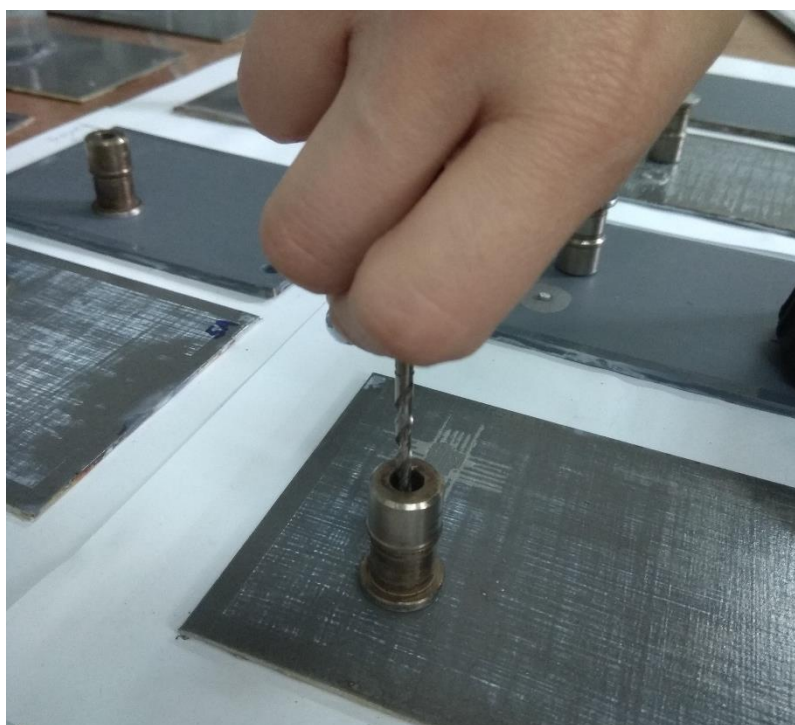
**Slika 30. Postupak ispitivanja prionjivosti prevlake prema normi HRN EN ISO 2409:2013 [1]**

Urezana mrežica se uspoređuje sa standardnom skalom i ocjenjuje se prionjivost ispitivanog premaza. Uzorci se ocjenjuju prema standardnoj skali od 0 do 5. Ocjene 0 i 1 označuju kvalitetnu prionjivost, dok ostale ocjene ne zadovoljavaju zahtjevanu kvalitetu.



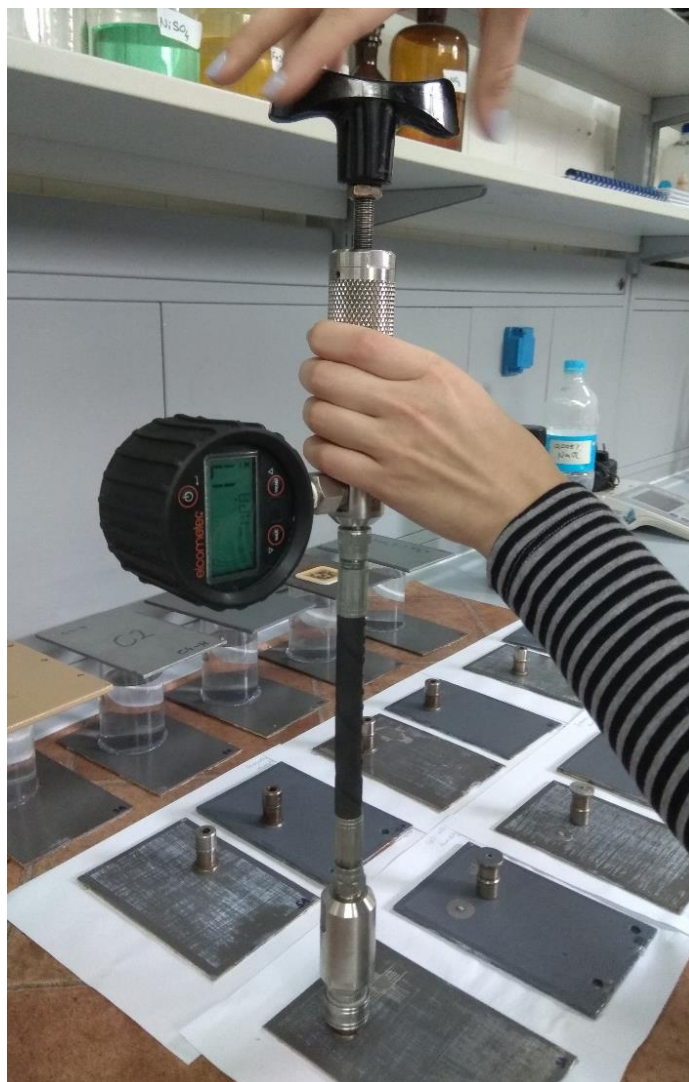
## 7.6. Ispitivanje prionjivosti premaza vlačnom metodom

Ispitivanje prionjivosti premaza vlačnom metodom provodi se sukladno normi HRN EN ISO 4624. Oprema se sastoji od metalnih čunjića, ljepila, instrumenta za čišćenje provrta čunjića i mjernog uređaja. Čunjići se prvo lijepe na premazanu podlogu i zatim se ljepilo suši dok ne otvrdne (oko 30 minuta). Nakon što su čunjići čvrsto prilijepljeni na podlogu, kroz provrt čunjića se pomoću instrumenta uklanja višak ljepila koji još nije stvrdnuo, kako se mjerni uređaj ne bi zaljepio za površinu podloge (prikazano na slici 31).



**Slika 31. Ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom - uklanjanje viška ljepila**

Nakon uklanjanja viška ljepila, mjerni uređaj se pričvršćuje na nalijepljene čunjiće i time na samu podlogu. Postupnim povećanjem sile, približno konstantnim, čunjići se nastoje odvojiti od površine premazane podloge. Povećanje tlaka koje uzrokuje odvajanje čunjića od podloge se iščitava na mjernom uređaju. Postupak i mjerni uređaj su prikazani na slici 32.



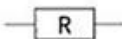
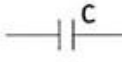
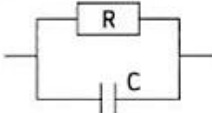
**Slika 32. Ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom, HRN EN ISO 4624**

## 7.7. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija

Kako su korozijski procesi elektrokemijske prirode, tijekom njihovog ispitivanja moguća je primjena elektrokemijskih metoda ispitivanja. Razlikuju se metode s istosmjernom strujom i metode s izmjeničnom strujom. Glavna razlika je što metode s izmjeničnom strujom ne narušavaju prirodu sustava, čime se ne uzrokuju promjene stanja površine elektrode i njezine okoline. Iz tog razloga se elektrokemijska impedancijska spektroskopija često koristi pri istraživanju elektrokemijskih reakcija na granici faza [10].

Elektrokemijska impedancijska spektroskopija (EIS) se temelji na odzivu elektrode na izmjenične naponske ili strujne signale male amplitude i različitih frekvencija. Sustav je moguće opisati kao električni krug koji se sastoji od kombinacije otpornika i kondenzatora. Da bi se odredila ukupna impedancija u strujnom krugu, potrebno je kombinirati impedancijske vrijednosti pojedinih elemenata [8]. Impedancijske jednadžbe za pojedine elemente prikazane su u tablici 10. Nedostatak ovog postupka je što se jedan impedancijski spektar za određeni elektrokemijski sustav može opisati s jednim ili više ekvivalentnih krugova.

**Tablica 10. Impedancijske jednadžbe za elemente ekvivalentnog električnog kruga [8]**

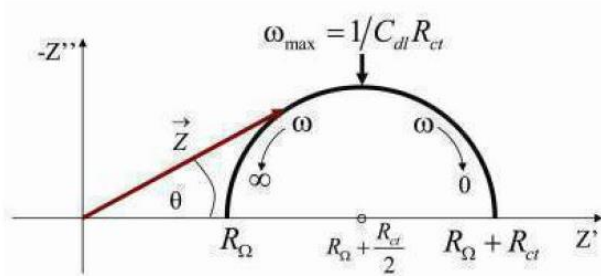
Element kruga	Simbol	Impedancijska jednadžba	Značajke
otpornik		$Z = R + j \cdot 0$	impedancija otpornika nema imaginarnu komponentu, struja je u fazi s potencijalom, tj. nema faznog pomaka, te su struja i impedancija neovisne o frekvenciji
kondenzator		$Z = 0 - \frac{j}{\omega C}$	impedancija kondenzatora nema realnu komponentu, a imaginarna komponenta je funkcija kapaciteta i frekvencije; pri visokim frekvencijama impedancija teži k nuli dok pri niskim frekvencijama teži beskonačnoj vrijednosti
paralelno spojeni otpornik i kondenzator		$Z = \frac{R}{1 + \omega^2 C^2 R^2} - j \frac{\omega C R^2}{1 + \omega^2 C^2 R^2}$	zbroj inverznih vrijednosti impedancije paralelno spojenih otpornika i kondenzatora

Kad se odredi model sustava, njegova svojstva se povezuju s elementima električnog kruga i dobivaju se numeričke vrijednosti. Dobiveni podaci služe za dobivanje podataka o korozijskom procesu i određivanje površinskih parametara. Na temelju tih rezultata moguće je izračunati vrijednosti brzine korozijske reakcije, kapacitet, vodljivost, dielektrična svojstva, prisutnost pora i dr.

Rezultati mjerenja se nazivaju impedancijski spektri i mogu se prikazati na dva načina.

(1) Nyquistov prikaz

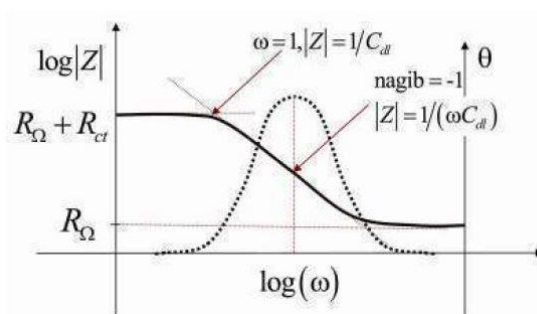
Nyquistov način prikaza (slika 33) predstavlja ovisnost imaginarne komponente impedancije u odnosu na realnu komponentu impedancije za svaku pobudnu frekvenciju [10]. Prednost ovakvog načina prikaza je jednostavnost određivanja vrijednosti otpora elektrolita i otpora prijenosu naboja, ali nedostatak je što se vrijednost frekvencije ne vidi iz prikaza. Iz prikaza se vidi da je na najvišim frekvencijama impedancija uvjetovana omskim otporom, tj. otporom elektrolita [10].



Slika 33. Nyquistov dijagram [10]

(2) Bodeov prikaz

Bodeov dijagram (slika 34) prikazuje ovisnost logaritma apsolutne vrijednosti impedancije i faznog kuta o logaritmu frekvencije. Obzirom na to da je prikaz u logaritamskom mjerilu moguće je obuhvatiti široki raspon frekvencija i impedancija. Frekvencije maksimuma u Bodeovom prikazu nisu iste frekvencije maksimuma kao i u Nyquistovom prikazu.



Slika 34. Bodeov dijagram [10]

## 8. ISPITIVANJE DJELOTVORNOSTI INHIBITORA KOD PRIPREME POVRŠINE

U Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu, provedeno je ispitivanje učinkovitosti odmašćivanja površine primjenom VpCI čistača na bazi vode i njihov utjecaj na prionjivost premaza (s i bez hlapivih inhibitora korozije). Na uzorke su nanoseni različiti inhibitori korozije kao čistači metalnih površina. Njihova djelotvornost je uspoređena s djelovanjem razrjeđivača te s površinom koja je samo mehanički obrađivana (pjeskarena).

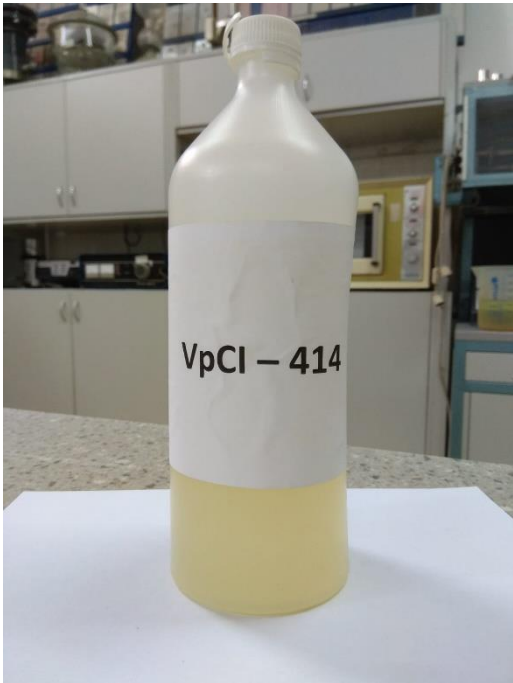
Ispitana je djelotvornost tri vrste čistača s hlapivim inhibitorom korozije: VpCI-414, VpCI-416, VpCI-418 LM. Inhibitori su nabavljeni od proizvođača "Cortec Corporation" i njihova svojstva i način primjene su izdani na stranicama proizvođača [26]. Svaki od navedenih inhibitora služi za odmašćivanje metalne površine te uz to stvara privremenu zaštitu od korozije. Ovisno o željenom učinku čišćenja odabire se željena koncentracija inhibitora i miješa s vodom. Ispitivanje je započelo s nižom koncentracijom inhibitora, ali se, zbog negativnih rezultata prionjivosti, u daljnjem istraživanju ona povećala.

Za prikaz klasične metode pripreme površine koristio se sintetički razrjeđivač od proizvođača "Chromos svjetlost" [27].


Ispitivale su se dvije grupe premaza, akrilni i epoksidni. Zbog različitih karakteristika ove dvije grupe premaza, mogla se ispitati djelotvornost čistača u reakciji s premazima različitog kemijskog sastava.

Za zamašćivanje metalne podloge koristilo se INA motorno ulje visokog učinka (SAE 15W-40). To je mineralno motorno ulje za podmazivanje benzinskih i dizelovih motora osobnih i manjih dostavnih vozila [28].

Na slikama 35, 36 i 37 prikazane su tehničke karakteristike hlapljivih inhibitora korozije. Na slikama 38, 39, 40 i 41 prikazane su tehničke karakteristike premaza.

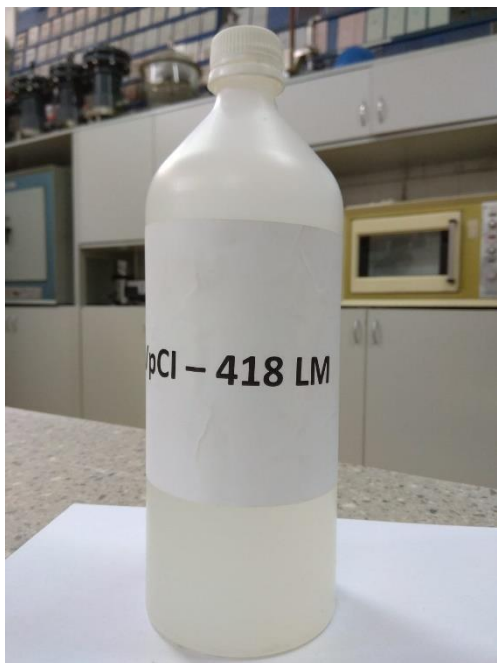
	<b>SVOJSTVA</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- svijetlo žuta tekućina</li> <li>- nezapaljiva, neotrovna</li> <li>- pH: 11 - 12</li> <li>- radna koncentracija: 1% do pune koncentracije</li> <li>- radno područje temperatura: 25 – 60 °C</li> <li>- gustoća: 1,03 – 1,05 kg/l</li> </ul>
	<b>ZAŠTITA METALA</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ugljični čelik</li> <li>- nehrđajući čelik</li> <li>- lijevano željezo</li> <li>- galvanizirano željezo</li> <li>- bakar</li> <li>- bronca (&lt; 30 % Zn)</li> </ul>
	<b>NANOŠENJE</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prskanjem ili nanošenje četkom</li> <li>- strojno</li> </ul>

Slika 35. Tehničke karakteristike inhibitora VpCI-414 [26]

	<b>SVOJSTVA</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- svijetlo žuta tekućina, pomalo mutna</li> <li>- na bazi vode</li> <li>- neotrovna</li> <li>- vrijeme izlaganja: 20 sec. do 5 min</li> <li>- pH: 11,5-12,5</li> <li>- gustoća: 1,04-1,06 kg/m<sup>3</sup></li> <li>- radna temperatura: 10-149 °C</li> </ul>
	<b>ZAŠTITA METALA</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- široka primjena</li> </ul>
	<b>NANOŠENJE</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prskanjem, uranjanjem</li> <li>- parne čistionice i praonice</li> </ul>

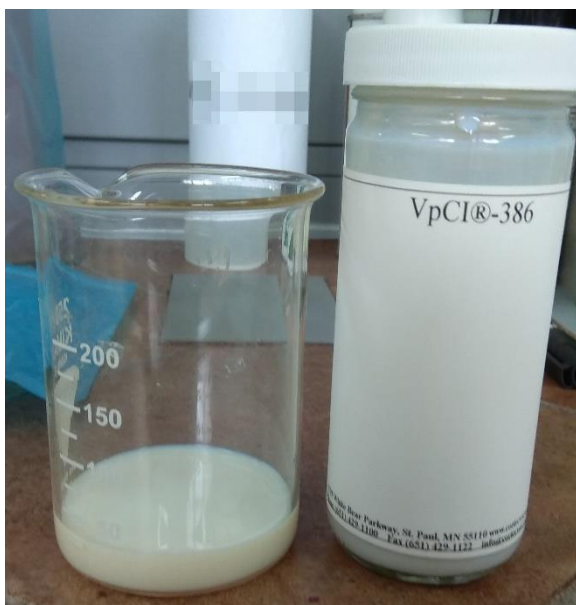
Slika 36. Tehničke karakteristike inhibitora VpCI-416 [26]





SVOJSTVA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- žuta do jantarna bistra tekućina</li> <li>- nezapaljiva, neotrovn</li> <li>- pH: 10,0 – 10,5 (1 % vodeni)</li> <li>- radno područje temperatura: 4 – 38 °C</li> <li>- gustoća: 1,03 – 1,05 kg/l</li> </ul>
ZAŠTITA METALA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ugljični čelik</li> <li>- nehrđajući čelik</li> <li>- lijevano željezo</li> <li>- galvanizirano željezo</li> <li>- bakar</li> <li>- bronca (&lt; 30 % Zn)</li> </ul>
NANOŠENJE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- prskanjem ili nanošenjem četkom</li> <li>- strojno pranje</li> </ul>

Slika 37. Tehničke karakteristike inhibitora VpCI-418 LM [26]



KATALOŠKI NAZIV
VpCI - 386
SVOJSTVA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- brzosušiv, nezapaljiv akrilni premaz</li> <li>- UV otporan</li> <li>- nezapaljiva zaštitna barijera, visoka antiabrazivna</li> <li>- ekološki prihvatljiv, netoksičan, nezapaljiv</li> </ul>
IZGLED
- transparentni premaz
SUŠENJE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- suh na dodir (sobni uvjeti): 30 min</li> <li>- potpuno suh: 7 dana</li> </ul>
PRIMJENA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- temeljni ili završni premaz</li> <li>- ugljični čelik, lijevano željezo, aluminij, nehrđajući čelik,</li> </ul>
NANOŠENJE
- kistom, prskanjem, valjkom, uranjanjem
PREPORUČENA DEBLJINA FILMA
39 - 75 µm

Slika 38. Tehničke karakteristike akrilnog premaza VpCI-386 [26]



KATALOŠKI NAZIV
AQUALUX boja za metal
SVOJSTVA
- antikorozivna zaštita - na bazi vodorazrijedive akrilne smole, antikorozivnih pigmentata, punila, aditiva i vode - ekološki prihvatljiv, netoksičan, nezapaljiv
IZGLED
- siva boja, mat izgled
SUŠENJE
- suh na dodir (sobni uvjeti): 1-5 h - potpuno suh: 5 h
PRIMJENA
- antikorozivni premaz za željezne podloge koje su djelomično ili trajno izložene vremenskim utjecajima pod normalnim okolnostima
NANOŠENJE
- kistom, prskanjem, valjkom
PREPORUČENA DEBLJINA FILMA
60 μm

Slika 39. Tehničke karakteristike akrilnog premaza Chromos svjetlost [29]



KATALOŠKI NAZIV
KEMEPOX BST
SVOJSTVA
- brzosušeći - dvokomponentni temeljni premaz - na bazi epoksidne smole i specijalnom reaktivnom utvrđivaču, pigmentiran antikorozivnim pigmentima - otporan na mehanička oštećenja i nagrizujuća sredstva
IZGLED
- crvena boja, mat izgled
SUŠENJE
- suh na dodir (sobni uvjeti): 1 h - potpuno suh: 1,5 h
PRIMJENA
- željezne, aluminijske i pocinčane površine - preporučeni zaštitni sustav - sloj KEMEPOX BST (80 μm) i sloj KEMOLUX PUR (40 μm)
NANOŠENJE
- bezračno špricanje, četkom, valjkom
PREPORUČENA DEBLJINA FILMA
80 μm

Slika 40. Tehničke karakteristike epoksidnog premaza Chromos svjetlost [29]





<b>KATALOŠKI NAZIV</b>
VpCI - 2026
<b>SVOJSTVA</b>
- dvokomponentni završni premaz - antikorozivna zaštita - na bazi otapala, 100% fenol-epoksi (novolac) premaz s organskim inhibitorima - ekološki prihvatljiv, netoksičan
<b>IZGLED</b>
- transparentni premaz visokog stupnja sjaja
<b>SUŠENJE</b>
- suh na dodir (sobni uvjeti): 1,5 - 3,5 h - potpuno suh: 24 h
<b>PRIMJENA</b>
- zaštita u agresivnim, vanjskim, nezaštićenim uvjetima - pruža zaštitu različitim vrstama metalnim podloga - može biti zamjena primerima obogaćenim cinkom
<b>NANOŠENJE</b>
- kistom, prskanjem
<b>PREPORUČENA DEBLJINA FILMA</b>
275-325 µm

Slika 41. Tehničke karakteristike epoksidnog premaza VpCI-2026 [26]

### 8.1. Priprema površine uzoraka

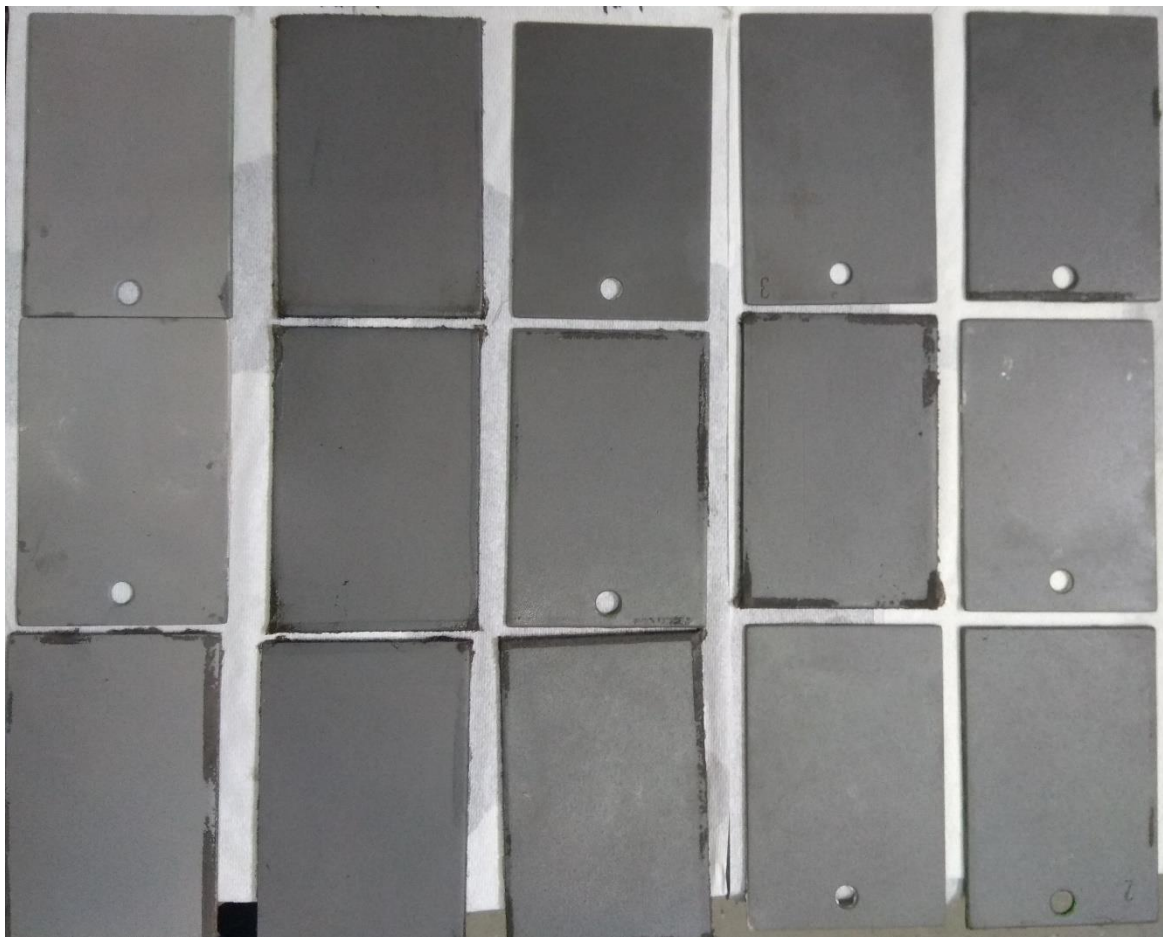
Uzorci su pripremljeni u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Uzorci su pločice dimenzija 100 x 150 mm, napravljene od općeg konstrukcijskog čelika.

Uzorci su prvo bili pjeskareni u kabini za pjeskarenje, prikazano na slici 42.



Slika 42. Kabina za pjeskarenje, Laboratorij za ljevarstvo, FSB

Pjeskarenjem su se uklonili korozijski produkti i ostatci starih prevlaka. Za svaki premaz pripremljeno je 15 uzoraka, podijeljenih u grupe koje se razlikuju po čistaču površinu koji je korišten za odmašćivanje. Pjeskareni uzorci su prikazani na slici 43.



**Slika 43. Pjeskareni uzorci**

Napravljeno je pet grupa, u svakoj po tri uzorka:

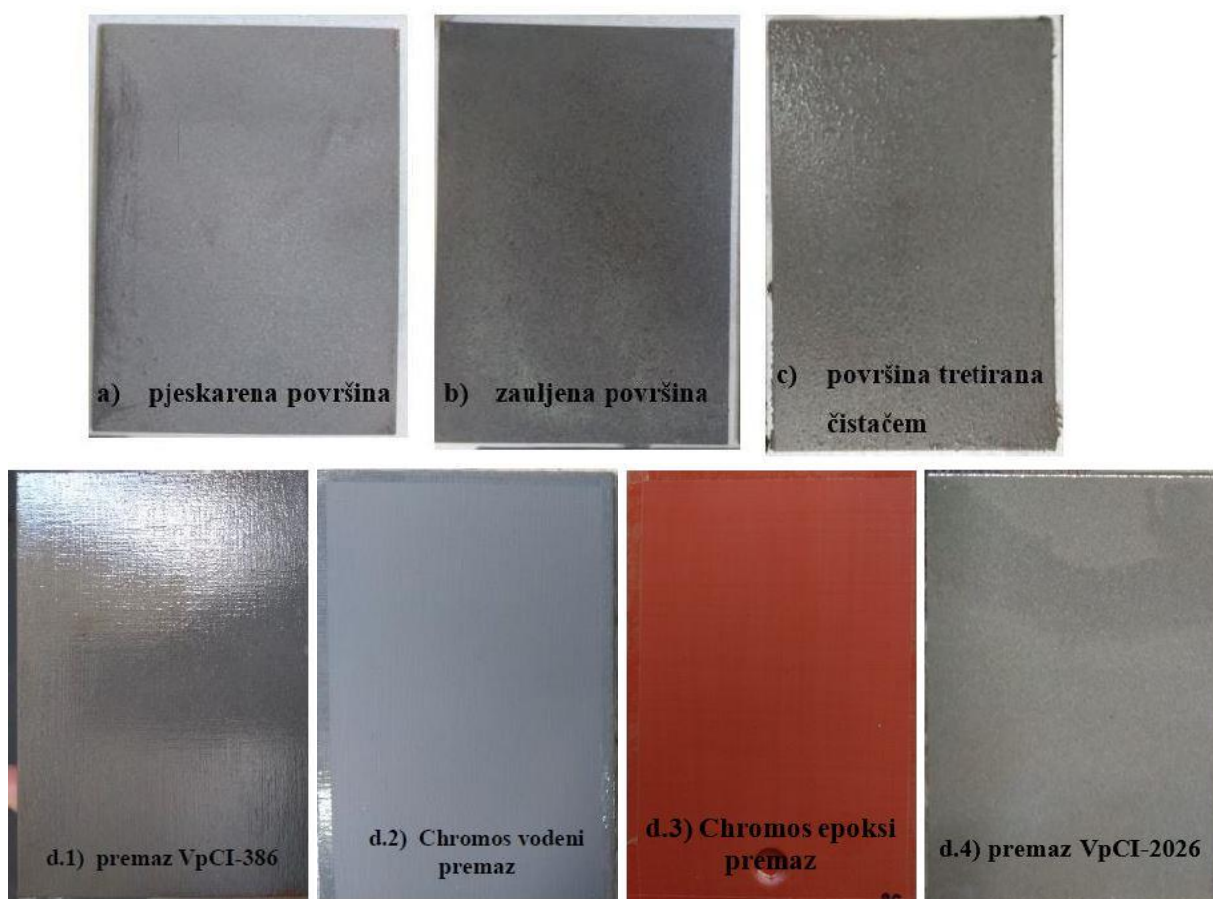
- 1) pjeskareni uzorci bez čistača površine,
- 2) pjeskareni uzorci s nanesenim sintetičnim razrjeđivačem,
- 3) pjeskareni uzorci s nanesenim inhibitorom VpCI-414,
- 4) pjeskareni uzorci s nanesenim inhibitorom VpCI-416 i
- 5) pjeskareni uzorci s nanesenim inhibitorom VpCI-418 LM.

Nakon pjeskarenja, dio uzoraka namijenjen za nanošenje čistača površina, zauljio se INA motornim uljem visokog učinka (SAE 15W-40). Zauljena površina tretirana je čistačima s inhibitorom korozije ili razrjeđivačem.

Ispitivanje je započelo s čistačima površine s manjim udjelom inhibitora korozije. U 100 ml vode umiješalo se 10 ml koncentrata. Nakon preliminarnih ispitivanja prionjivosti zaključilo se da je koncentracija preniska da bi bila učinkovita. Iz tog razloga, u nastavku ispitivanja koristila se veća koncentracija čistača površine, 50 ml koncentrata na 50 ml vode. Inhibitori korozije su se s vodom miješali ručno pomoću staklenog štapića, na sobnoj temperaturi.

Vodorazrijeđeni koncentrat se zatim nanosio na metalnu površinu pomoću čistog kista i pustio da djeluje 30 minuta. Nakon toga se površina ispirala vodom, uz istovremeno četkanje čistim kistom i sušila na zraku. Radi sigurnosti, prije nanošenja premaza površina se dodatno kratko posušila fenom. Na suhu i tretiranu površinu nanosio se premaz.

Faze pripreme uzoraka prikazane su na slici 44.



Slika 44. Faze pripreme uzoraka za ispitivanja

## 8.2. Nanošenje premaza

Na adekvatno pripremljene površine uzoraka nanosili su se odgovarajući premazi. Premazi su se nanosili čistim kistom, u više slojeva dok se nije postigla zahtjevana debljina filma. Metoda nanošenja kistom je prihvatljiva za male površine i gdje nije potrebno razrjeđivanje boje. Prednost ove metode je što se može koristiti prilikom premazivanja grubih i rupičastih površina gdje je otežana sposobnost penetracije boje. Često se koristi i pri lokalnim popravcima i dodatnom premazivanju kritičnih područja konstrukcija (zavari, rubovi, provrti itd.). Glavni nedostatak ove metode nanošenja premaza je što na premazanoj površini ostaju tragovi kista (pruge) što dalje rezultira neravnomjernom debljinom premaza (prikazano na slici 45). Neravnomjerna debljina premaza može uzrokovati pojavu lokalne korozije i negativno utječe na estetski izgled prevlake.

Nakon postizanja željene debljine premaza, što je otprilike oko 60 – 80  $\mu\text{m}$  za akrilne premaze i 100 – 160  $\mu\text{m}$  za epoksidne premaze, uzorci su ostavljeni da se suše 7 dana nakon čega su se provodila istraživanja.



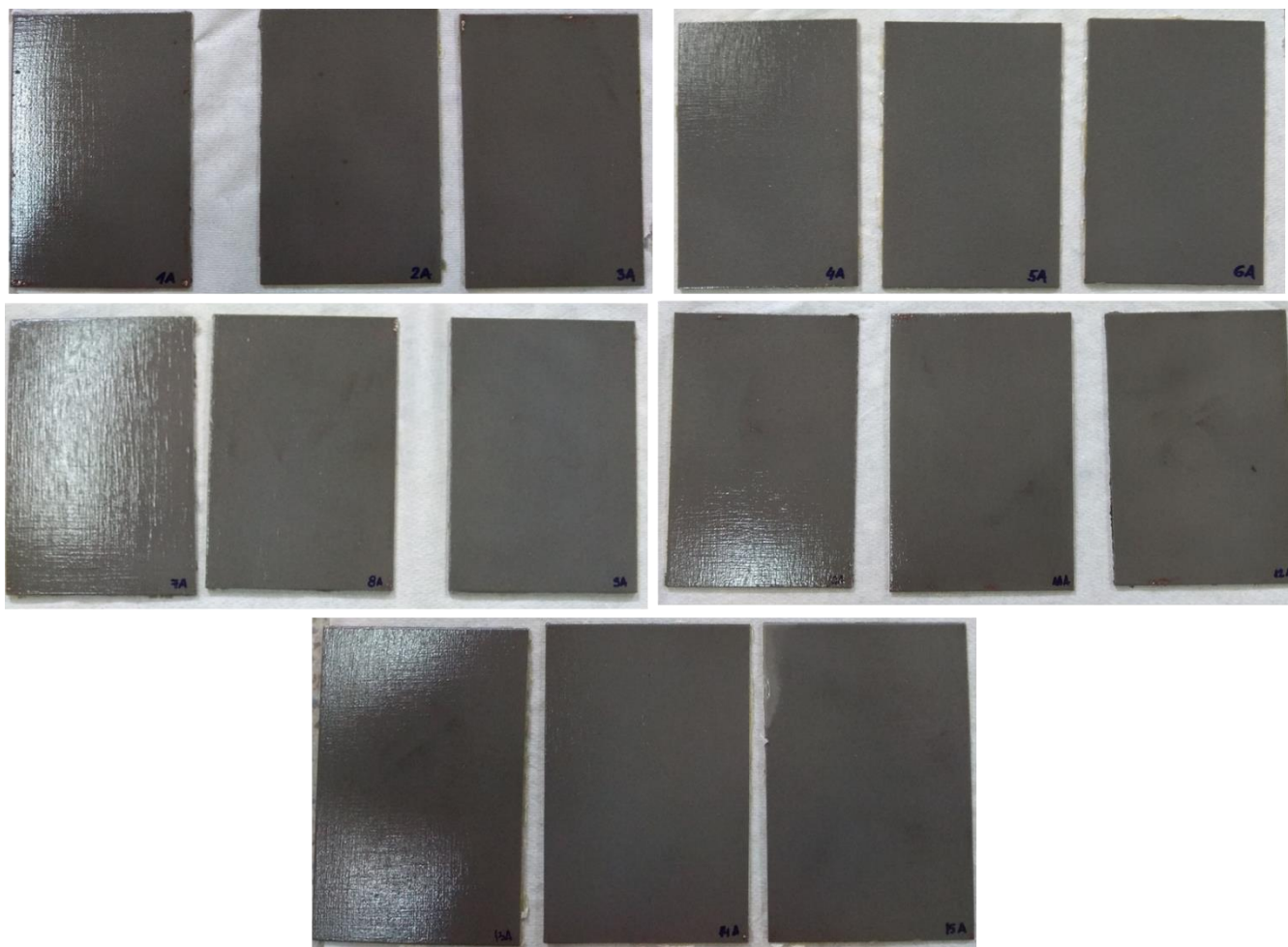
Slika 45. Različite debljine premaza (za isti broj nanesenih slojeva)



### 8.3. Ispitivanje akrilnih premaza – manja koncentracija inhibitora korozije

#### 8.3.1. Akrilni premaz VpCI – 386

Akrilni premaz VpCI – 386 s dodatkom inhibitora korozije apliciran je u debljini od otprilike 60  $\mu\text{m}$  i ostavljen da se suši 7 dana. Površine uzoraka pripremljene su s čistačima s manjom koncentracijom inhibitora korozije (10 ml inhibitora korozije u 100 ml vode). Uzorci su prikazani na slici 46.



**Slika 46. Uzorci premazani s akrilnim premazom VpCI – 386 (manja koncentracija) prije ispitivanja**

### 8.3.1.1. Debljina suhog filma premaza VpCI-386

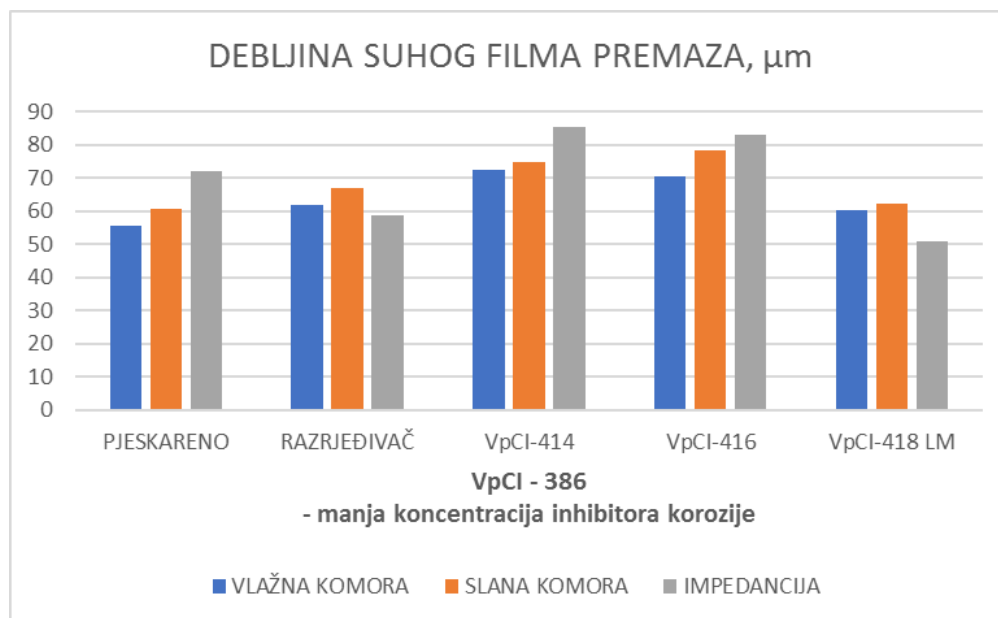
Prvo se ispitala debljina suhog filma premaza. Mjerenje se provodilo pomoću uređaja Elcometer 456. Uređaj radi na principu magnetske indukcije. Mjerenje je provedeno u deset točaka, sve udaljene od ruba uzorka barem 10 – 20 mm. Srednja vrijednost mjerenja te minimalna i maksimalna izmjerena vrijednost za svaki uzorak su prikazane u tablici 11.

**Tablica 11. Debljina suhog filma premaza VpCI -386 (manja koncentracija inhibitora)**

	UZORAK	$\bar{x}$ , $\mu\text{m}$	min., $\mu\text{m}$	max., $\mu\text{m}$
PJESKARENO	1A	55,73	42,40	68,30
	2A	60,70	50,00	69,70
	3A	72,02	60,20	89,40
RAZRJEĐIVAČ	4A	58,53	54,40	86,50
	5A	61,93	51,50	67,90
	6A	66,73	57,00	76,90
VpCI-414	7A	85,50	66,50	85,50
	8A	74,90	45,90	74,90
	9A	72,40	46,50	72,40
VpCI-416	10A	70,61	56,10	96,60
	11A	78,41	67,20	86,00
	12A	83,13	72,30	92,80
VpCI-418 LM	13A	62,21	47,30	82,60
	14A	50,73	34,30	71,30
	15A	60,36	44,40	69,70

Rezultati ispitivanja pokazali su rasipanje vrijednosti u rasponu  $\pm 20 \mu\text{m}$ , što se smatra prihvatljivim.

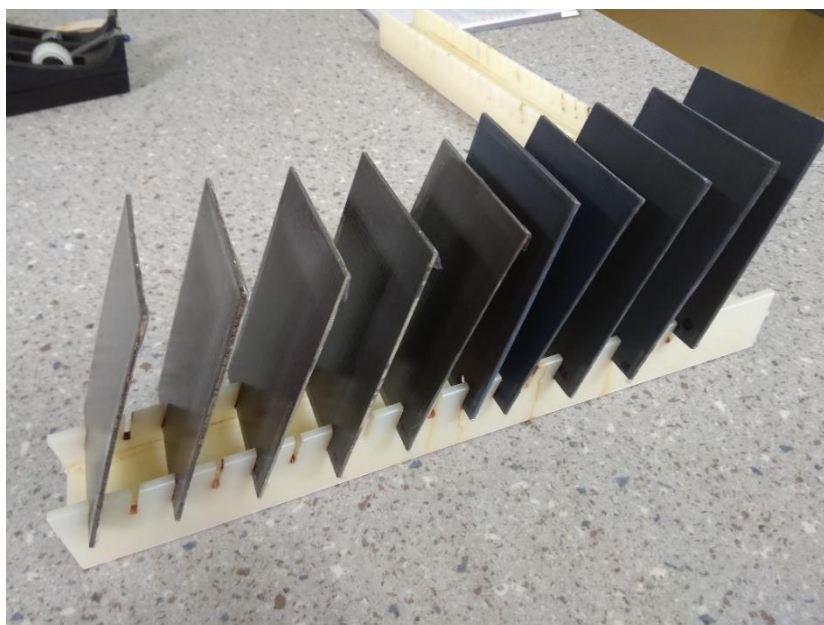
Prema debljini suhog filma premaza, uzorci su grupirani prema vrsti ispitivanja kojoj su namijenjeni. Grupirani su tako da su vrijednosti debljine suhog filma približno jednakih vrijednosti, kako je prikazano na slici 47. Nakon toga su stavljeni na ispitivanje u vlažnu i slanu komoru te elektrokemijsko ispitivanje.



**Slika 47. Debljina suhog filma premaza VpCI-386 prema ispitivanjima (manja koncentracija inhibitora korozije)**

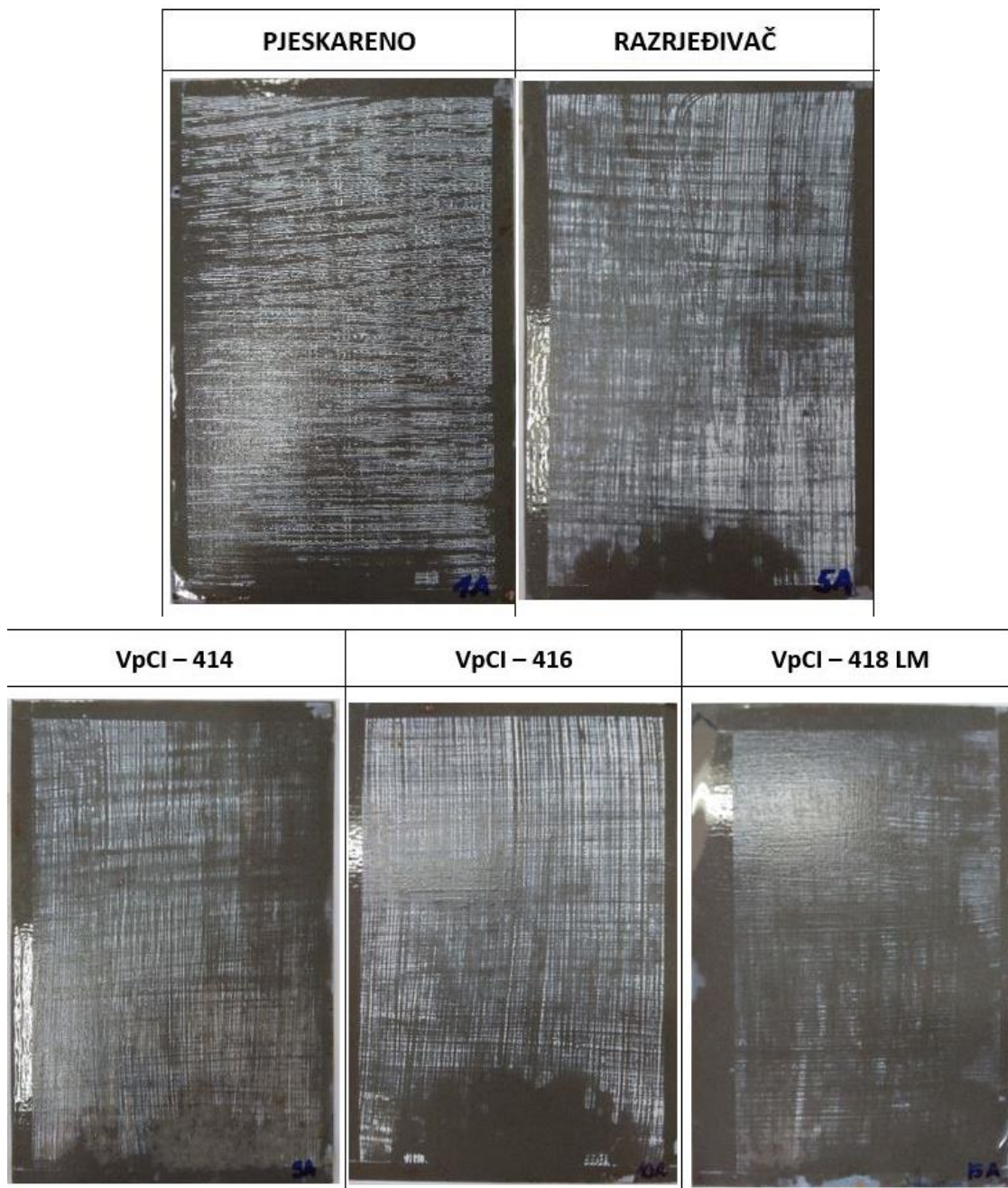
#### 8.3.1.2. Vlažna komora – premaz VpCI-386

Ispitivanjem u vlažnoj komori simulira se atmosfera toplog zraka zasićenog vlagom uz prisutnost kondenzirane vode. Uzorci su se postavili na stalak, s razmakom između njih kako se korozijski produkti ne bi slijevali s uzorka na uzorka (prikazano na slici 48). Ispitivanje je trajalo 96 h (4 dana) nakon čega se procjenio stupanj propadanja premaza i ispitala prionjivost prevlake.



**Slika 48. Uzorci postavljeni na stalak za vlažnu komoru**

Nakon vađenja iz vlažne komore uzorci su vizualno pregledani. Na njima nije bilo tragova korozijskih produkata čime se premaz pokazao korozijski postojanim. U reakciji s vlagom i topline u komori nastao je bijeli talog na površini premaza. Talog se mogao ukloniti laganim četkanjem površine, što je kasnije i napravljeno kako bi se rezultati daljnjih ispitivanja jasnije vidjeli. Uzorci nakon vađenja iz vlažne komore su prikazani na slici 49.


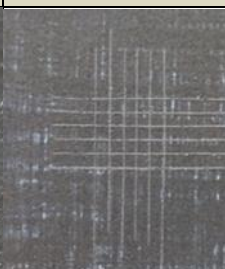
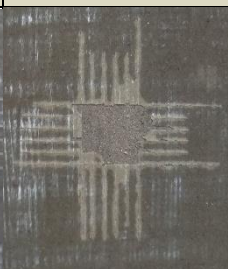
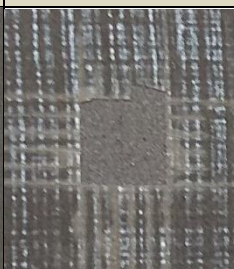



Slika 49. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u vlažnoj komori – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije)


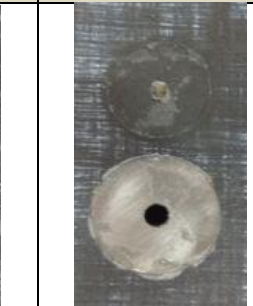
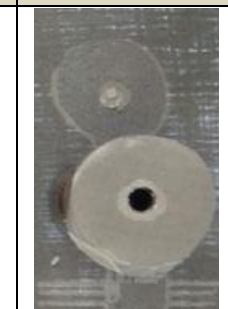
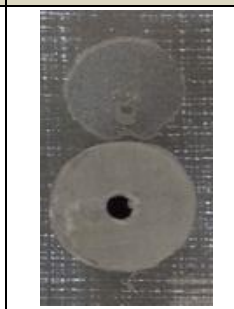
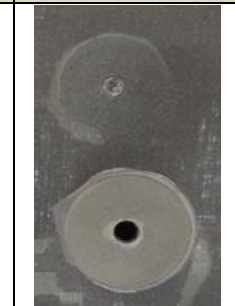


Prionjivost premaza se ispitivala pomoću dvije metode, metodom zarezivanja mrežice i vlačnom metodom. Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice prikazani su u tablici 12. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom (Pull-off test) prikazani su u tablici 13.

**Tablica 12. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u vlažnoj komori – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije)**

VpCI – 386 premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Ocjena rezultata Cross – cut testa prema normi ISO 2409				
0	1	5	5	5

**Tablica 13. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u vlažnoj komori – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije)**

VpCI – 386 premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Rezultati Pull-off testa prema normi ISO 4624				
4,73 MPa	3,79 MPa	1,03 MPa	0,89 MPa	0,76 MPa

Rezultati prionjivosti kod obje metode ispitivanja pokazuju da način pripreme površine ima utjecaj na prionjivost premaza. Rezultati dobiveni kod uzoraka čija je površina bila pripremljena pomoću čistača s inhibitorom korozije su nepovoljniji nego rezultati dobiveni kod uzoraka pripremljenih klasičnim metodama.

Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice su pokazali da čistači s inhibitorom korozije nisu učinkoviti. Razlog tomu može biti preniska koncentracija inhibitora korozije u vodi, zbog čega se isti premaz kasnije ispitivao s većom koncentracijom inhibitora korozije.

Rezultati prionjivosti dobiveni vlačnom metodom podudaraju se s rezultatima dobivenim metodom zarezivanja mrežice. Uzorci pripremljeni pomoću čistača s inhibitorom korozije pokazuju niže vrijednosti prionjivosti od uzoraka pripremljenih klasičnim metodama. Time je pokazano da je prionjivost tih premaza znatno oslabljena.

Prilikom procjene propadanja premaza ocjenjivao se stupanj mjehuranja i stupanj hrđanja.

Ocjene stupnja mjehuranja pokazuju kvalitetne vrijednosti premaza. Svi premazi osim premaza na uzorku pripremljenog s inhibitorom VpCI-414 pokazuju stupanj mjehuranja 0, tj. na površini nisu bili vidljivi mjehuri. Nije došlo do pojave korozijskih produkata te su uzorci ocjenjeni s Ri 0. Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 14.

**Tablica 14. Procjena propadanja premaza VpCI-386 nakon ispitivanja u vlažnoj komori (manja koncentracija inhibitora korozije) prema normi HRN EN ISO 4628**

		ISO 4628-2	ISO 4628-3
	UZORAK	MJEHURANJE	HRĐANJE
<b>PJESKARENO</b>	<b>1A</b>	0	Ri 0
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>5A</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-414</b>	<b>9A</b>	2 (S2)	Ri 0
<b>VpCI-416</b>	<b>10A</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>15A</b>	0	Ri 0

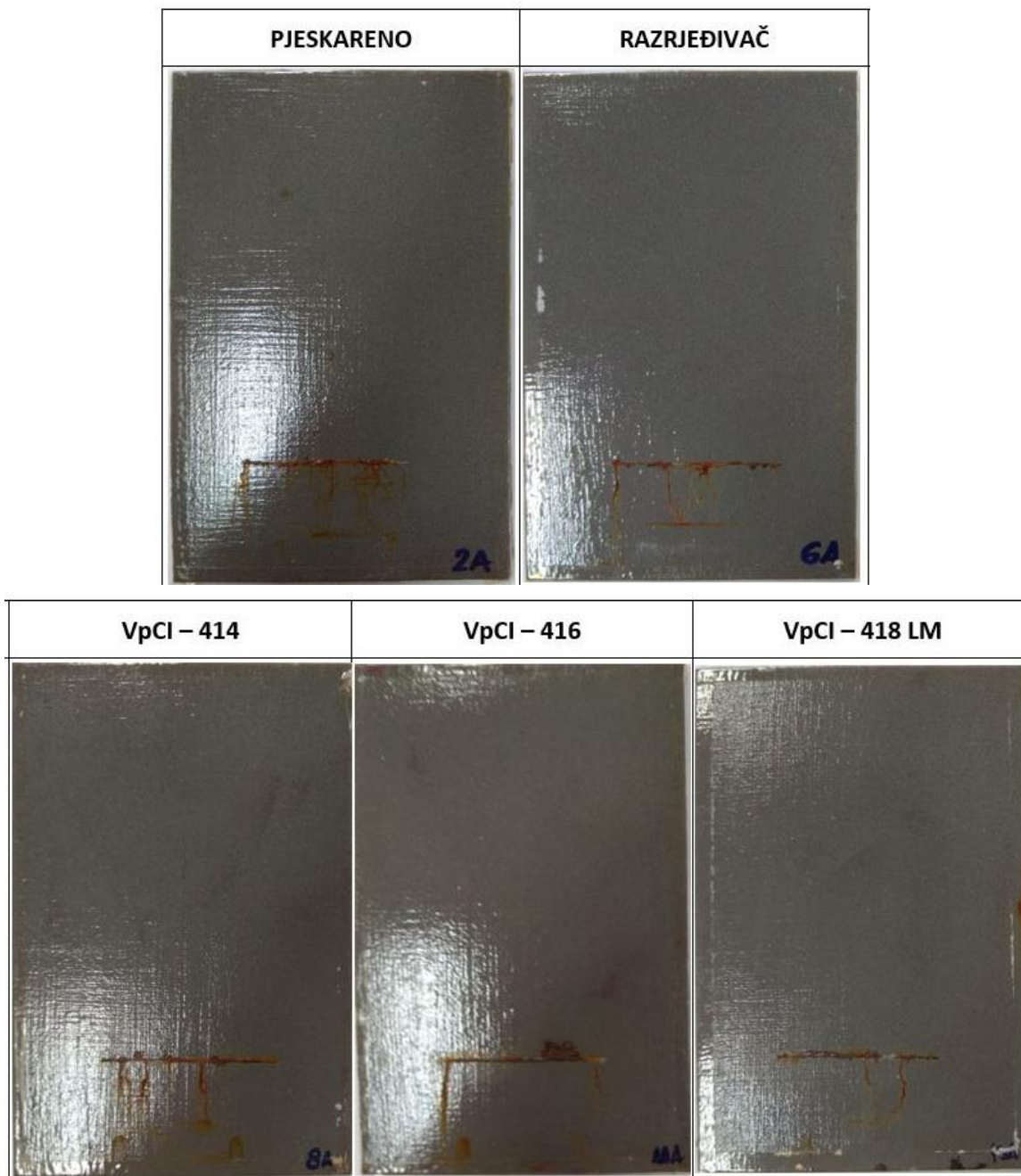
### 8.3.1.3. Slana komora – premaz VpCI-386

Ispitivanjem u slanoj komori simulira se izloženost morskoj atmosferi. Uzorci su se postavili na stalak, s razmakom između njih kako se korozijski produkti ne bi slijevali s uzorka na uzorka (prikazano na slici 50). Ispitivanje je trajalo 96 h, nakon čega se procjenio stupanj propadanja premaza i ispitala prionjivost prevlake.



**Slika 50. Postavljanje uzoraka na stalak u slanu komoru**

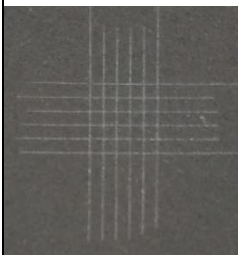
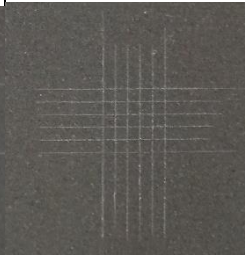



Nakon 96 h izlaganja u slanoj komori, uzorci se vizualno pregledavaju i ispituje se prionjivost. U usporedbi s uzorcima iz vlažne komore, premaz je pokazao jednaku korozijsku postojanost. Na slici 51 prikazani su uzorci nakon vađenja iz slane komore.



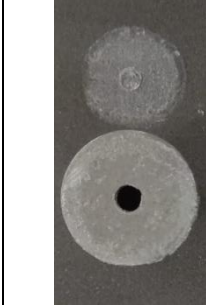
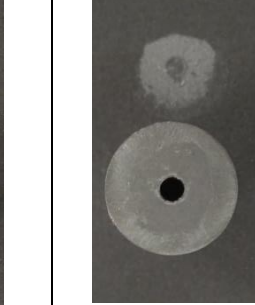
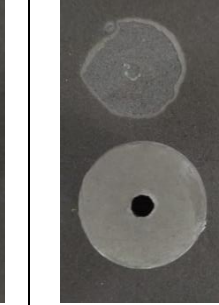
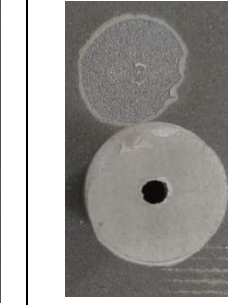
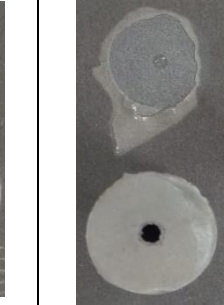
**Slika 51. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u slanoj komori – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije)**

Prionjivost premaza je ispitivana metodom zarezivanja mrežice i vlačnom metodom. Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice prikazani su u tablici 15. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom (Pull-off test) prikazani su u tablici 16.

**Tablica 15. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u slanoj komori – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije)**

VpCI – 386 premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Ocjena rezultata Cross – cut testa prema normi ISO 2409				
0	0	4	3	5

**Tablica 16. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u slanoj komori – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije)**

VpCI – 386 premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Rezultati Pull-off testa prema normi ISO 4624				
9,47 MPa	4,79 MPa	0,85 MPa	0,92 MPa	<b>0,00 MPa</b>

Rezultati prionjivosti kod obje metode ispitivanja pokazuju da način pripreme površine ima utjecaj na prionjivost premaza. Rezultati dobiveni kod uzoraka čija je površina bila pripremljena pomoću čistača s inhibitorom korozije su nepovoljniji nego rezultati dobiveni kod uzoraka pripremljenih klasičnim metodama.



Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice su pokazali da čistači s inhibitorom korozije nisu učinkoviti niti u uvjetima slane komore. Rezultati će se kasnije usporediti s uzorcima pripremljenim s većom koncentracijom inhibitora korozije.

Rezultati prionjivosti dobiveni vlačnom metodom podudaraju se s rezultatima dobivenim metodom zarezivanja mrežice. Uzorci pripremljeni pomoću čistača s inhibitorom korozije pokazuju niže vrijednosti prionjivosti od uzoraka pripremljenih klasičnim metodama. Najuočljiviji rezultat je onaj dobiven kod uzorka pripremljenog pomoću čistača s inhibitorom VpCI-418 LM. Ispitivanje se nije moglo ni provesti jer sama težina uređaja za ispitivanje je uzrokovala odvajanje premaza od podloge.

Prilikom procjene propadanja premaza ocjenjivao se stupanj mjehuranja, stupanj hrđanja i stupanj korozije oko ureza. U uvjetima slane komore najlošije rezultate je pokazao uzorak pripremljen s inhibitorom VpCI-418 LM gdje je došlo do pojave mjehura. Ostali uzorci su pokazali stupanj mjehuranja 0. Što se tiče stupnja hrđanja, ni u uvjetima slane komore nije došlo do pojave korozijskih produkata osim na mjestima ureza (oštećenja). Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 17.

**Tablica 17. Procjena propadanja premaza VpCI-386 nakon ispitivanja u slanoj komori (manja koncentracija inhibitora korozije) prema normi HRN EN ISO 4628**

		ISO 4628-2	ISO 4628-3
	UZORAK	MJEHURANJE	HRĐANJE
<b>PJESKARENO</b>	<b>2A</b>	0	Ri 0
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>6A</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-414</b>	<b>8A</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-416</b>	<b>11A</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>13A</b>	2 (S2)	Ri 0

Mjerenje stupnja korozije oko ureza provedeno je samo na uzorcima koji su ispitivani u slanoj komori. Mjerenje je ponovljeno osam puta za svaki urez. Na temelju dobivenih mjerenja izračunala se aritmetička sredina svih mjerenja  $c$  i prema jednadžbi (1) izračunata je ocjena stupnja korozije  $M$ . Premaz zadovoljava uvjete kvalitete ako je vrijednost  $M$  manja od 1 mm. Vrijednosti su prikazane u tablicama 18 i 19.

**Tablica 18. Vrijednosti mjerenja korozije oko ureza – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije)**

		MJERENJA, mm							
	UZORAK	1	2	3	4	5	6	7	8
PJESKARENO	2A	2,6	2,2	0,4	2	2,2	3,8	2	2,2
RAZRJEĐIVAČ	6A	0,4	1,8	1,8	0,4	5	0,4	2,2	5
VpCI-414	8A	8	6	1,2	1,6	1	1	0,8	1,2
VpCI-416	11A	1	1,2	1,2	2,2	1,2	14	12	2
VpCI-418 LM	13A	3,2	4,6	4,2	3,2	6,8	0,4	1	1,4

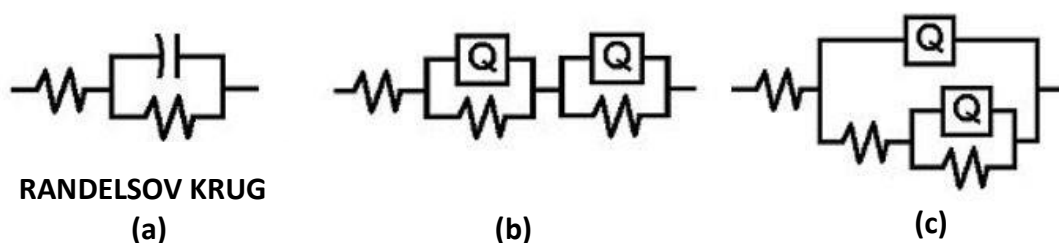
**Tablica 19. Stupanj korozije oko ureza – premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije)**

	UZORAK	$c$ , mm	$w$ , mm	$M$
PJESKARENO	2A	2,175	0,2	0,9875
RAZRJEĐIVAČ	6A	2,125		0,9625
VpCI-414	8A	2,6		<b>1,2</b>
VpCI-416	11A	4,35		<b>2,075</b>
VpCI-418 LM	13A	3,1		<b>1,45</b>

Na temelju dobivenih vrijednosti stupnja korozije  $M$ , vidljivo je da uzorci pripremljeni pomoću inhibitora korozije ne zadovoljavaju uvjete zadane normom HRN EN ISO 4628-8. Uzorci pripremljeni klasičnim postupcima pripreme površine zadovoljavaju uvjete kvalitete, ali su i te vrijednosti granične.

#### 8.3.1.4. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija – premaz VpCI-386

Elektrokemijsko ispitivanje impedancijskom spektroskopijom provodilo se na uređaju VersaSTAT 3, proizvođača AMTEK USA. Podaci su obrađivani u programu ZsimpWin, korištenjem odgovarajućeg ekvivalentnog električnog kruga. Ovisno o vrsti premaza, odabirao se odgovarajući model električnog kruga. Za potrebe ovog rada, za sva četiri tipa premaza koristili su se ekvivalentni krugovi prikazani na slici 52.



**Slika 52. Ekvivalentni električni krugovi korišteni za opisivanje impedancijskih spektara za: (a) nov neporozan premaz; (b) porozan premaz gdje je došlo do korozije podloge; (c) porozan premaz**

Svi premazi su izloženi 3,5 %-tnoj otopini NaCl (slika 53) i mjerenja su provedena nakon 20 h i 168 h izlaganja. Elektrokemijski su se ispitivali uzorci koji nisu bili izloženi uvjetima slane i vlažne komore. Ispitivanja su provedena pri sobnoj temperaturi prema parametrima zadanim u tablici 20.

**Tablica 20. Parametri ispitivanja otpora premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom**

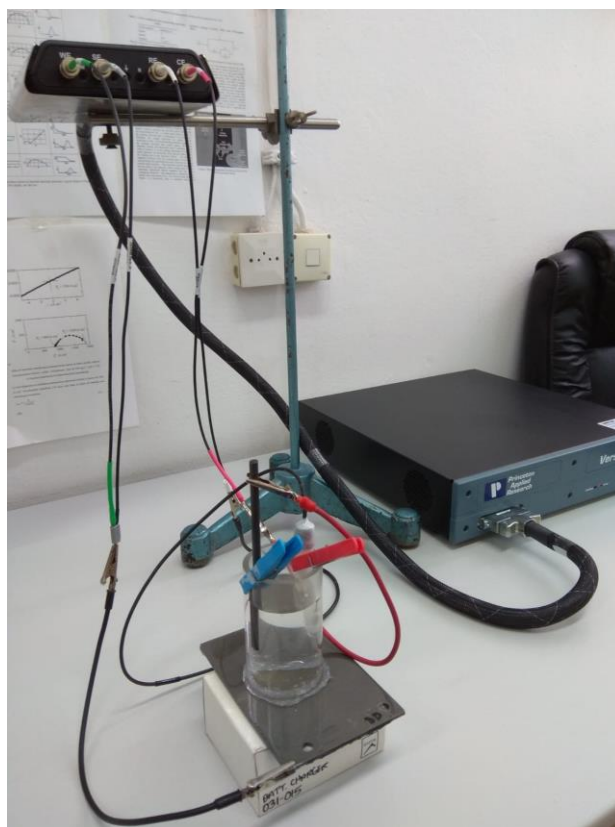
Parametri EIS	
Otopina	3,5% -tni NaCl
Frekvencija:	
Start	100 000 Hz
End	0,1 Hz
Referentna elektroda	Zasićena kalomel elektroda (ZKE) 0,242 V
Radna površina, cm <sup>2</sup>	19,63
Gustoća materijala, g/ml	8,6
Ekvivalentna masa, g	27,92





Slika 53. Izlaganje uzoraka otopini 3,5 %-tnog NaCl

Nakon pripreme ispitne ćelije (prikazane na slici 54), gdje je radna elektroda uzorak, pomoćna elektroda je od grafita i referentna ZKE (zasićena kalomel) elektroda, pokrenuta su elektrokemijska ispitivanja.



Slika 54. Ispitna ćelija i uređaj za ispitivanje

Podaci dobiveni ispitivanjem nakon 20 h i 168 h izlaganja otopini prikazani su u tablicama 21 i 22.

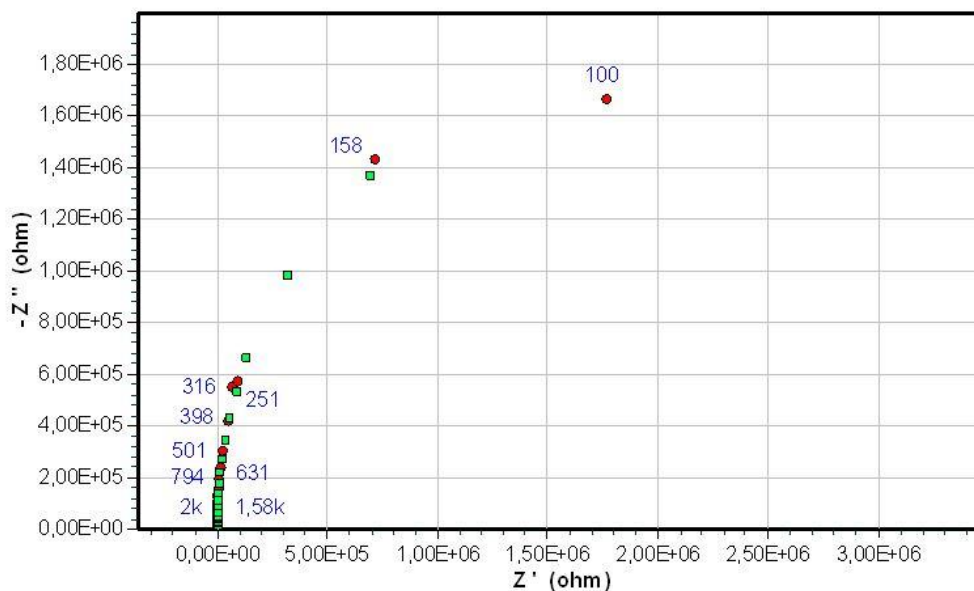
**Tablica 21 . Rezultati EIS-a za premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije) nakon 20 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl**

20 h ispitivanja		$R_1, \Omega\text{cm}^2$	$R_2, \Omega\text{cm}^2$	$R_3, \Omega\text{cm}^2$	CPE <sub>1</sub>		CPE <sub>2</sub>		$R, \Omega\text{cm}^2$
VpCI-386					$Q_1, \text{F/cm}^2$	$n_1$	$Q_2, \text{F/cm}^2$	$n_2$	
3A	Pjeskareno	91,91	$3,096 \times 10^5$	-	$9,561 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
4A	Razrjeđivač	30,8	$7,786 \times 10^5$	-	$9,515 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
7A	414	7,315	$1,008 \times 10^6$	-	$7,871 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
12A	416	44,66	$1,227 \times 10^6$	-	$7,246 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
14A	418	22,79	$9,026 \times 10^5$	-	$1,092 \times 10^{-9}$	-	-	-	-

**Tablica 22. Rezultati EIS-a za premaz VpCI-386 (manja koncentracija inhibitora korozije) nakon 168 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl**

168 h ispitivanja		$R_1, \Omega\text{cm}^2$	$R_2, \Omega\text{cm}^2$	$R_3, \Omega\text{cm}^2$	CPE <sub>1</sub>		CPE <sub>2</sub>		$R, \Omega\text{cm}^2$
VpCI-386					$Q_1, \text{F/cm}^2$	$n_1$	$Q_2, \text{F/cm}^2$	$n_2$	
3A	Pjeskareno	100	$4,747 \times 10^5$	$8,479 \times 10^5$	$1,515 \times 10^{-9}$	0,964	$2,951 \times 10^{-7}$	-	-
4A	Razrjeđivač	24,36	$3,380 \times 10^6$	-	$9,239 \times 10^{-11}$	-	-	-	-
7A	414	36,99	$4,147 \times 10^6$	-	$8,235 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
12A	416	26,83	$4,891 \times 10^4$	-	$7,533 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
14A	418	15,64	$1,739 \times 10^6$	$1,077 \times 10^6$	$1,150 \times 10^{-9}$	0,996	$6,214 \times 10^{-7}$	-	-

Na slici 55 prikazan je reprezentativni primjer Nyquistovog dijagrama dobivenog ispitivanjem uzorka pripremljenog razrjeđivačem nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl .

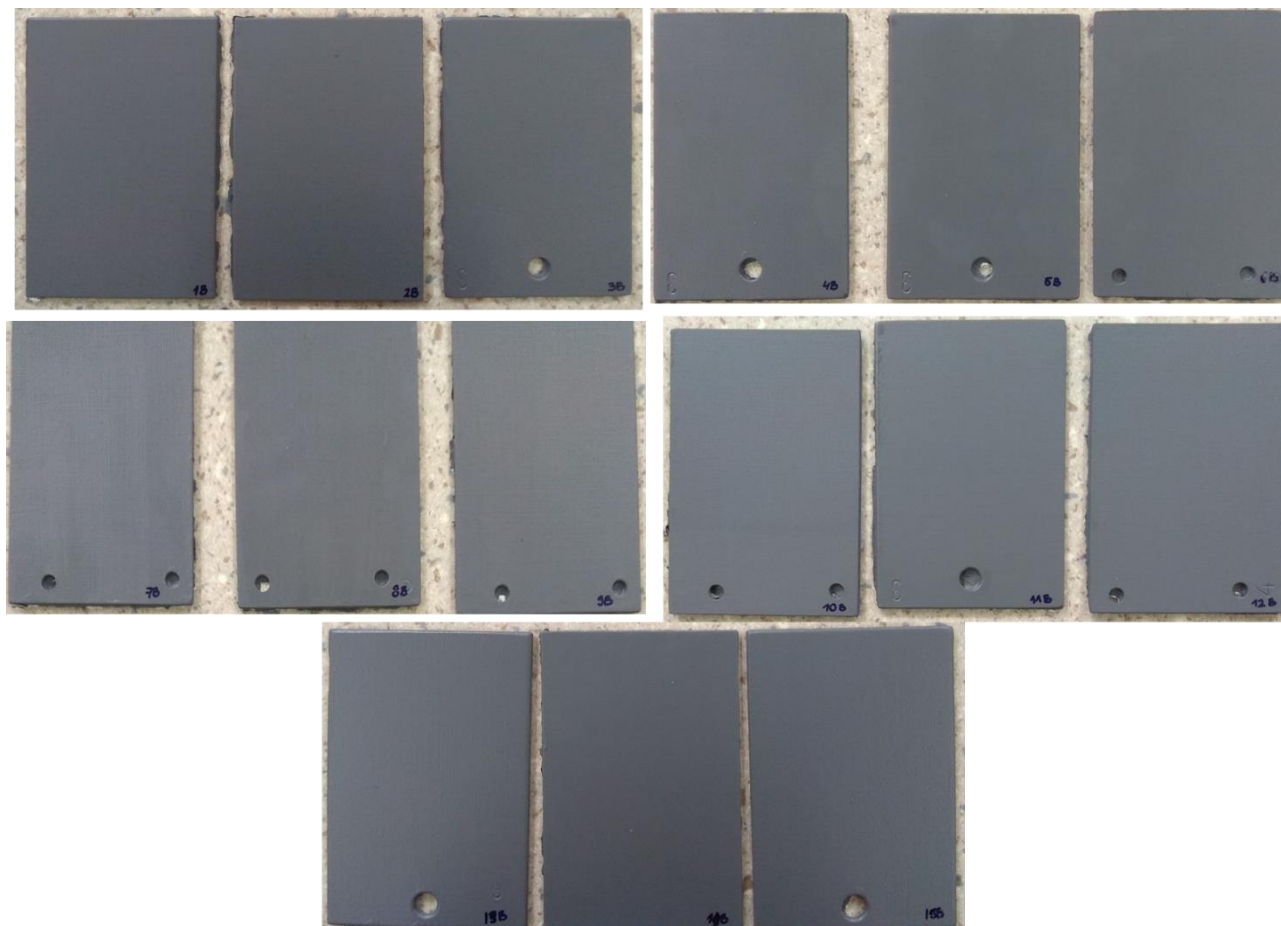


**Slika 55. Nyquistov dijagram za VpCI-386 premaz, dobiven ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću razrjeđivača, nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl**

Analizom rezultata vidljivo je da nema značajnih promjena otpora tijekom vremena izlaganja. Uzorci pripremljeni pomoću inhibitora VpCI-416 i VpCI-418 LM pokazuju blagi pad otpora nakon 168 h izlaganja. Tijekom ispitivanja uočeno je brže propadanje premaza kod uzoraka pripremljenih pomoću inhibitora korozije.

### 8.3.2. Chromos vodeni premaz (AQUALUX)

Akrilni premaz Chromos Aqualux, bez dodatka inhibitora korozije, apliciran je u debljini od otprilike 60  $\mu\text{m}$  i ostavljen da se suši 7 dana. Površine uzoraka pripremljene su s čistačima s manjom koncentracijom inhibitora korozije (10 ml inhibitora korozije u 100 ml vode). Uzorci su prikazani na slici 56.



**Slika 56. Uzorci premazani s Chromos vodenim premazom (AQUALUX) prije ispitivanja**

### 8.3.2.1. Debljina suhog filma AQUALUX premaza

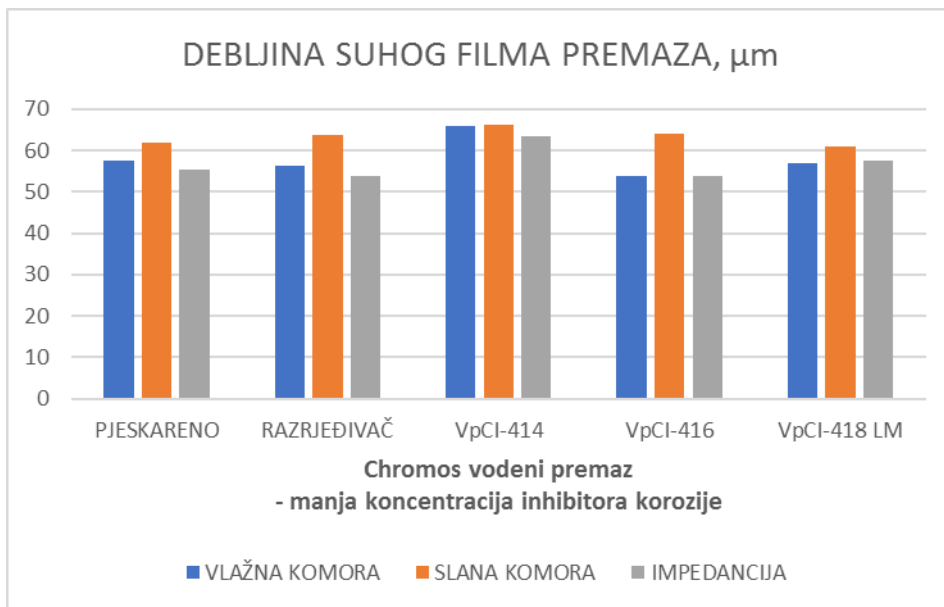
Mjerenje debljine suhog filma se provodilo pomoću uređaja Elcometer 456. Uređaj radi na principu magnetske indukcije. Mjerenje je provedeno u deset točaka. Srednja vrijednost mjerenja te minimalna i maksimalna izmjerena vrijednost za svaki uzorak su prikazane u tablici 23.

Rezultati ispitivanja pokazali su rasipanje vrijednosti u rasponu  $\pm 20 \mu\text{m}$ , što se smatra prihvatljivim.

**Tablica 23. Debljina suhog filma Chromos vodenog premaza (manja koncentracija inhibitora)**

	UZORAK	$\bar{x}$ , $\mu\text{m}$	min., $\mu\text{m}$	max., $\mu\text{m}$
PIJESKARENO	1B	57,64	53,00	63,80
	2B	55,34	43,40	65,80
	3B	61,90	55,50	69,80
VpCI-416	4B	53,66	41,40	66,90
	5B	53,80	44,10	73,50
	6B	64,12	48,50	80,70
VpCI-414	7B	63,37	53,60	71,50
	8B	66,12	54,20	79,80
	9B	65,86	52,50	77,80
RAZRJEDIVAČ	10B	63,58	51,60	72,10
	11B	53,68	46,50	59,40
	12B	56,30	47,60	65,30
VpCI-418 LM	13B	61,02	43,40	74,30
	14B	57,03	47,90	65,20
	15B	57,41	46,70	63,40

Prema debljini suhog filma premaza, uzorci su grupirani prema vrsti ispitivanja kojoj su namijenjeni, kako je prikazano na slici 57. Nakon toga su stavljeni na ispitivanje u vlažnu i slanu komoru te elektrokemijsko ispitivanje.



**Slika 57. Debljina suhog filma Chromos vodnog premaza prema ispitivanjima (manja koncentracija inhibitora korozije)**

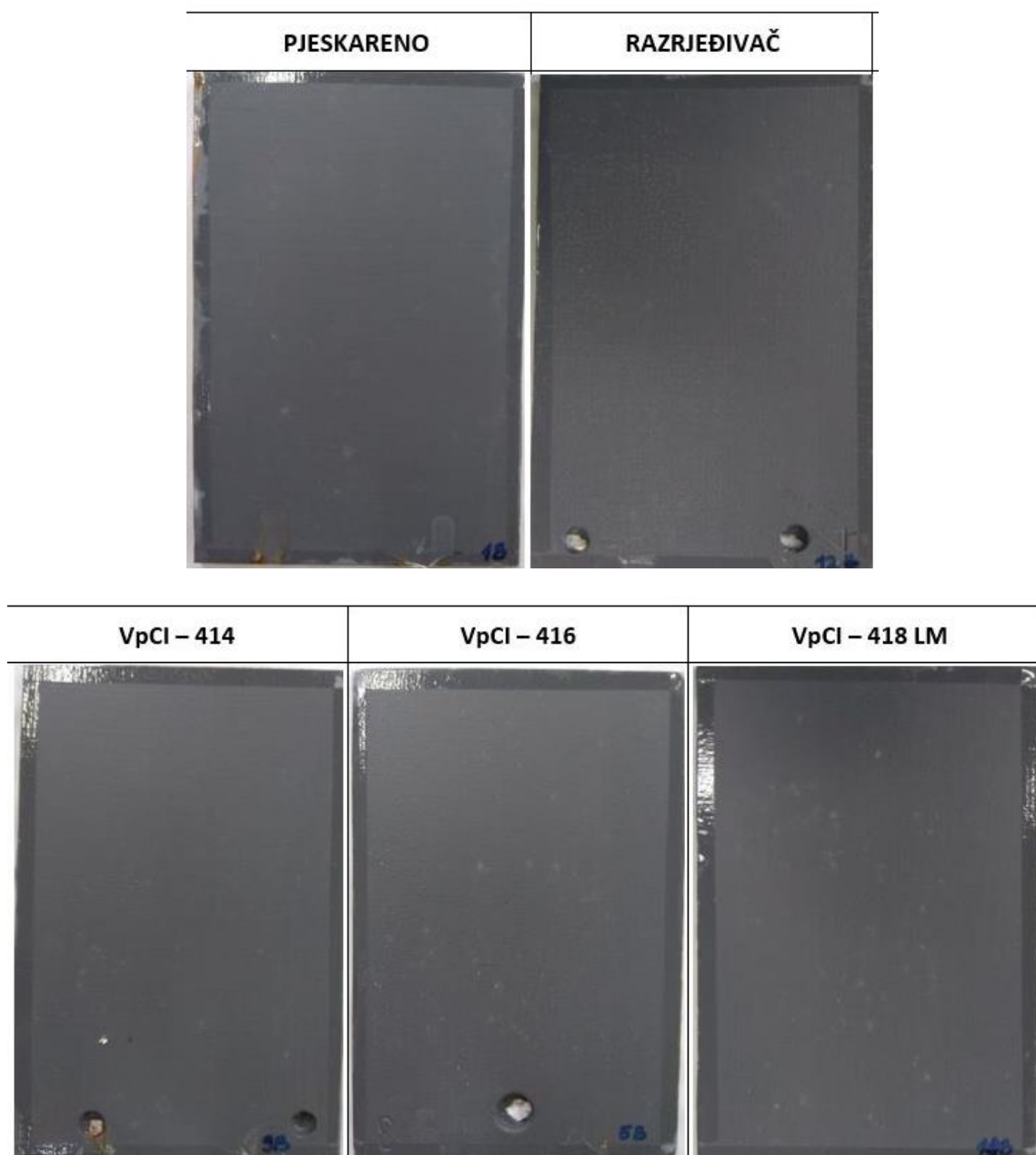
8.3.2.2. Vlažna komora – AQUALUX premaz

Ispitivanje u vlažnoj komori provodilo se u isto vrijeme kad su se ispitivali uzorci premazani VpCI-386 premazom (iz prethodnog poglavlja). Uzorci su se postavili na isti način kao i prethodno navedeni, prikazano na slikama 48 i 58. Ispitivanje je trajalo 96 h. Zatim se ispitala prionjivost prevlake i stupanj propadanja prema normi ISO 4628.



**Slika 58. Uzorci premazani s VpCI-386 i Chromos vodenim premazom u vlažnoj komori**

Nakon vađenja iz vlažne komore nije bilo tragova korozijskih produkata. Za razliku od uzoraka premazanih VpCI-386 premazom, nije došlo do reakcije premaza zbog vlage i topline u komori. Uzorci nakon vađenja iz vlažne komore su prikazani na slici 59.








**Slika 59. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije)**


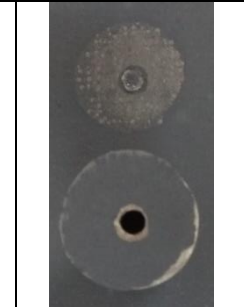
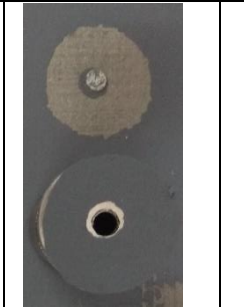
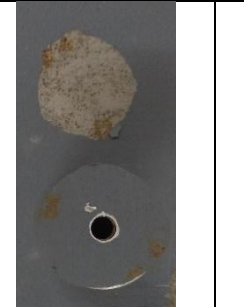



Prionjivost premaza se ispitivala metodom zarezivanja mrežice i vlačnom metodom. Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice prikazani su u tablici 24, a rezultati dobiveni vlačnom metodom u tablici 25.

**Tablica 24. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije)**

Chromos vodeni premaz (AQUALUX)				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Ocjena rezultata Cross – cut testa prema normi ISO 2409				
1	2	5	5	4

**Tablica 25. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije)**

Chromos vodeni premaz (AQUALUX)				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Rezultati Pull-off testa prema normi ISO 4624				
3,52 MPa	4,98 MPa	1,29 MPa	0,66 MPa	1,55 MPa

Rezultati prionjivosti i kod ove vrste premaza pokazuju utjecaj pripreme površine na prionjivost premaza. Rezultati dobiveni kod uzoraka čija je površina bila pripremljena pomoću čistača s inhibitorom korozije su znatno lošiji nego rezultati dobiveni kod uzoraka pripremljenih klasičnim metodama.

Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice pokazuju da čistači s inhibitorom korozije, u koncentraciji od 10 ml inhibitora, nisu djelotvorni ni kod vodenih premaza bez dodataka inhibitora korozije.

Rezultati prionjivosti dobiveni vlačnom metodom pokazuju malo bolje rezultate kod uzoraka pripremljenih s inhibitorima korozije nego uzorci premazani VpCI-386 premazom. Uzorci pripremljeni klasičnim metodama pripreme površine imaju više vrijednosti vlačne sile i time bolju prionjivost.

Prilikom procjene propadanja premaza ocjenjivao se stupanj mjehuranja i stupanj hrđanja.

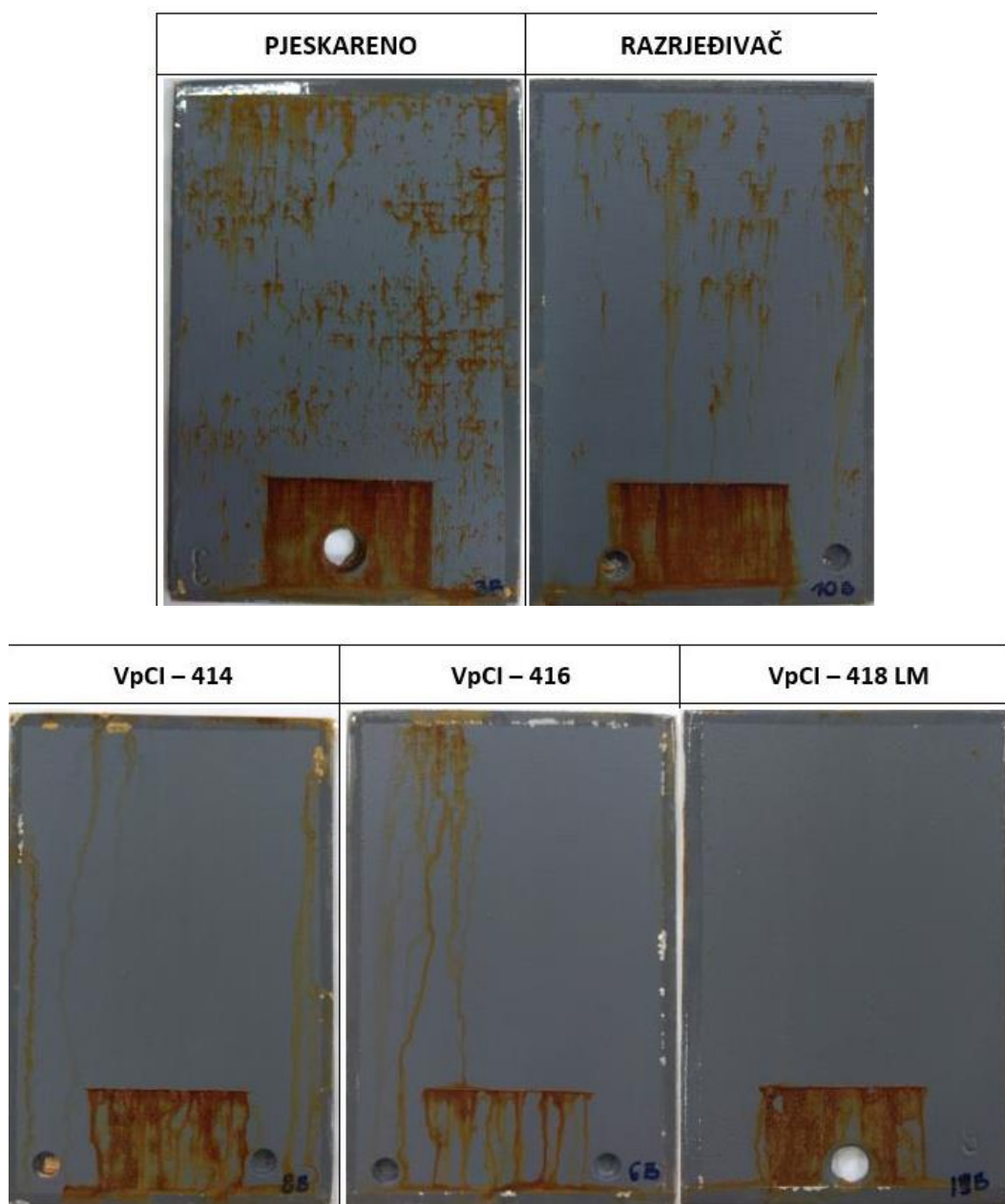
Nakon vađenja uzoraka iz vlažne komore uočeni su mjehuri na svim premazima. Ocjene mjehuranja su sličnih vrijednosti neovisno o načinu pripreme površine. Unatoč pojavi mjehura, nije došlo do stvaranja korozijskih produkata. Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 26.

**Tablica 26. Procjena propadanja Chromos vodenog premaza nakon ispitivanja u vlažnoj komori (manja koncentracija inhibitora korozije)**

		ISO 4628-2	ISO 4628-3
	UZORAK	MJEHURANJE	HRĐANJE
<b>PJESKARENO</b>	<b>1B</b>	3 (S2)	Ri 0
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>12B</b>	4 (S2)	Ri 0
<b>VpCI-414</b>	<b>9B</b>	4 (S2)	Ri 0
<b>VpCI-416</b>	<b>5B</b>	4 (S2)	Ri 0
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>14B</b>	4 (S2)	Ri 0

### 8.3.2.3. Slana komora – AQUALUX premaz






Uzorci premazani Chromos vodenim premazom postavljeni su na stalak i stavljeni u slanu komoru kako je prikazano na slici 49. Uzorci su bili izloženi uvjetima slane komore 96 h, nakon čega se ispitivala prionjivost premaza i ocjenio stupanj propadanja. Uzorci nakon vađenja iz slane komore su prikazani na slici 60.





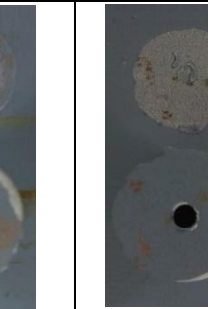
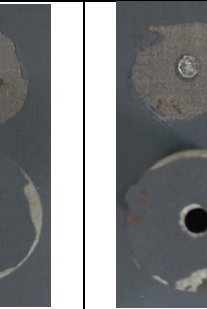
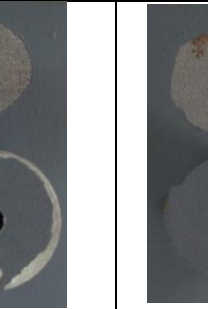
**Slika 60. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u slanoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije)**

Prionjivost premaza se ispitivala metodom zarezivanja mrežice i vlačnom metodom. Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice prikazani su u tablici 27, a rezultati dobiveni vlačnom metodom u tablici 28.

**Tablica 27. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u slanoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije)**

Chromos vodeni premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Ocjena rezultata Cross – cut testa prema normi ISO 2409				
1	1	3	2	4

**Tablica 28. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u slanoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije)**

Chromos vodeni premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Rezultati Pull-off testa prema normi ISO 4624				
7,08 MPa	6,34 MPa	1,74 MPa	2,86 MPa	1,94 MPa

Rezultati prionjivosti ponovno pokazuju da uzorci pripremljeni klasičnim metodama pripreme imaju bolje vrijednosti prionjivosti premaza nego oni pripremljeni pomoću inhibitora korozije. U uvjetima slane komore došlo je do mjehuranja i korodiranja što je također utjecalo na prionjivost premaza.

Rezultati prionjivosti su bolji nego oni dobiveni u vlažnoj komori.

Prilikom procjene propadanja premaza ocjenjivao se stupanj mjehuranja, stupanj hrđanja i stupanj korozije oko ureza.

Za razliku od premaza koji u svom sastavu ima inhibitore korozije (VpCI-386), kod Chromos vodenog premaza došlo je do pojave mjehura na svim uzorcima. Mjehuravost premaza je prikazana na slici 61.



**Slika 61. Mjehuravost i korodiranje površine Chromos vodenog premaza**

Mjehuravost je dalje rezultirala smanjenjem prionjivosti premaza. Tijekom vremena došlo je do pucanja mjehura i prodora vlage do površine osnovnog metala. Time su nastali korozijski produkti, prikazano na slici 61. Korodiranje površine je posebno uočljivo kod uzoraka koji nisu bili odmašćeni razrjeđivačem ni čistačima s inhibitorima korozije (pjeskareni uzorak prikazan na slici 61, gornja slika).

Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 29.

**Tablica 29. Procjena propadanja Chromos vodenog premaza nakon ispitivanja u slanoj komori (manja koncentracija inhibitora korozije)**

		ISO 4628-2	ISO 4628-3
	UZORAK	MJEHURANJE	HRĐANJE
<b>PJESKARENO</b>	<b>3B</b>	3 (S2)	Ri 3
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>10B</b>	3 (S2)	Ri 2
<b>VpCI-414</b>	<b>8B</b>	3 (S2)	Ri 2
<b>VpCI-416</b>	<b>6B</b>	3 (S2)	Ri 1
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>13B</b>	3 (S2)	Ri 1

Mjerenje stupnja korozije oko ureza provedeno je jednako kao i za prethodno ispitani premaz. Mjerenje je provedeno osam puta za svaki urez i na temelju dobivenih vrijednosti izračunata je ocjena stupnja korozije  $M$ , prema jednadžbi (1). Premaz zadovoljava uvjete kvalitete ako je vrijednost  $M$  manja od 1 mm. Vrijednosti su prikazane u tablicama 30 i 31.

**Tablica 30. Vrijednosti mjerenja korozije oko ureza – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije)**

		MJERENJA, mm							
	UZORAK	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>PJESKARENO</b>	<b>3B</b>	1	1	1,2	1	1	1	1	1
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>10B</b>	1	1	1,2	1	1	1,2	1,4	1,2
<b>VpCI-414</b>	<b>8B</b>	1,2	1,8	3,4	0,6	1,2	1	1	1
<b>VpCI-416</b>	<b>6B</b>	0,6	1	0,4	0,4	0,6	0,6	0,4	0,4
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>13B</b>	1,2	1,4	0,6	1,2	1,2	1,2	1	1,8



**Tablica 31. Stupanj korozije oko ureza – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije)**

	UZORAK	c, mm	w, mm	M
PJESKARENO	3B	1,025	0,2	0,4125
RAZRJEĐIVAČ	10B	1,125		0,4625
VpCI-414	8B	1,4		0,6
VpCI-416	6B	0,55		0,175
VpCI-418 LM	13B	1,2		0,5

Na temelju dobivenih vrijednosti stupnja korozije  $M$ , vidljivo je da svi uzorci zadovoljavaju uvjete zadane normom HRN EN ISO 4628-8.

#### 8.3.2.4. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija – AQUALUX premaz

Premazi su izloženi 3,5 %-tnoj otopini NaCl i mjerenja su provedena nakon 20 h i 168 h izlaganja. Ispitivanja su provedena pri sobnoj temperaturi prema parametrima zadanim u tablici 20.

Nakon ispitivanja provedenih nakon 20 h i 168 h, dobiveni su podaci prikazani u tablicama 32 i 33.

**Tablica 32. Rezultati EIS-a za Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije) nakon 20 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl**

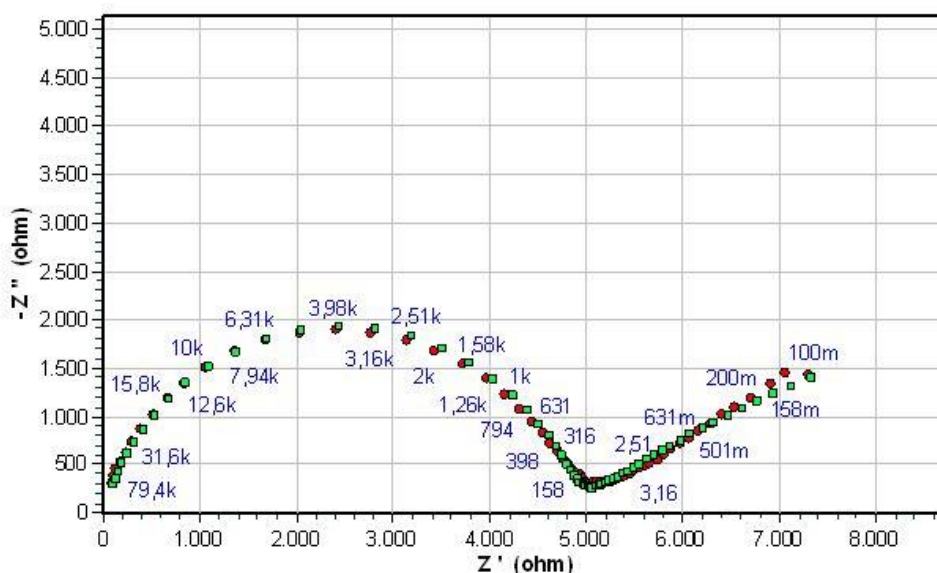
20 h ispitivanja		$R_1, \Omega\text{cm}^2$	$R_2, \Omega\text{cm}^2$	$R_3, \Omega\text{cm}^2$	CPE <sub>1</sub>		CPE <sub>2</sub>		$W, \Omega\text{cm}^2$	$R, \Omega\text{cm}^2$
Chromos vodeni premaz					$Q_1, \text{F/cm}^2$	$n_1$	$Q_2, \text{F/cm}^2$	$n_2$		
2B	Pjeskareno	10	$3,851 \times 10^3$	$1,803 \times 10^3$	$3,776 \times 10^{-8}$	0,875	$3,605 \times 10^{-5}$	0,577	-	-
11B	Razrjeđivač	100	$2,659 \times 10^4$	$5,772 \times 10^4$	$2,479 \times 10^{-6}$	0,739	$2,180 \times 10^{-8}$	0,889	-	-
7B	414	100	$1,685 \times 10^7$	$1,812 \times 10^6$	$1,750 \times 10^{-8}$	0,883	$1,227 \times 10^{-8}$	1	-	-
4B	416	100	$1,103 \times 10^4$	$4,122 \times 10^3$	$1,353 \times 10^{-8}$	0,907	$2,307 \times 10^{-6}$	0,643	$2,149 \times 10^{-5}$	-
15B	418	14,66	$9,081 \times 10^3$	$2,579 \times 10^4$	$1,021 \times 10^{-6}$	0,81	$1,175 \times 10^{-8}$	0,909	$2,399 \times 10^{-5}$	-



**Tablica 33. Rezultati EIS-a za Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije) nakon 168 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl**

168 h ispitivanja		$R_1, \Omega\text{cm}^2$	$R_2, \Omega\text{cm}^2$	$R_3, \Omega\text{cm}^2$	CPE <sub>1</sub>		CPE <sub>2</sub>		$W, \Omega\text{cm}^2$	$R, \Omega\text{cm}^2$
Chromos vodeni premaz	$Q_1, \text{F/cm}^2$				$n_1$	$Q_2, \text{F/cm}^2$	$n_2$			
2B	Pjeskareno	11,2	$3,599 \times 10^4$	30,5	$3,822 \times 10^{-2}$	0,8	$2,940 \times 10^{-5}$	0,8	$1,433 \times 10^{-6}$	-
11B	Razrjeđivač	1	$2,412 \times 10^3$	$7,322 \times 10^3$	$1,334 \times 10^{-7}$	0,8	$5,33 \times 10^{-4}$	0,8	-	-
7B	414	1,634	$2,696 \times 10^5$	$9,445 \times 10^5$	$7,445 \times 10^{-9}$	0,934	$6,885 \times 10^{-10}$	1	$1,304 \times 10^{-6}$	-
4B	416	1000	$1,279 \times 10^4$	$4,824 \times 10^3$	$3,439 \times 10^{-4}$	0,8	$3,845 \times 10^{-8}$	0,8	$2,196 \times 10^{-13}$	-
15B	418	100	$5,116 \times 10^4$	$5,159 \times 10^4$	$1,740 \times 10^{-5}$	0,578	$1,53 \times 10^{-8}$	0,891	-	-

Na slici 62 dan je prikaz Nyquistovog dijagrama dobivenog ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću čistača s inhibitorom VpCI-416, nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl.



**Slika 62. Nyquistov dijagram za Chromos vodeni premaz, dobiven ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću čistača s nižom koncentracijom inhibitorom VpCI-416, nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl**

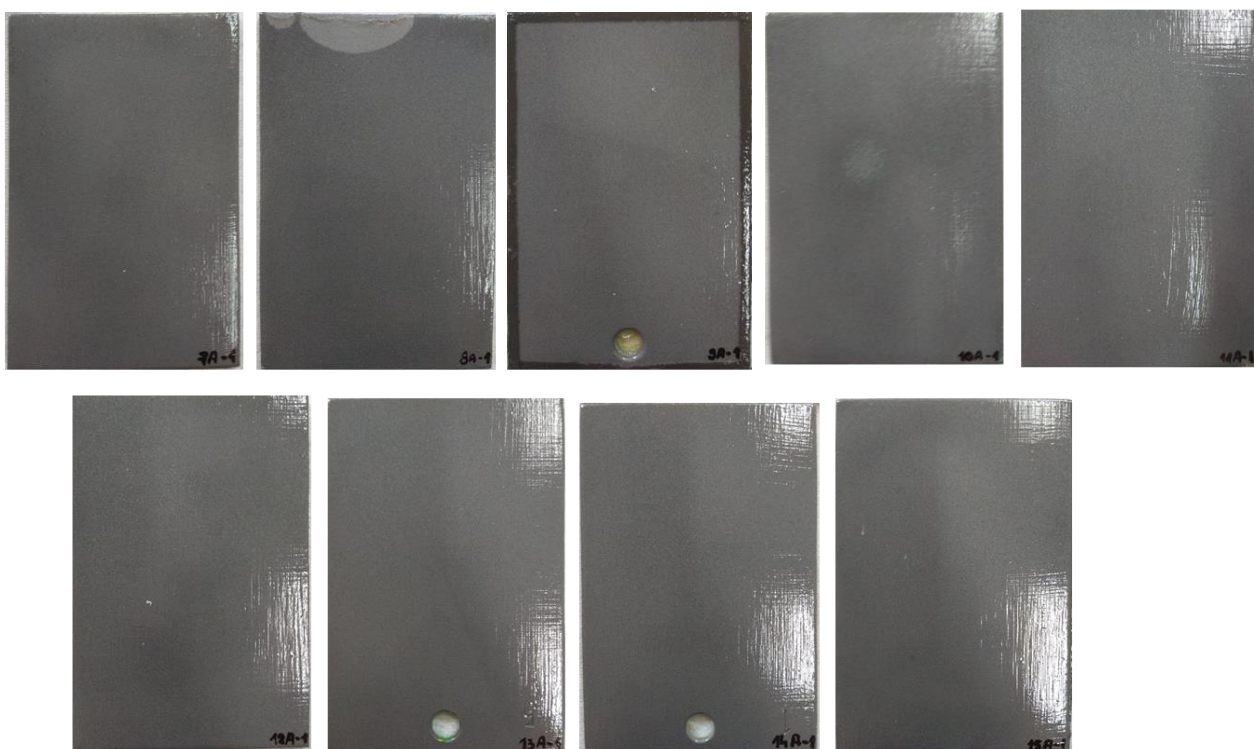
Uzorci pripremljeni pomoću inhibitora pokazuju veći otpor od uzoraka pripremljenih klasičnim metodama. U usporedbi s uzorcima premazanima VpCI-386 premazom (premaz s dodatkom inhibitora korozije), vodeni premaz bez inhibitora pokazuje malo manji otpor. Nakon ispitivanja uočena je pojava malih mjehurića na premazima.

#### 8.4. Ispitivanje akrilnih premaza – veća koncentracija inhibitora korozija

Zbog negativnih rezultata dobivenih u prijašnjim ispitivanjima, ponovljena su ispitivanja akrilnih premaza na uzorcima pripremljenim pomoću inhibitora korozije. Uzorci su pripremljeni pomoću čistača s većom koncentracijom inhibitora korozije. U 50 ml vode dodano je 50 ml inhibitora korozije. Površina uzoraka je pripremljena s vodorazrijeđenim koncentratom i zatim su se aplicirali akrilni premazi s i bez inhibitora korozije (VpCI-386 i Chromos vodeni premaz), kako je objašnjeno u prijašnjim poglavljima.

##### 8.4.1. Akrilni premaz VpCI – 386

Nakon pripreme površine, premaz se nanosio u više slojeva dok se nije postigla debljina suhog filma od oko 60  $\mu\text{m}$ . Uzorci su prikazani na slici 63.



Slika 63. Uzorci premazani s akrilnim premazom VpCI – 386 (veća koncentracija) prije ispitivanja

#### 8.4.1.1. Debljina suhog filma VpCI-386 premaza

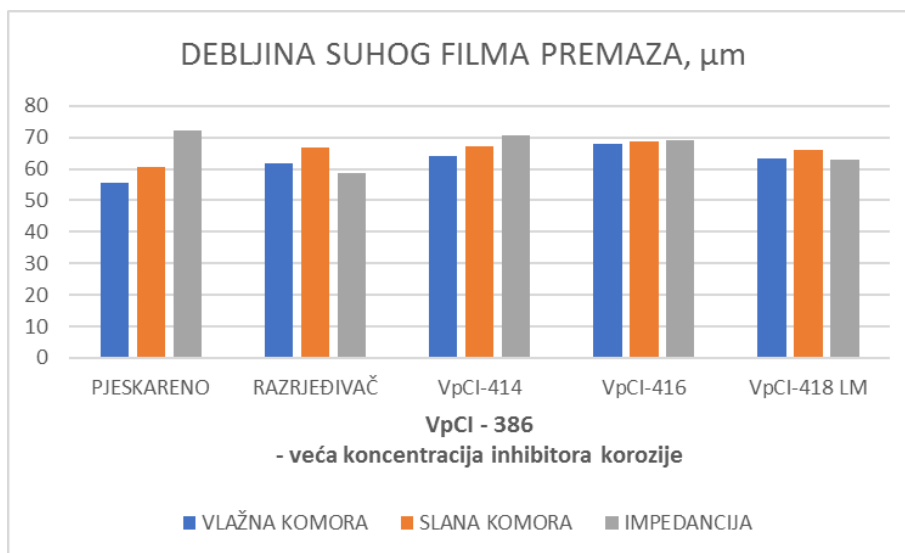
Mjerenje debljine suhog filma se provodilo pomoću uređaja Elcometer 456. Mjerenje je provedeno u deset točaka. Srednja vrijednost mjerenja te minimalna i maksimalna izmjerena vrijednost za svaki uzorak su prikazane u tablici 34. Podaci za pjeskarene uzorke i uzorke pripremljene razrjeđivačem se nisu mijenjale te su preuzete iz prethodnih poglavlja.

Rezultati ispitivanja pokazali su rasipanje vrijednosti u rasponu  $\pm 20 \mu\text{m}$ , što se smatra prihvatljivim.

**Tablica 34. Debljina suhog filma premaza VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije)**

	UZORAK	$\bar{x}$ , $\mu\text{m}$	min., $\mu\text{m}$	max., $\mu\text{m}$
PJESKARENO	1A	55,73	42,40	68,30
	2A	60,70	50,00	69,70
	3A	72,02	60,20	89,40
RAZRJEĐIVAČ	4A	58,53	54,40	86,50
	5A	61,93	51,50	67,90
	6A	66,73	57,00	76,90
VpCI-414	7A-1	70,43	58,60	120,00
	8A-1	64,13	51,40	74,30
	9A-1	67,25	55,80	72,20
VpCI-416	10A-1	68,05	56,80	85,40
	11A-1	68,98	56,50	78,10
	12A-1	68,78	60,90	84,80
VpCI-418 LM	13A-1	65,87	56,50	80,30
	14A-1	63,36	53,50	75,10
	15A-1	62,99	54,10	69,90

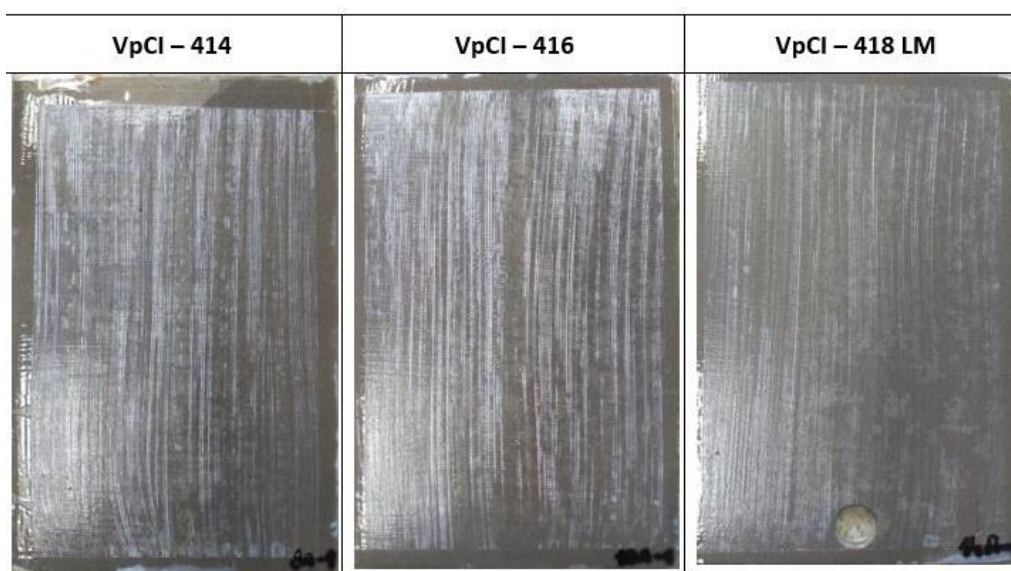
Prema debljini suhog filma premaza, uzorci su grupirani prema vrsti ispitivanja kojoj su namijenjeni kako je prikazano na slici 64. Nakon toga su stavljeni na ispitivanje u vlažnu i slanu komoru te elektrokemijsko ispitivanje.



**Slika 64. Debljina suhog filma VpCI-386 premaza prema ispitivanjima (veća koncentracija inhibitora korozije)**

8.4.1.2. Vlažna komora – premaz VpCI-386


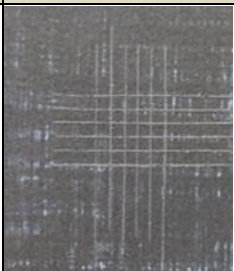
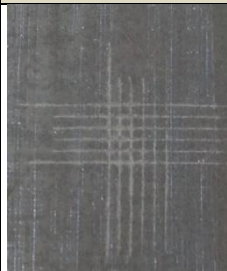

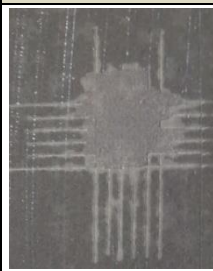
Uzorci su bili izloženi uvjetima vlažne komore 96 h. Nakon vađenja uzoraka iz komore, uočen je bijeli talog na površini premaza koji se pojavio i kod uzoraka pripremljenih s manjom koncentracijom inhibitora korozije. Uzorci nakon vađenja iz komore su prikazani na slici 65.





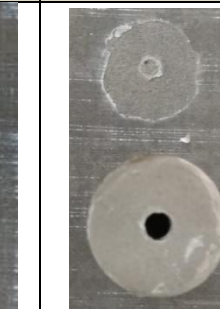
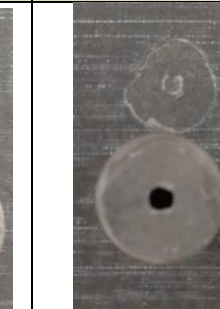

**Slika 65. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u vlažnoj komori – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije)**

Prionjivost premaza se ispitivala metodom zarezivanja mrežice i vlačnom metodom. Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice prikazani su u tablici 35. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom prikazani su u tablici 36.

**Tablica 35. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u vlažnoj komori – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije)**

VpCI – 386 premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Ocjena rezultata Cross – cut testa prema normi ISO 2409				
0	1	2	2	5

**Tablica 36. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u vlažnoj komori – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije)**

VpCI – 386 premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Rezultati Pull-off testa prema normi ISO 4624				
4,73 MPa	3,79 MPa	1,21 MPa	1,22 MPa	2,77 MPa

U usporedbi s uzorcima premazanim istim premazom, ali pripremljeni s nižom koncentracijom inhibitora korozije, vidljivo je da veća koncentracija ima pozitivan utjecaj na prionjivost premaza. U usporedbi s klasičnom pripremom, rezultati su i dalje negativniji. Najslabije rezultate prionjivosti metodom zarezivanja mrežice pokazuje inhibitor VpCI-418 LM.

Procjena propadanja premaza pokazuje pozitivnije rezultate kod uzoraka pripremljenih s većom koncentracijom inhibitora korozije. Stupanj hrđanja ostaje jednakih vrijednosti za oba slučaja odmašćivanja površina, ali mjehuravost je spriječena povećanjem koncentracije inhibitora u čistačima površina. Ocjene propadanja premaza su prikazane u tablici 37.

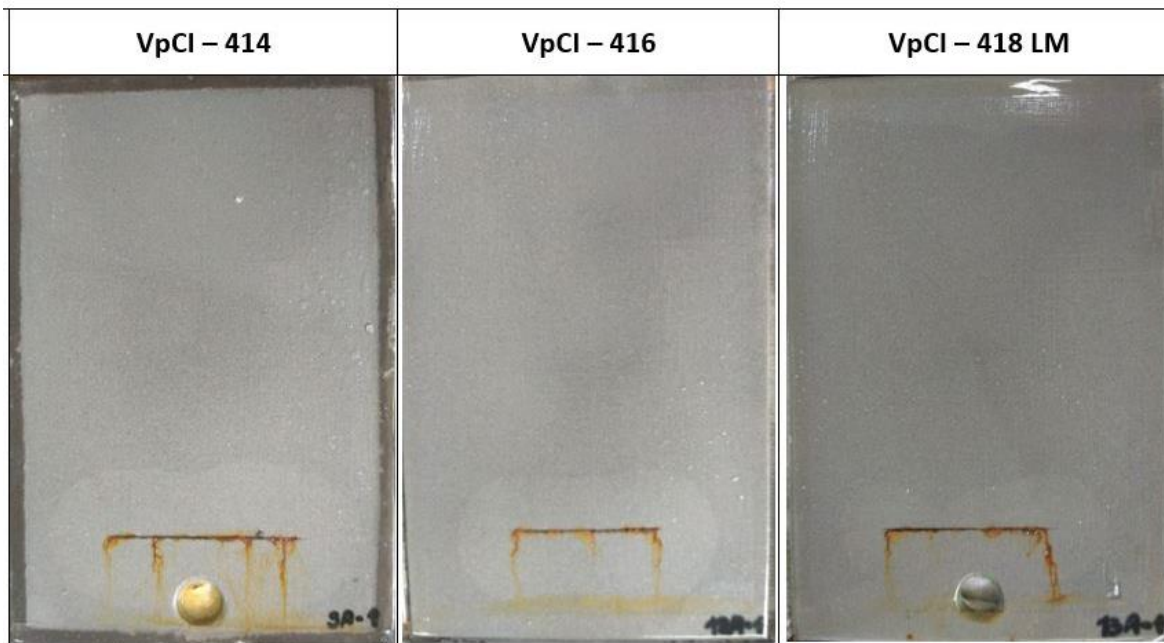
**Tablica 37. Procjena propadanja premaza VpCI-386 nakon ispitivanja u vlažnoj komori (veća koncentracija inhibitora korozije)**

		ISO 4628-2	ISO 4628-3
	UZORAK	MJEHURANJE	HRĐANJE
<b>PJESKARENO</b>	<b>1A</b>	0	Ri 0
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>5A</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-414</b>	<b>8A-1</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-416</b>	<b>10A-1</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>14A-1</b>	0	Ri 0

#### 8.4.1.3. Slana komora – VpCI-386 premaz

Uzorci su bili izloženi uvjetima slane komore 96 h. Nakon ispitivanja ispitivala se prionjivost premaza i ocjenio stupanj propadanja premaza. Uzorci nakon vađenja iz slane komore su prikazani na slici 66.





**Slika 66. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u slanoj komori – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije)**

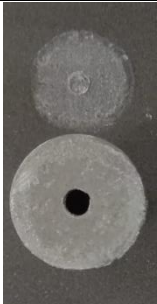
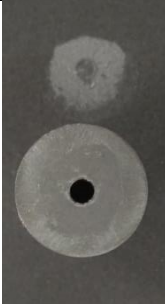



Prionjivost premaza se ispitivala metodom zarezivanja mrežice i vlačnom metodom. Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice prikazani su u tablici 38. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom prikazani su u tablici 39.

**Tablica 38. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u slanoj komori – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije)**

VpCI – 386 premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
<b>Ocjena rezultata Cross – cut testa prema normi ISO 2409</b>				
0	0	1	0	5



**Tablica 39. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u slanoj komori – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije)**

VpCI – 386 premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Rezultati Pull-off testa prema normi ISO 4624				
9,47 MPa	4,79 MPa	1,12 MPa	1,77 MPa	2,12 MPa

Usporedbom novih podataka s rezultatima uzoraka pripremljenih klasičnim metodama pripreme vidljivo je da inhibitori korozije imaju slabiju djelotvornost od klasičnih metoda. Usporedbom s uzorcima pripremljenim s manjom koncentracijom inhibitora korozije može se zaključiti da povećanje koncentracije ima pozitivan učinak na prionjivost premaza. Najnegativniji rezultat, neovisno o koncentraciji, daje uzorak pripremljen pomoću inhibitora VpCI-418 LM. Ipak, povećanjem koncentracije ovog inhibitora rezultat Pull-off testa je znatno bolji.

Prilikom procjene propadanja premaza ocjenjivao se stupanj mjehuranja, stupanj hrđanja i stupanj korozije oko ureza. Ocjene stupnja mjehuranja i hrđanja su prikazane u tablici 40.

**Tablica 40. Procjena propadanja premaza VpCI-386 nakon ispitivanja u slanoj komori (veća koncentracija inhibitora korozije)**

	UZORAK	ISO 4628-2	ISO 4628-3
		MJEHURANJE	HRĐANJE
<b>PJESKARENO</b>	<b>2A</b>	0	Ri 0
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>6A</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-414</b>	<b>9A-1</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-416</b>	<b>12A-1</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>13A-1</b>	0	Ri 0

Ocjene stupnja mjehuranja su pokazale izvrsne vrijednosti kad se koristila manja koncentracija inhibitora korozije. U tim uvjetima, najlošije rezultate je pokazao uzorak pripremljen s inhibitorom VpCI-418 LM gdje je došlo do pojave mjehura. Povećanjem koncentracije inhibitora korozije prilikom pripreme površine, mjehuranje se potpuno spriječilo. Stupanj hrđanja i dalje pokazuje izvrsnu kvalitetu premaza VpCI-386.

Mjerenje stupnja korozije oko ureza ponovljeno je osam puta za svaki urez. Na temelju dobivenih mjerenja izračunala se aritmetička sredina svih mjerenja  $c$  i prema jednadžbi (1) izračunata ocjena stupnja korozije  $M$ . Premaz zadovoljava uvjete kvalitete ako je vrijednost  $M$  manja od 1 mm. Vrijednosti su prikazane u tablicama 41 i 42.

**Tablica 41. Vrijednosti mjerenja korozije oko ureza – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije)**

	UZORAK	MJERENJA, mm							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PJESKARENO	2A	2,6	2,2	0,4	2	2,2	3,8	2	2,2
RAZRJEĐIVAČ	6A	0,4	1,8	1,8	0,4	5	0,4	2,2	5
VpCI-414	9A-1	2,2	3	2,4	2	1,4	1,2	7,2	1,8
VpCI-416	12A-1	1,4	0,8	1	0,8	1	0,8	1,4	1,4
VpCI-418 LM	13A-1	1,2	1,4	1,2	2	1	1,6	1	1

**Tablica 42. Stupanj korozije oko ureza – premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije)**

	UZORAK	$c$ , mm	$w$ , mm	$M$
PJESKARENO	2A	2,175	0,2	0,9875
RAZRJEĐIVAČ	6A	2,125		0,9625
VpCI-414	9A-1	2,65		<b>1,225</b>
VpCI-416	12A-1	1,075		0,4375
VpCI-418 LM	13A-1	1,3		0,55

Usporedbom s prijašnjim rezultatima vidljivo je da povećanje koncentracije inhibitora korozije povećava korozijsku postojanost. Kad se rezultati usporede s klasičnom pripremom površine, uzorci pripremljeni s inhibitorima VpCI-416 i VpCI-418 LM u većoj koncentraciji pokazuju bolje rezultate. Inhibitor VpCI-414 ne zadovoljava uvjete zadane normom.

#### 8.4.1.4. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija – premaz VpCI-386

Premazi su izloženi 3,5 %-tnoj otopini NaCl i mjerenja su provedena nakon 20 h i 168 h izlaganja. Ispitivanja su provedena na sobnoj temperaturi prema parametrima zadanim u tablici 20. Podaci su prikazani u tablicama 43 i 44.

**Tablica 43. Rezultati EIS-a za premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije) nakon 20 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl**

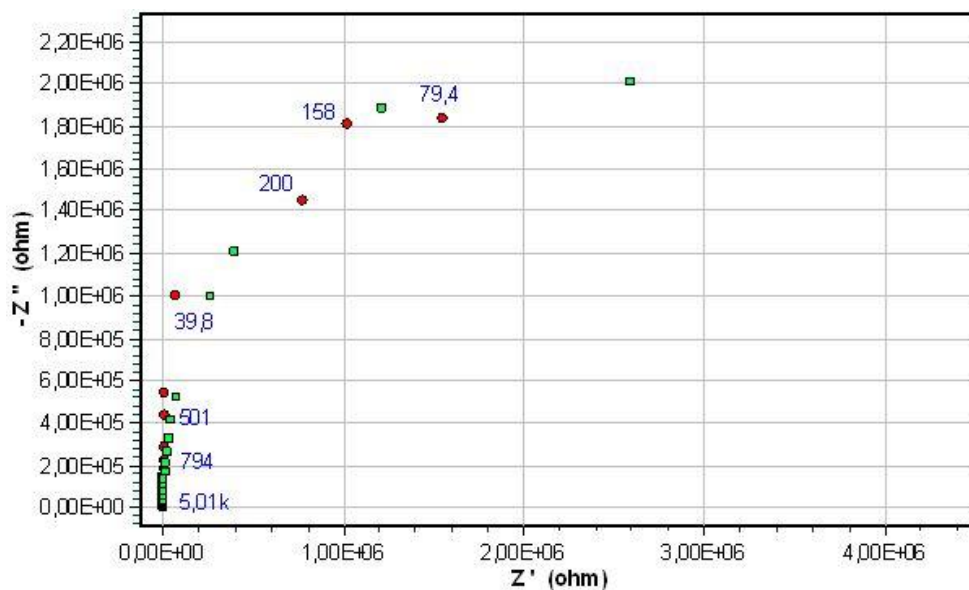
20 h ispitivanja		$R_1, \Omega\text{cm}^2$	$R_2, \Omega\text{cm}^2$	$R_3, \Omega\text{cm}^2$	CPE <sub>1</sub>		CPE <sub>2</sub>		$R, \Omega\text{cm}^2$
VpCI-386					$Q_1, \text{F/cm}^2$	$n_1$	$Q_2, \text{F/cm}^2$	$n_2$	
3A	Pjeskareno	91,91	$3,096 \times 10^5$	-	$9,561 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
4A	Razrjeđivač	30,8	$7,786 \times 10^5$	-	$9,515 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
7A-1	414	43,74	$1,923 \times 10^6$	-	$9,031 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
11A-1	416	57,69	$5,340 \times 10^6$	-	$7,567 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
15A-1	418	43,63	$4,575 \times 10^6$	-	$9,517 \times 10^{-10}$	-	-	-	-

**Tablica 44. Rezultati EIS-a za premaz VpCI-386 (veća koncentracija inhibitora korozije) nakon 168 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl**

168 h ispitivanja		$R_1, \Omega\text{cm}^2$	$R_2, \Omega\text{cm}^2$	$R_3, \Omega\text{cm}^2$	CPE <sub>1</sub>		CPE <sub>2</sub>		$R, \Omega\text{cm}^2$
VpCI-386					$Q_1, \text{F/cm}^2$	$n_1$	$Q_2, \text{F/cm}^2$	$n_2$	
3A	Pjeskareno	100	$4,747 \times 10^5$	$8,479 \times 10^5$	$1,515 \times 10^{-9}$	0,964	$2,951 \times 10^{-7}$	-	-
4A	Razrjeđivač	24,36	$3,380 \times 10^6$	-	$9,239 \times 10^{-11}$	-	-	-	-
7A-1	414	22,26	$2,705 \times 10^6$	-	$9,375 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
11A-1	416	44,59	$4,149 \times 10^6$	-	$7,504 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
15A-1	418	11,07	$4,989 \times 10^6$	-	$1,012 \times 10^{-9}$	-	-	-	-

Na temelju obrađenih rezultata vidljivo je da nema značajnih promjena otpora tijekom vremena. Tijekom ispitivanja uočeno je sporije propadanje uzoraka pripremljenih pomoću čistača s većom koncentracijom inhibitora korozije nego kod grupe uzoraka pripremljenih s manjom koncentracijom.

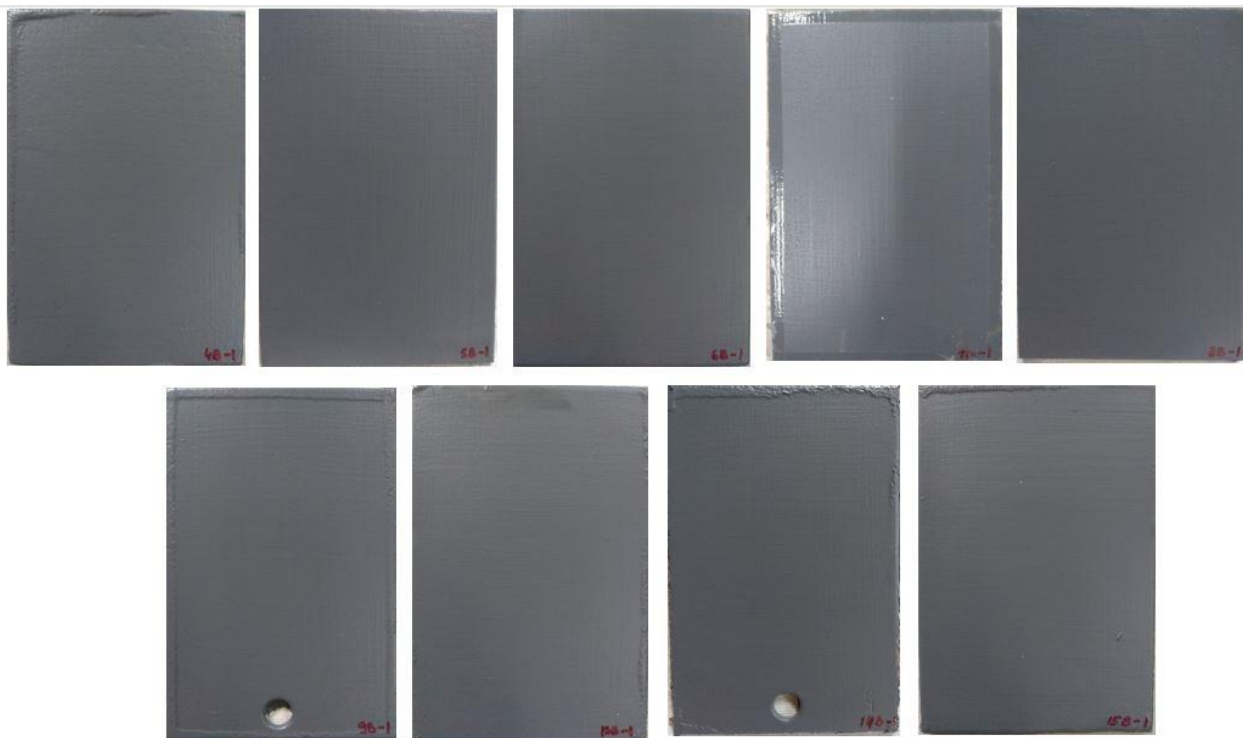
Na slici 67 dan je prikaz Nyquistovog dijagrama dobiven ispitivanjem uzorka odmašćenog pomoću čistača s većom koncentracijom inhibitora korozije VpCI-416, nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl.



**Slika 67. Nyquistov dijagram za VpCI-386 premaz, dobiven ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću čistača s većom koncentracijom inhibitora VpCI-416, nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl**

#### 8.4.2. Chromos vodeni premaz (AQUALUX)

Nakon pripreme površine, premaz se nanosio u više slojeva dok se nije postigla debljina suhog filma od oko 60  $\mu\text{m}$ . Uzorci su prikazani na slici 68.



**Slika 68. Uzorci premazani s Chromos vodenim premazom (veća koncentracija) prije ispitivanja**

##### 8.4.2.1. Debljina suhog filma AQUALUX premaza

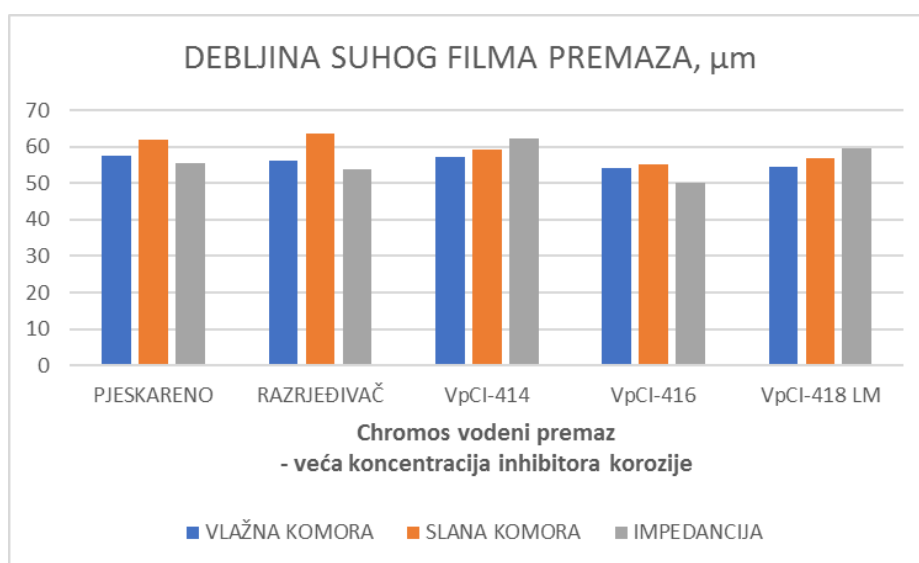
Mjerenje debljine suhog filma se provodilo pomoću uređaja Elcometer 456. Mjerenje je provedeno u deset točaka. Srednja vrijednost mjerenja te minimalna i maksimalna izmjerena vrijednost za svaki uzorak su prikazane u tablici 45.

Rezultati ispitivanja pokazali su rasipanje vrijednosti u rasponu  $\pm 20 \mu\text{m}$ , što se smatra prihvatljivim.

**Tablica 45. Debljina suhog filma Chromos vodenog premaza (veća koncentracija inhibitora koroziije)**

	UZORAK	$\bar{x}$ , $\mu\text{m}$	min., $\mu\text{m}$	max., $\mu\text{m}$
PJESKARENO	1B	57,64	53,00	63,80
	2B	55,34	43,40	65,80
	3B	61,90	55,50	69,80
VpCI-416	4B-1	54,27	46,30	65,30
	5B-1	50,21	36,80	59,50
	6B-1	55,07	41,40	65,40
VpCI-414	7B-1	57,02	47,30	66,10
	8B-1	62,29	53,00	81,60
	9B-1	59,10	46,40	67,20
RAZRJEĐIVAČ	10B	63,58	51,60	72,10
	11B	53,68	46,50	59,40
	12B	56,30	47,60	65,30
VpCI-418 LM	13B-1	54,38	40,90	68,00
	14B-1	59,49	49,30	79,60
	15B-1	56,96	37,30	74,90

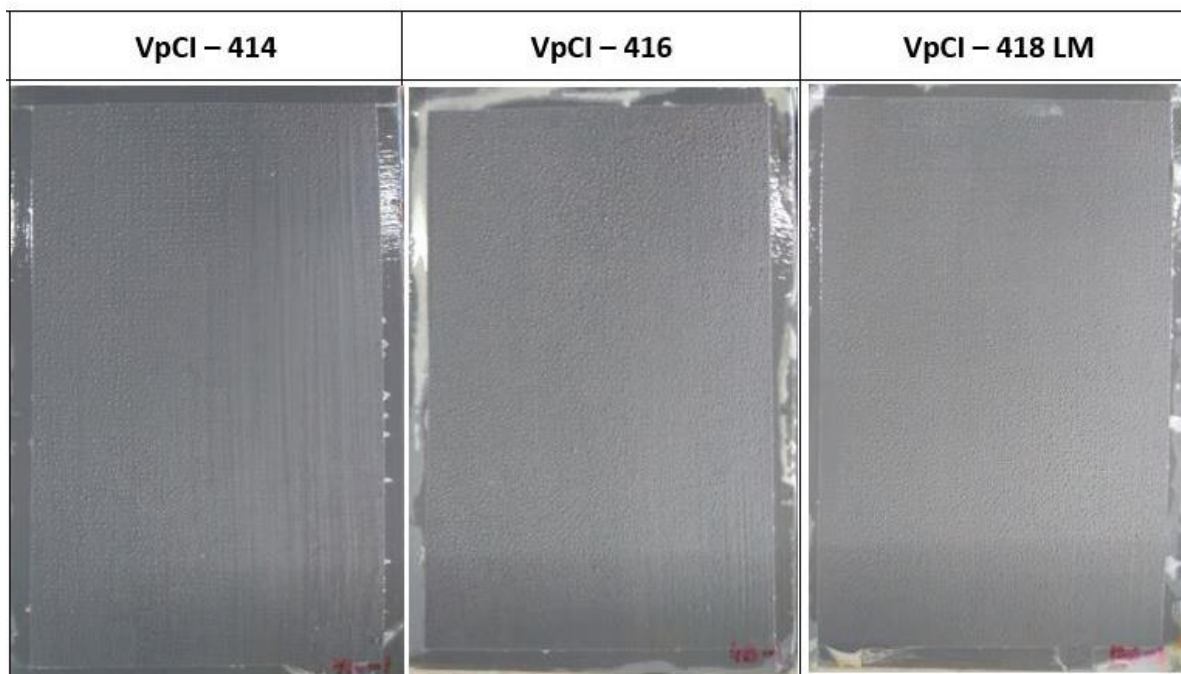
Uzorci su grupirani prema vrsti ispitivanja kojoj su namijenjeni, kako je prikazano na slici 69.



**Slika 69. Debljina suhog filma Chromos vodenog premaza prema ispitivanjima (veća koncentracija inhibitora koroziije)**

#### 8.4.2.2. Vlažna komora – AQUALUX premaz

Uzorci su bili izloženi uvjetima vlažne komore 96 h. Nakon ispitivanja ispitivala se prionjivost premaza i ocjenio stupanj propadanja premaza. Uzorci nakon vađenja iz vlažne komore su prikazani na slici 67.




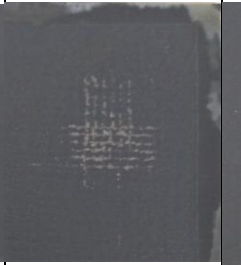



**Slika 70. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije)**


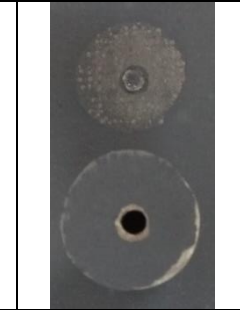



Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice prikazani su u tablici 46. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom prikazani su u tablici 47.



**Tablica 46. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije)**

Chromos vodeni premaz (AQUALUX)				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Ocjena rezultata Cross – cut testa prema normi ISO 2409				
1	2	2	2	2

**Tablica 47. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije)**

Chromos vodeni premaz (AQUALUX)				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Rezultati Pull-off testa prema normi ISO 4624				
3,52 MPa	4,98 MPa	1,66 MPa	1,62 MPa	1,18 MPa

Usporedbom s uzorcima pripremljenim s manjom koncentracijom inhibitora korozije može se zaključiti da povećanje koncentracije ima pozitivan učinak na prionjivost premaza. Kod Chromosovog vodenog premaza, čistači s inhibitorima korozije daju jednake ili slične vrijednosti prionjivosti kao kod klasične metode pripreme površine.

Prilikom procjene propadanja premaza ocjenjivao se stupanj mjehuranja i stupanj hrđanja. Ocjene stupnja mjehuranja i hrđanja su prikazane u tablici 48.

**Tablica 48. Procjena propadanja Chromos vodenog premaza nakon ispitivanja u vlažnoj komori (veća koncentracija inhibitora korozije)**

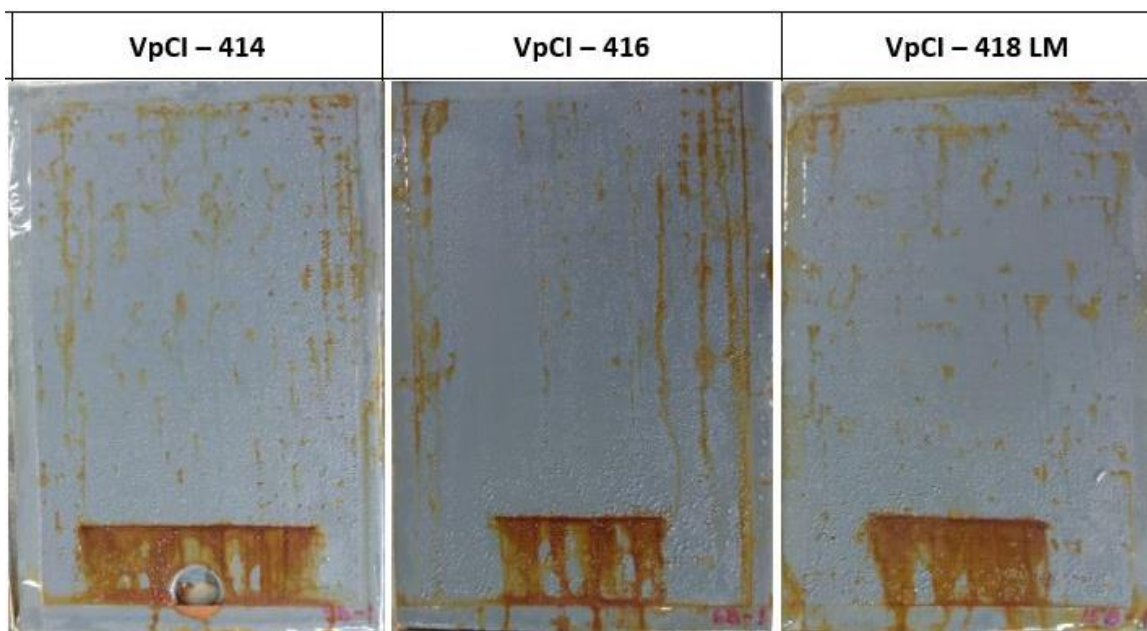
		ISO 4628-2	ISO 4628-3
	UZORAK	MJEHURANJE	HRĐANJE
<b>PJESKARENO</b>	<b>1B</b>	3 (S2)	Ri 0
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>12B</b>	4 (S2)	Ri 0
<b>VpCI-414</b>	<b>7B-1</b>	3 (S2)	Ri 0
<b>VpCI-416</b>	<b>4B-1</b>	2 (S2)	Ri 0
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>13B-1</b>	3 (S2)	Ri 0

Povećanjem koncentracije inhibitora korozije u čistačima površina nije se spriječilo mjehuranje premaza, ali se ono smanjilo za jedan stupanj u odnosu na ispitivanje s manjom koncentracijom. Najveće poboljšanje se vidi kod uzorka pripremljenog s inhibitorom VpCI-416.

Stupanj hrđanja je ostao jednak kao u slučaju s manjom koncentracijom inhibitora korozije.

#### 8.4.2.3. Slana komora – AQUALUX premaz






Uzorci su bili izloženi uvjetima slane komore 96 h. Nakon ispitivanja ispitivala se prionjivost premaza i ocjenio stupanj propadanja premaza. Uzorci nakon vađenja iz slane komore su prikazani na slici 71.




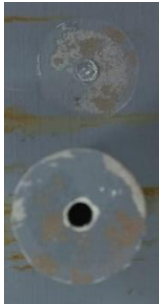



**Slika 71. Uzorci nakon 96 h ispitivanja u slanoj komori – Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije)**

Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice prikazani su u tablici 49. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom prikazani su u tablici 50.

**Tablica 49. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u slanoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije)**

Chromos vodeni premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
<b>Ocjena rezultata Cross – cut testa prema normi ISO 2409</b>				
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

**Tablica 50. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u slanoj komori – Chromos vodeni premaz (manja koncentracija inhibitora korozije)**

Chromos vodeni premaz				
Pjškareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Rezultati Pull-off testa prema normi ISO 4624				
7,08 MPa	6,34 MPa	3,36 MPa	3,29 MPa	2,71 MPa

Rezultati prionjivosti su bolji nego oni dobiveni u vlažnoj komori. Povećanje koncentracije inhibitora korozije u čistačima poboljšalo je prionjivost premaza. Čistač VpCI-416 pokazuje jednaku djelotvornost kao premaz na površini odmašćenju razrjeđivačem.

Prilikom procjene propadanja premaza ocjenjivao se stupanj mjehuranja, stupanj hrđanja i stupanj korozije oko ureza. Ocjene stupnja mjehuranja i hrđanja su prikazane u tablici 51.

**Tablica 51. Procjena propadanja Chromos vodenog premaza nakon ispitivanja u slanoj komori (veća koncentracija inhibitora korozije)**

		ISO 4628-2	ISO 4628-3
	UZORAK	MJEHURANJE	HRĐANJE
<b>PJESKARENO</b>	<b>3B</b>	3 (S2)	Ri 3
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>10B</b>	3 (S2)	Ri 2
<b>VpCI-414</b>	<b>9B-1</b>	4 (S2)	Ri 2
<b>VpCI-416</b>	<b>6B-1</b>	4 (S2)	Ri 1
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>15B-1</b>	3 (S2)	Ri 2

U slanoj komori su uzorci znatno brže korodirali i pojavili su se mjehuri po čitavoj površini premaza. Ocjene mjehuranja su jednako loše ili, u slučaju inhibitora VpCI-414 i VpCI-416, lošije od slučaja s manjom koncentracijom inhibitora korozije u čistačima. Ocjene hrđanja se također nisu znatno promjenile u odnosu na prethodni slučaj.

Mjerenje stupnja korozije oko ureza ponovljeno je osam puta za svaki urez te je izračunat stupanj korozije oko ureza. Vrijednosti su prikazane u tablicama 52 i 53.

**Tablica 52. Vrijednosti mjerenja korozije oko ureza – Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije)**

		MJERENJA, mm							
	UZORAK	1	2	3	4	5	6	7	8
PJESKARENO	3B	1	1	1,2	1	1	1	1	1
RAZRJEĐIVAČ	10B	1	1	1,2	1	1	1,2	1,4	1,2
VpCI-414	9B-1	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4
VpCI-416	6B-1	1	0,6	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	1
VpCI-418 LM	15B-1	0,6	0,6	0,4	0,4	0,8	0,6	0,4	0,6

**Tablica 53. Stupanj korozije oko ureza – Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije)**

	UZORAK	$c$ , mm	$w$ , mm	$M$
PJESKARENO	3B	1,025	0,2	0,4125
RAZRJEĐIVAČ	10B	1,125		0,4625
VpCI-414	9B-1	0,475		0,1375
VpCI-416	6B-1	0,675		0,2375
VpCI-418 LM	15B-1	0,55		0,175

Svi uzorci i u ovom slučaju zadovoljavaju uvjete zadane normom HRN EN ISO 4628-8. U slučaju inhibitora VpCI-416 došlo je do povećanja stupnja korozije oko ureza, ali zadovoljava uvjet kvalitete.

## 8.4.2.4. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija – AQUALUX premaz

Premazi su izloženi 3,5 %-tnoj otopini NaCl i mjerenja su provedena nakon 20 h i 168 h izlaganja. Podaci su prikazani u tablicama 54 i 55.

**Tablica 54. Rezultati EIS-a za Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije) nakon 20 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl**

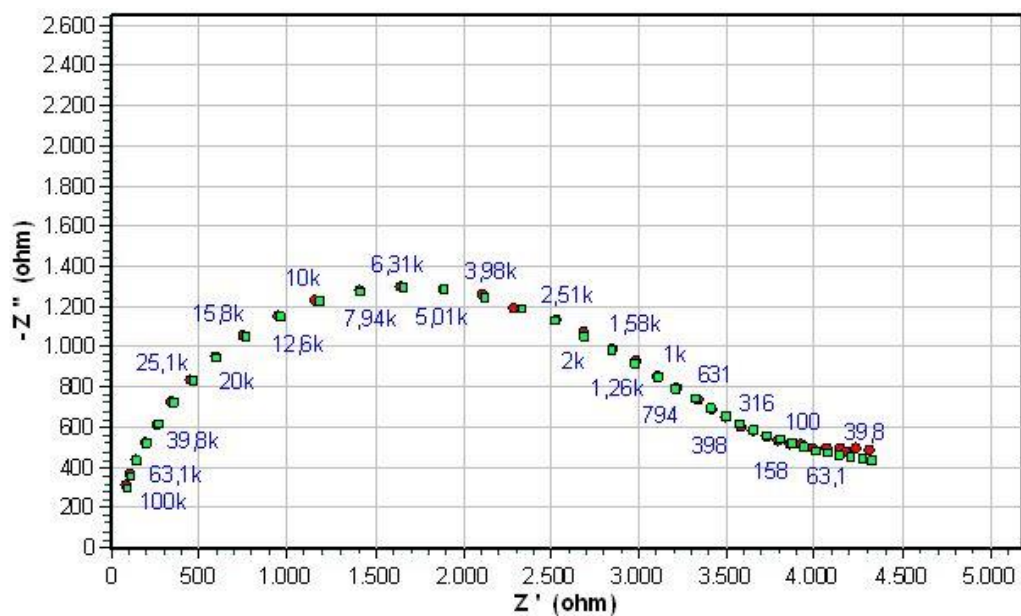
20 h ispitivanja		$R_1, \Omega\text{cm}^2$	$R_2, \Omega\text{cm}^2$	$R_3, \Omega\text{cm}^2$	CPE <sub>1</sub>		CPE <sub>2</sub>		$R, \Omega\text{cm}^2$
Chromos vodeni premaz					$Q_1, \text{F/cm}^2$	$n_1$	$Q_2, \text{F/cm}^2$	$n_2$	
2B	Pjeskareno	10	$3,851 \times 10^3$	$1,803 \times 10^3$	$3,776 \times 10^{-8}$	0,875	$3,605 \times 10^{-5}$	0,577	-
11B	Razrjeđivač	100	$2,659 \times 10^4$	$5,772 \times 10^4$	$2,479 \times 10^{-6}$	0,739	$2,180 \times 10^{-8}$	0,889	-
8B-1	414	100	$3,072 \times 10^5$	$7,484 \times 10^5$	$1,298 \times 10^{-8}$	0,882	$5,651 \times 10^{-7}$	0,741	-
5B-1	416	190,9	$2,038 \times 10^6$	$9,050 \times 10^5$	$3,775 \times 10^{-8}$	0,833	$5,320 \times 10^{-7}$	1	-
14B-1	418	$6,526 \times 10^3$	$6,339 \times 10^4$	$2,108 \times 10^6$	$1,947 \times 10^{-8}$	0,875	$1,002 \times 10^{-7}$	0,484	-

**Tablica 55. Rezultati EIS-a za Chromos vodeni premaz (veća koncentracija inhibitora korozije) nakon 168 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl**

168 h ispitivanja		$R_1, \Omega\text{cm}^2$	$R_2, \Omega\text{cm}^2$	$R_3, \Omega\text{cm}^2$	CPE <sub>1</sub>		CPE <sub>2</sub>		$W, \Omega\text{cm}^2$	$R, \Omega\text{cm}^2$
Chromos vodeni premaz					$Q_1, \text{F/cm}^2$	$n_1$	$Q_2, \text{F/cm}^2$	$n_2$		
2B	Pjeskareno	11,2	$3,599 \times 10^4$	30,5	$3,822 \times 10^{-2}$	0,8	$2,940 \times 10^{-5}$	0,8	$1,433 \times 10^{-6}$	-
11B	Razrjeđivač	1	$2,412 \times 10^3$	$7,322 \times 10^3$	$1,334 \times 10^{-7}$	0,8	$5,33 \times 10^{-4}$	0,8	-	-
8B-1	414	100	$2,79 \times 10^3$	$1,49 \times 10^3$	$1,096 \times 10^{-5}$	0,608	$3,188 \times 10^{-8}$	0,867	$3,968 \times 10^{-4}$	-
5B-1	416	100	$2,084 \times 10^5$	$5,514 \times 10^5$	$3,160 \times 10^{-8}$	0,882	$2,355 \times 10^{-6}$	0,31	-	-
14B-1	418	319,8	$8,461 \times 10^4$	$4,621 \times 10^4$	$2,576 \times 10^{-8}$	0,887	$1,341 \times 10^{-5}$	0,358	-	-

Na temelju dobivenih rezultata vidljivo je da se otpor kod uzoraka pripremljenih klasičnim metodama pripreme površine nakon 168 h smanjuje dok uzorci pripremljeni pomoću inhibitora korozije pokazuju približno iste vrijednosti. Na završetku ispitivanja uočena je pojava mjehura i korodiranje kod uzoraka pripremljenih pomoću inhibitora korozije, dok se kod ispitivanja s manjom koncentracijom inhibitora takva promjena nije dogodila.

Na slici 72 dan je reprezentativni primjer Nyquistovog dijagrama dobiven ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću čistača s većom koncentracijom inhibitora VpCI-414, nakon 168 h izlaganja.



**Slika 72. Nyquistov dijagram za Chromos vodeni premaz, dobiven ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću čistača s većom koncentracijom inhibitorom VpCI-414, nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl**

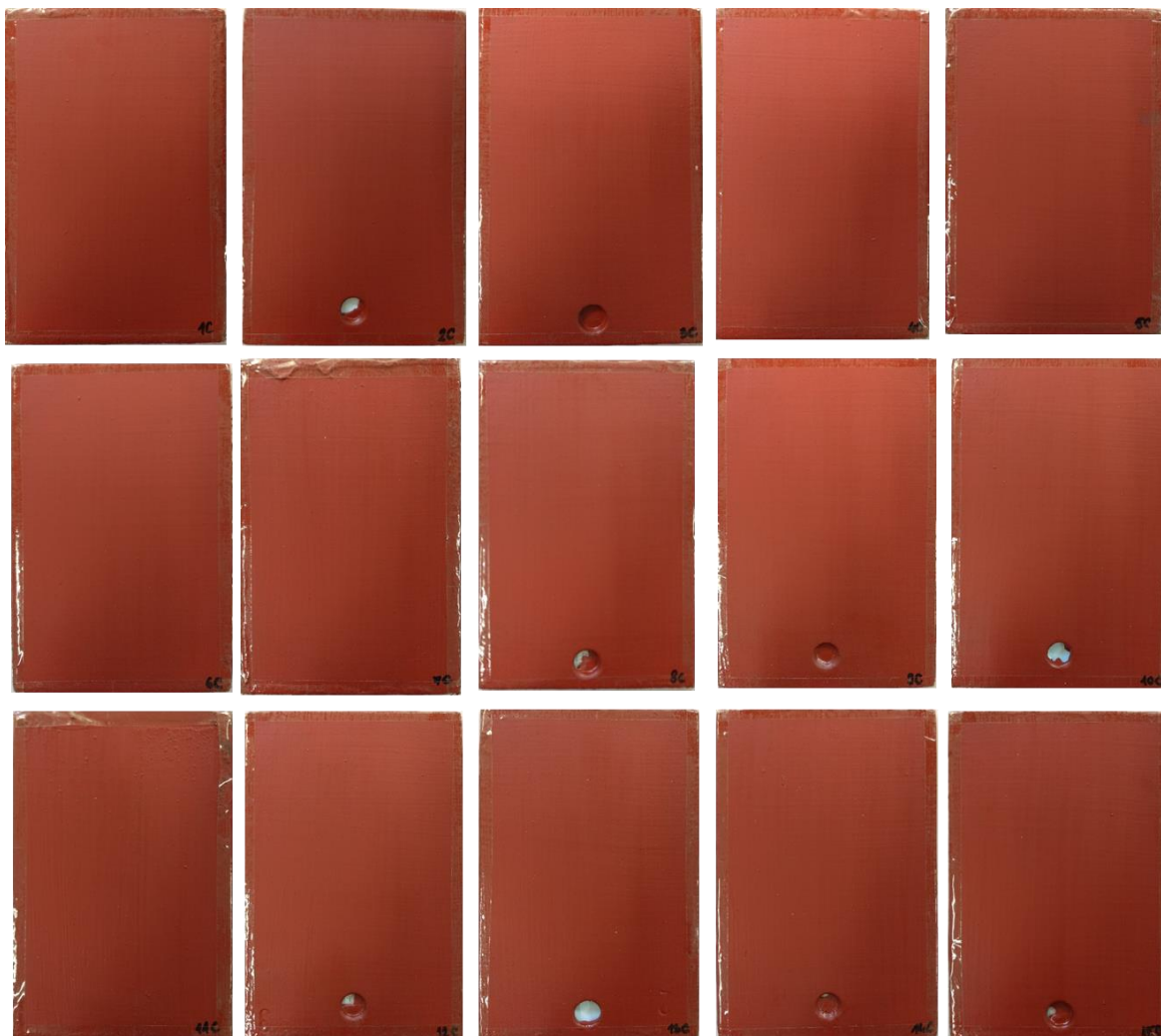


## 8.5. Ispitivanje epoksidnih premaza

Prije nanošenja epoksidnih premaza uzorci su se pripremili na isti način kako je opisano u prethodnim poglavljima. Kod uzoraka premazanih Chromosovim premazom (KEMEPOX BTS) korištena je manja koncentracija inhibitora korozije – 10 ml inhibitora u 100 ml vode. Kod uzoraka premazanih VpCI-2026 premazom korištena je veća koncentracija inhibitora korozije – 50 ml inhibitora u 50 ml vode.

### 8.5.1. Chromos epoksi premaz (KEMEPOX BTS)

Chromos epoksi premaz se sastoji od dvije komponente koje su se miješale u volumnom omjeru 7:1. Komponente su se ulile u čašu i miješale ručno, dok se nije postigla homogena smjesa. Premaz se pustio da odstoji 15 min kako bi se sve komponente povezale i zatim je apliciran na površinu pripremljenih uzoraka. Premazani uzorci su prikazani na slici 73.



### Slika 73. Uzorci premazani Chromos epoksi premazom

#### 8.5.1.1. Debljina suhog filma premaza KEMEPOX

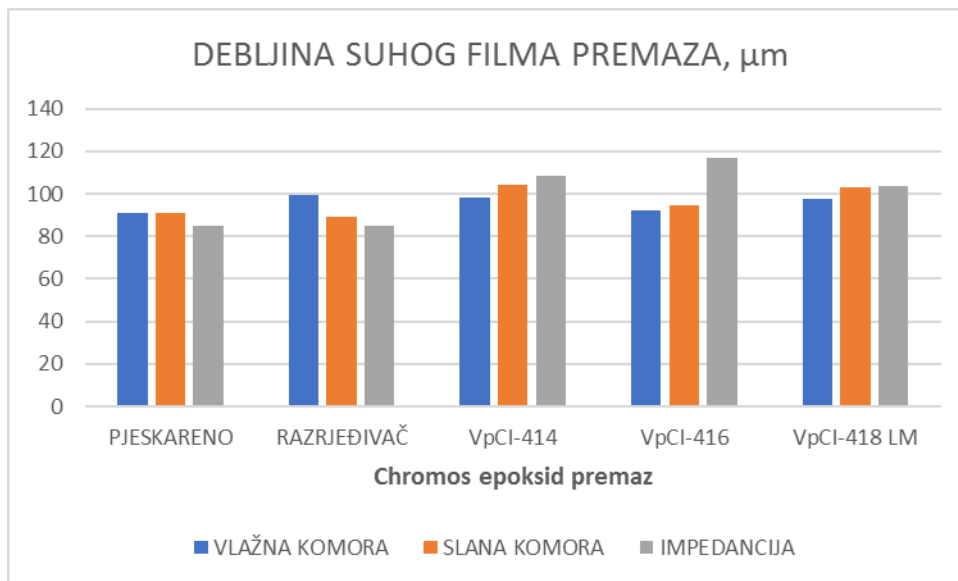
Zbog svojih karakteristika, apliciranjem epoksidnog premaza postiže se veća debljina suhog filma s manjim brojem nanešenih slojeva. Nastojala se postići debljina premaza od oko 100  $\mu\text{m}$ . Rezultati ispitivanja pokazali su rasipanje vrijednosti u rasponu  $\pm 20 \mu\text{m}$ , što se smatra prihvatljivim.

Mjerenje debljine suhog filma se provodilo pomoću uređaja Elcometer 456. Mjerenje je provedeno u deset točaka. Srednja vrijednost mjerenja te minimalna i maksimalna izmjerena vrijednost za svaki uzorak su prikazane u tablici 56.

Tablica 56. Debljina suhog filma Chromos epoksi premaza

	UZORAK	$\bar{x}$ , $\mu\text{m}$	min., $\mu\text{m}$	max., $\mu\text{m}$
PJESKARENO	1C	91,17	81,50	97,50
	2C	90,98	72,40	104,00
	3C	84,81	71,20	100,00
VpCI-416	4C	85,00	74,30	95,10
	5C	89,07	72,90	99,40
	6C	99,35	86,10	114,00
VpCI-414	7C	104,00	88,10	121,00
	8C	108,20	99,40	128,00
	9C	98,39	83,80	114,00
RAZRJEĐIVAČ	10C	92,41	70,40	113,00
	11C	116,90	99,30	134,00
	12C	94,41	82,50	112,00
VpCI-418 LM	13C	103,00	86,00	118,00
	14C	97,72	81,90	118,00
	15C	103,80	83,30	131,00

Uzorci su grupirani prema vrsti ispitivanja kojoj su namijenjeni, kako je prikazano na slici 74.



Slika 74. Debljina suhog filma Chromos epoksi premaza prema ispitivanjima

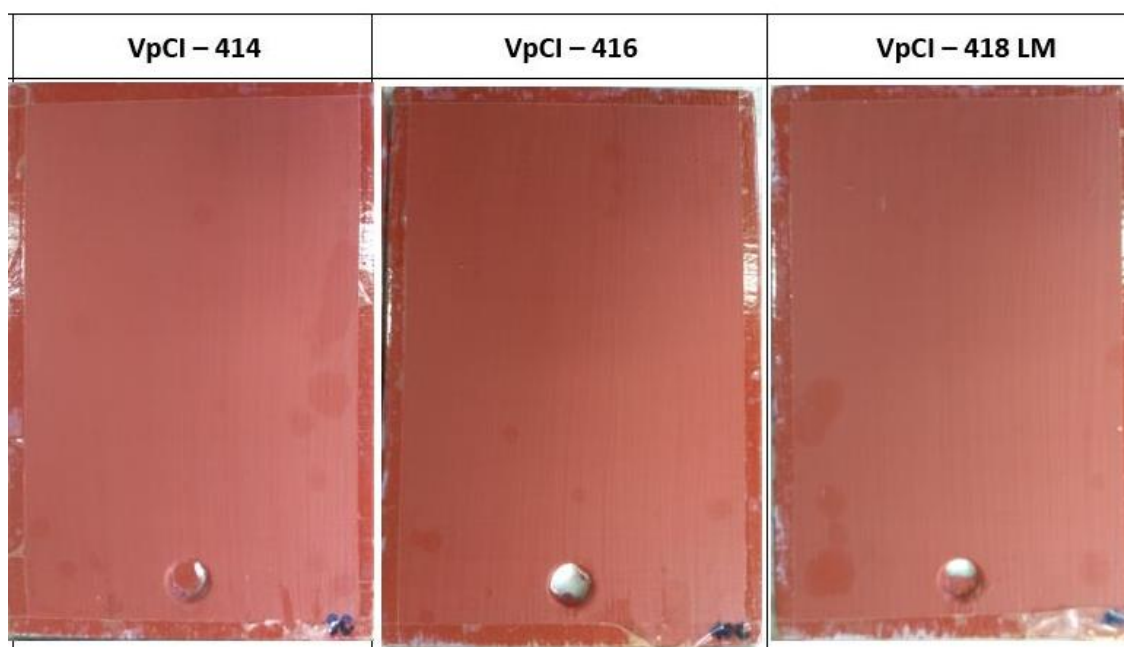
8.5.1.2. Vlažna komora – KEMEPOX premaz

Nakon pripreme uzoraka za daljnja ispitivanja, postavljeni su na stalak i stavljeni u vlažnu komoru na 96 h (4 dana). Uzorci u vlažnoj komori su prikazani na slici 75. Nakon 96 h ispitivanja na uzorcima nije bilo vidljivih promjena pa su ostavljeni u vlažnoj komori na jos 96 h (4 dana).



**Slika 75. Uzorci premazani Chromos epoksi premazom – vlažna komora**






Nakon 192 h ispitivanja uzorci su izvađeni iz vlažne komore (prikazano na slici 76). Nakon vađenja iz vlažne komore ispitivala se prionjivost premaza i ocjenio stupanj propadanja premaza.




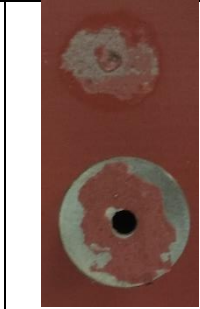
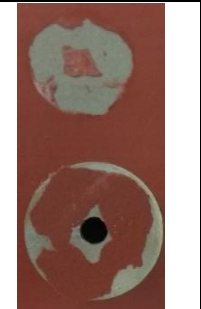

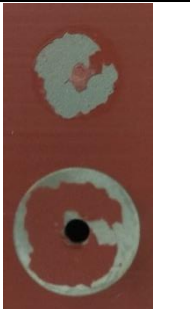
**Slika 76. Uzorci premazani Chromos epoksi premazom nakon 192 h ispitivanja u vlažnoj komori**

Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice prikazani su u tablici 57. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom prikazani su u tablici 58.

**Tablica 57. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos epoksi premaz**

Chromos epoksi premaz (KEMEPOX BTS)				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Ocjena rezultata Cross – cut testa prema normi ISO 2409				
0	0	1	1	1

**Tablica 58. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u vlažnoj komori – Chromos epoksi premaz**

Chromos epoksi premaz (KEMEPOX BTS)				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Rezultati Pull-off testa prema normi ISO 4624				
6,98 MPa	7,84 MPa	3,50 MPa	1,87 MPa	2,00 MPa

Epokidni premaz pokazuje znatno bolje rezultate ispitivanja prionjivosti zarezivanjem mrežice od akrilnih premaza. Ocjene svih uzoraka pokazuju vrijednosti Cross – cut testa 0 ili 1, što se smatra izvrsnom prionjivošću. Kod ispitivanja vlačnom metodom uočljiva je

veća razlika između uzoraka pripremljenih klasičnim metodama i onih pripremljenih pomoću inhibitora korozije. Uzorci pripremljeni pomoću inhibitora korozije pokazuju niže vrijednosti prionjivosti od uzoraka pripremljenih klasičnim metodama.

Prilikom procjene propadanja premaza ocjenjivao se stupanj mjehuranja i stupanj hrđanja. Ocjene stupnja mjehuranja i hrđanja su prikazane u tablici 59.

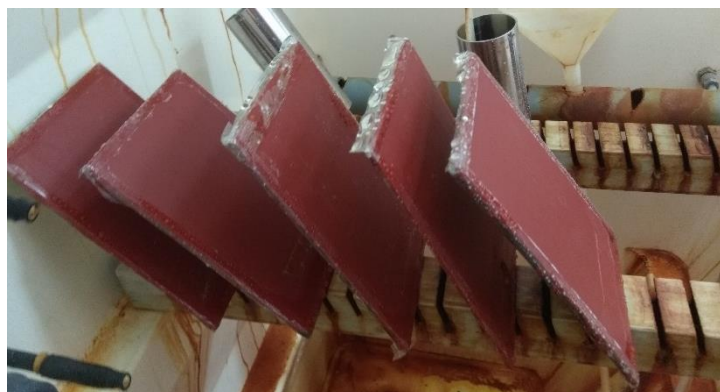
**Tablica 59. Procjena propadanja Chromos epoksi premaza nakon ispitivanja u vlažnoj komori**

		ISO 4628-2	ISO 4628-3
	UZORAK	MJEHURANJE	HRĐANJE
<b>PJESKARENO</b>	<b>2C</b>	0	Ri 0
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>5C</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-414</b>	<b>9C</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-416</b>	<b>10C</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>14C</b>	0	Ri 0

Ocjene stupnja mjehuranja i stupnja hrđanja pokazuju izvrsne rezultate kvalitete premaza kod svih uzoraka.

#### 8.5.1.3. Slana komora – KEMEPOX premaz

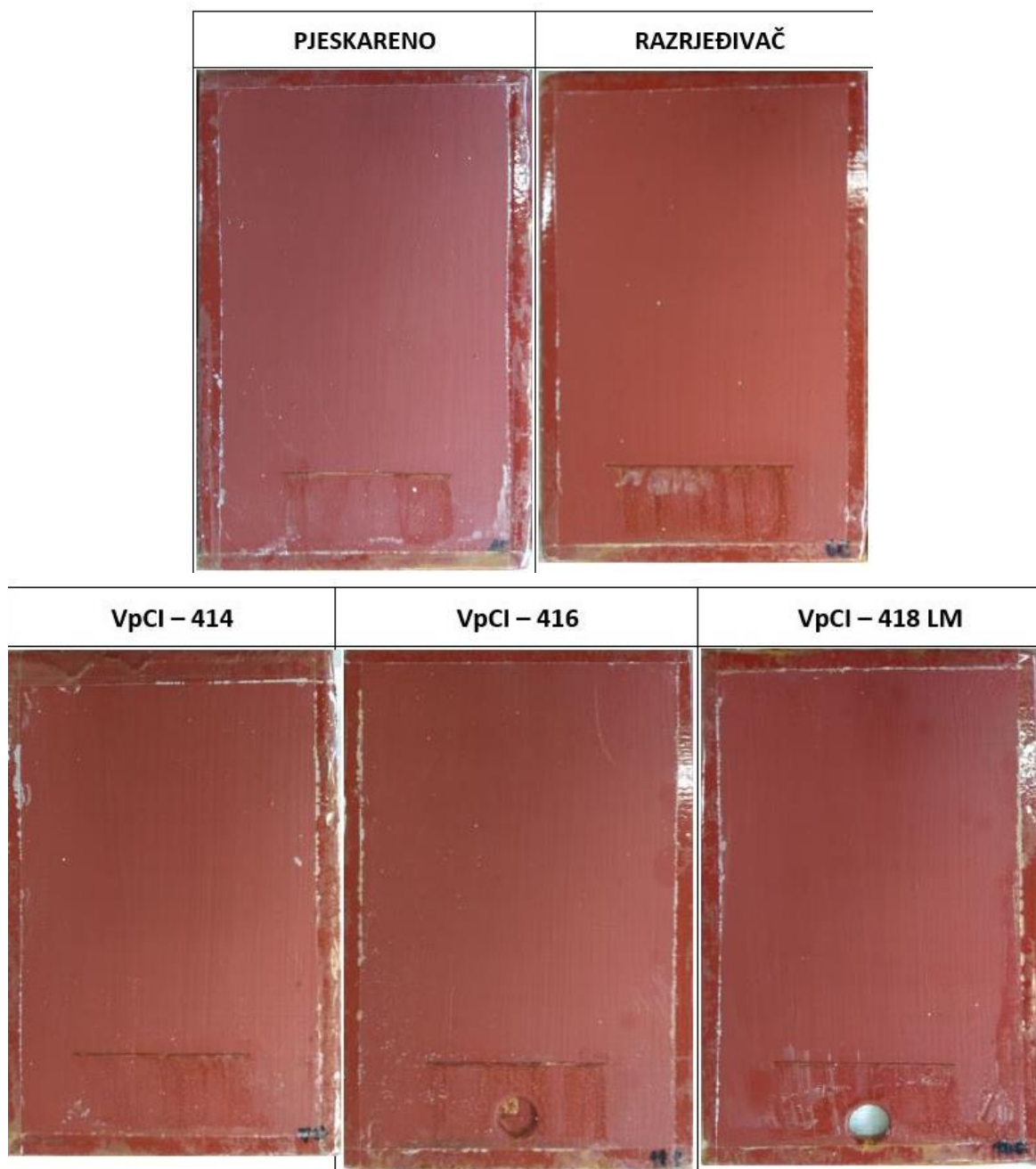
Pripremljeni uzorci su bili postavljeni na stalak i izloženi u slanu komoru na 96 h (4 dana) ispitivanja. Nakon 96 h ispitivanja, jednako kao u vlažnoj komori, nije bilo vidljivih promjena na uzorcima. Ostavljeni su na izlaganje na dodatnih 96 h. Uzorci u slanoj komori su prikazani na slici 77.





**Slika 77. Uzorci premazani Chromos epoksi premazom – slana komora**

Nakon 192 h ispitivanja uzorci su izvađeni iz slane komore (prikazano na slici 78). Nakon vađenja iz slane komore ispitivala se prionjivost premaza i ocjenio stupanj propadanja premaza.

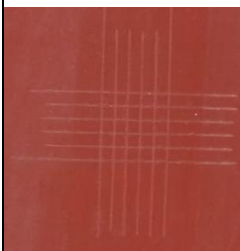
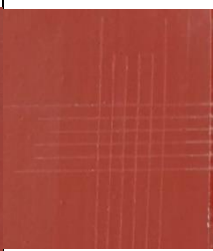
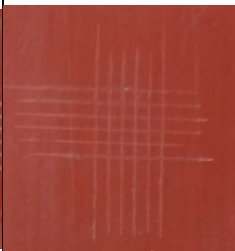

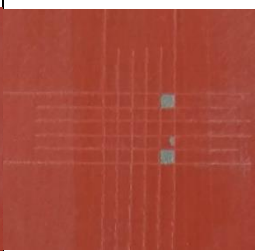


**Slika 78. Uzorci premazani Chromos epoksi premazom nakon 192 h ispitivanja u slanoj komori**



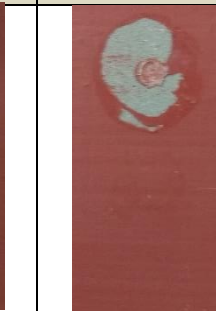
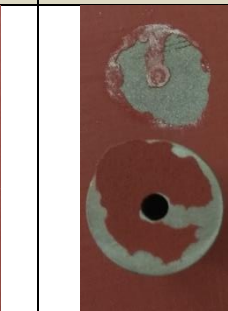
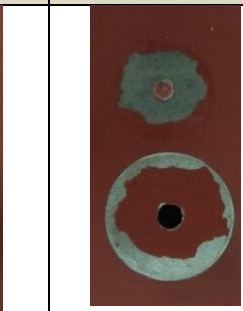


Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice prikazani su u tablici 60. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom prikazani su u tablici 61.

**Tablica 60. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u slanoj komori – Chromos epoksi premaz**

Chromos epoksi premaz (KEMEPOX BTS)				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Ocjena rezultata Cross – cut testa prema normi ISO 2409				
0	0	1	1	3

**Tablica 61. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u slanoj komori – Chromos epoksi premaz**

Chromos epoksi premaz (KEMEPOX BTS)				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Rezultati Pull-off testa prema normi ISO 4624				
5,06 MPa	5,01 MPa	2,98 MPa	2,12 MPa	0,75 MPa

Rezultati prionjivosti dobiveni u slanoj komori su lošiji nego oni dobiveni u vlažnoj komori. Najveća promjena je vidljiva kod uzorka pripremljenog s inhibitorom VpCI-418 LM, gdje

je ocjena prionjivosti 3. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom također su lošiji nego oni dobiveni u vlažnoj komori. Najveća razlika prionjivosti je utvrđena kod uzorka pripremljenog s inhibitorom VpCI-418 LM.

Prilikom procjene propadanja premaza ocjenjivao se stupanj mjehuranja, stupanj hrđanja i stupanj korozije oko ureza. Ocjene stupnja mjehuranja i hrđanja su prikazane u tablici 62.

**Tablica 62. Procjena propadanja Chromos epoksi premaza nakon ispitivanja u slanoj komori**

	UZORAK	ISO 4628-2	ISO 4628-3
		MJEHURANJE	HRĐANJE
<b>PJESKARENO</b>	<b>1C</b>	0	Ri 0
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>6C</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-414</b>	<b>7C</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-416</b>	<b>12C</b>	0	Ri 0
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>13C</b>	0	Ri 0

Ocjene stupnja mjehuranja i stupnja hrđanja pokazuju izvrsne rezultate kvalitete premaza kod svih uzoraka.

Mjerenje stupnja korozije oko ureza ponovljeno je osam puta za svaki urez. Na temelju dobivenih mjerenja izračunala se aritmetička sredina svih mjerenja  $c$  i prema jednadžbi (1) izračunata ocjena stupnja korozije  $M$ . Premaz zadovoljava uvjete kvalitete ako je vrijednost  $M$  manja od 1 mm. Vrijednosti su prikazane u tablicama 63 i 64.

**Tablica 63. Vrijednosti mjerenja korozije oko ureza – Chromos epoksidni premaz**

	UZORAK	MJERENJA, mm							
		1	2	3	4	5	6	7	8
<b>PJESKARENO</b>	<b>1C</b>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>6C</b>	1	0,4	1	0,6	0,4	0,6	0,8	0,8
<b>VpCI-414</b>	<b>7C</b>	0,6	0,4	1,4	0,4	1,6	1,2	1	1,4
<b>VpCI-416</b>	<b>12C</b>	3,2	1,8	2	1	2,2	1	1	1
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>13C</b>	3	4	5	6	8	5,6	4,2	6

Tablica 64. Stupanj korozije oko ureza – Chromos epoksidni premaz

	UZORAK	c, mm	w, mm	M
PJESKARENO	1C	0,4	0,2	0,1
RAZRJEĐIVAČ	6C	0,7		0,25
VpCI-414	7C	1		0,4
VpCI-416	12C	1,65		0,725
VpCI-418 LM	13C	5,225		<b>2,5125</b>

Uzorci pripremljeni klasičnim metodama pokazuju niske vrijednosti korozije oko ureza. Uzorci pripremljeni pomoću inhibitora korozije pokazuju više vrijednosti stupnja korozije oko ureza. Najvišu vrijednost pokazuje inhibitor VpCI-418 LM koji ne zadovoljava uvjete zadane normom.

#### 8.5.1.4. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija – KEMEPOX premaz

Premazi su izloženi 3,5 %-tnoj otopini NaCl i mjerenja su provedena nakon 20 h, 96 h i 168 h izlaganja. Ispitivanja su provedena pri sobnoj temperaturi prema parametrima zadanim u tablici 20. Nakon 20 h izlaganja otopini nije došlo do prodiranja vode u prevlaku te se nisu mogle ispitati vrijednosti otpora premaza. Iz tog razloga je iduće ispitivanje provedeno nakon 96 h. Obradeni podaci nakon 96 h i 168 h izlaganja otopini su prikazani u tablicama 65 i 66.

Tablica 65. Rezultati EIS-a za Chromos epoksi premaz nakon 96 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl

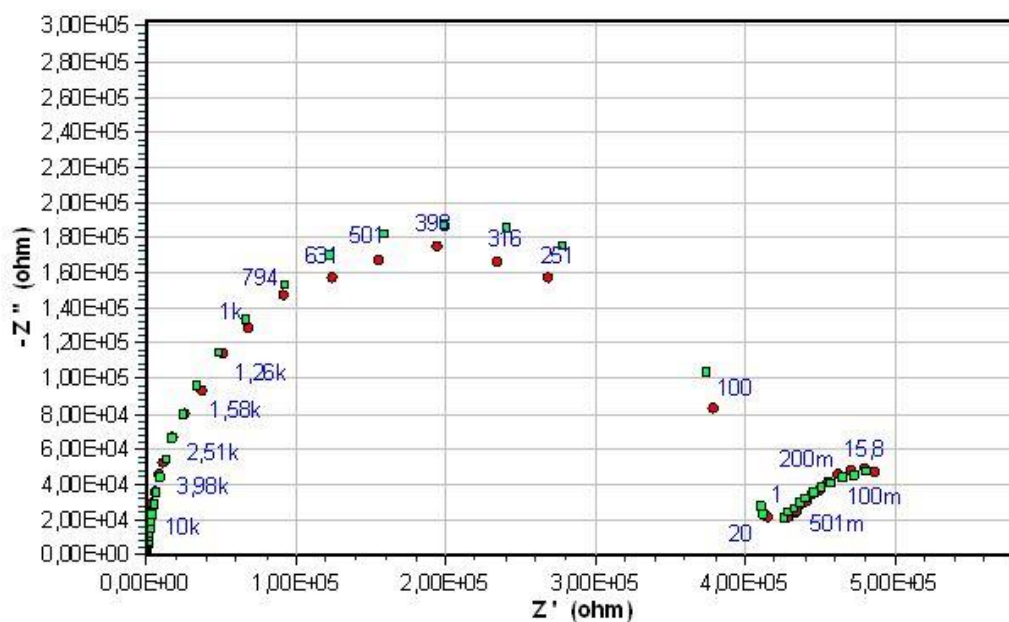
96 h ispitivanja		$R_1, \Omega\text{cm}^2$	$R_2, \Omega\text{cm}^2$	$R_3, \Omega\text{cm}^2$	CPE <sub>1</sub>		CPE <sub>2</sub>		R, $\Omega\text{cm}^2$
Chromos epoksi premaz					$Q_1, \text{F/cm}^2$	$n_1$	$Q_2, \text{F/cm}^2$	$n_2$	
3C	Pjeskareno	126,1	$6,356 \times 10^5$	-	$1,091 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
4C	Razrjeđivač	134,7	$2,941 \times 10^5$	-	$1,331 \times 10^{-6}$	-	-	-	-
8C	414	100	$4,117 \times 10^5$	$1,583 \times 10^5$	$1,588 \times 10^{-9}$	0,94	$1,057 \times 10^{-5}$	0,69	-
11C	416	186,2	$1,339 \times 10^6$	-	$8,525 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
15C	418	162,4	$1,271 \times 10^6$	-	$8,364 \times 10^{-10}$	-	-	-	-

**Tablica 66. Rezultati EIS-a za Chromos epoksi premaz nakon 168 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl**

168 h ispitivanja		$R_1, \Omega\text{cm}^2$	$R_2, \Omega\text{cm}^2$	$R_3, \Omega\text{cm}^2$	CPE <sub>1</sub>		CPE <sub>2</sub>		$R, \Omega\text{cm}^2$
Chromos epoksi premaz	$Q_1, \text{F/cm}^2$				$n_1$	$Q_2, \text{F/cm}^2$	$n_2$		
3C	Pjeskareno	562,3	$1,177 \times 10^6$	$4,0584 \times 10^5$	$1,479 \times 10^{-9}$	0,97	$1,939 \times 10^{-8}$	1	-
4C	Razrjeđivač	100	$2,092 \times 10^4$	$3,136 \times 10^5$	$1,153 \times 10^{-9}$	1	$2,96 \times 10^{-9}$	0,78	-
8C	414	100	$8,254 \times 10^4$	$4,393 \times 10^5$	$9,652 \times 10^{-8}$	1	$1,426 \times 10^{-9}$	0,95	-
11C	416	188,2	$2,353 \times 10^6$	-	$7,981 \times 10^{-10}$	-	-	-	-
15C	418	127,1	$2,247 \times 10^6$	-	$7,962 \times 10^{-10}$	-	-	-	-

Na temelju dobivenih podataka vidljivo je da nema značajnih promjena otpora tijekom vremena. Razlike otpora između uzoraka pripremljenih klasičnim metodama i uzoraka pripremljenih pomoću inhibitora korozije nisu velike. Nakon ispitivanja nije došlo do pojave mjehura ni hrđanja površine.

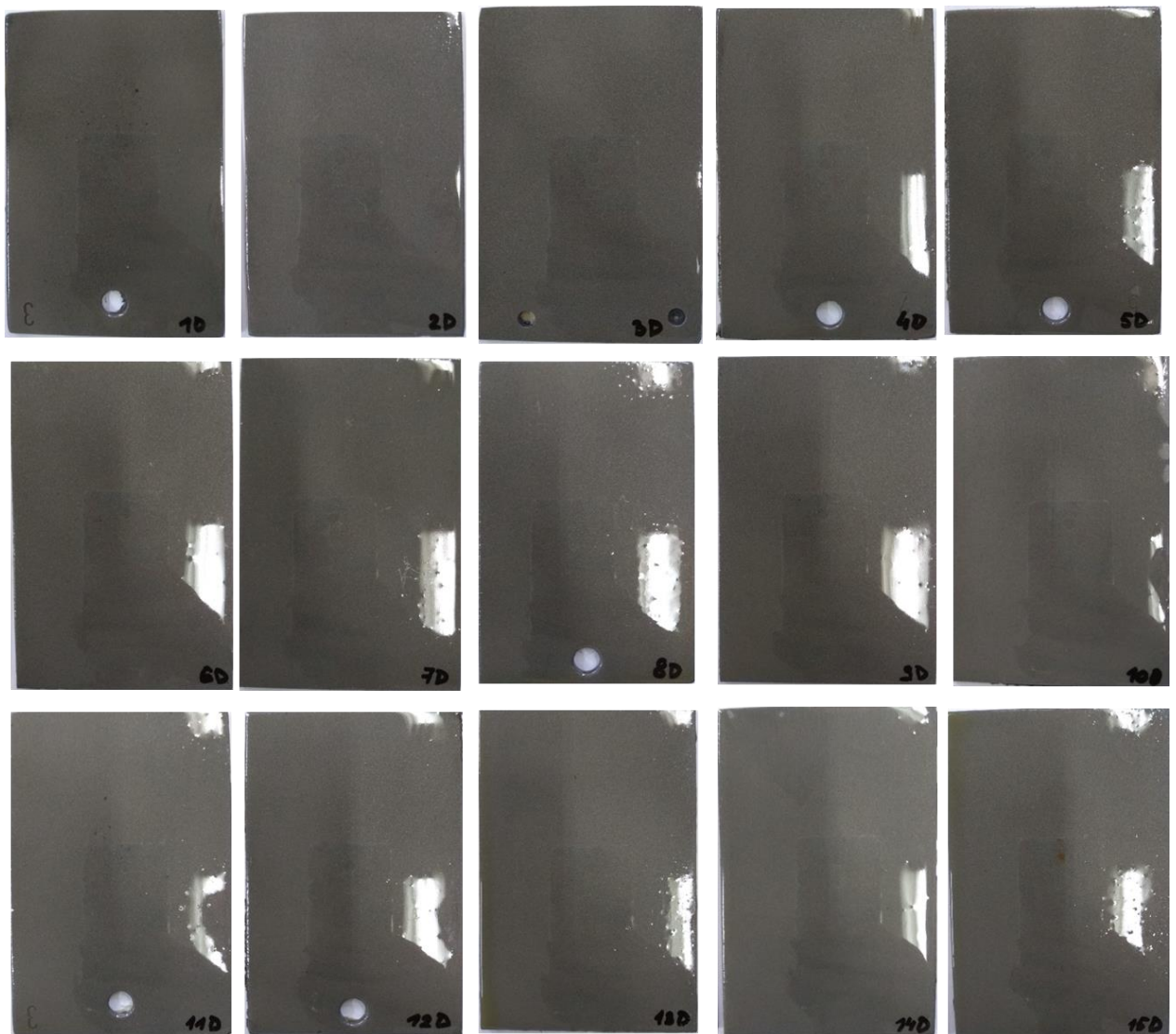
Na slici 79 prikazan je Nyquistov dijagram dobiven ispitivanjem uzorka pripremljen pomoću čistača s inhibitorom VpCI-414, nakon 96 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl.



**Slika 79. Nyquistov dijagram za Chromos epoksi premaz, dobiven ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću čistača s VpCI-414, nakon 96 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl**

### 8.5.2. Epoksidni premaz VpCI-2026

Epoksidni premaz VpCI-2026 u svom sastavu ima dodatak inhibitora korozije i čine ga dvije komponente, baza i otvrdnjivač. Ručnim miješanjem komponenti, u volumenskom omjeru 1:1,5 dobiva se homogena smjesa jantarne boje. Premaz se aplicirao na pripremljene uzorke. Apliciranje se moralo napraviti u brzom vremenskom roku jer premaz nakon 20 – 25 min počinje stvrdnjavati (kratko radno vrijeme). Premazani uzorci su prikazani na slici 80.



Slika 80. Uzorci zaštićeni VpCI-2026 premazom prije ispitivanja

### 8.5.2.1. Debljina suhog filma premaza VpCI-2026

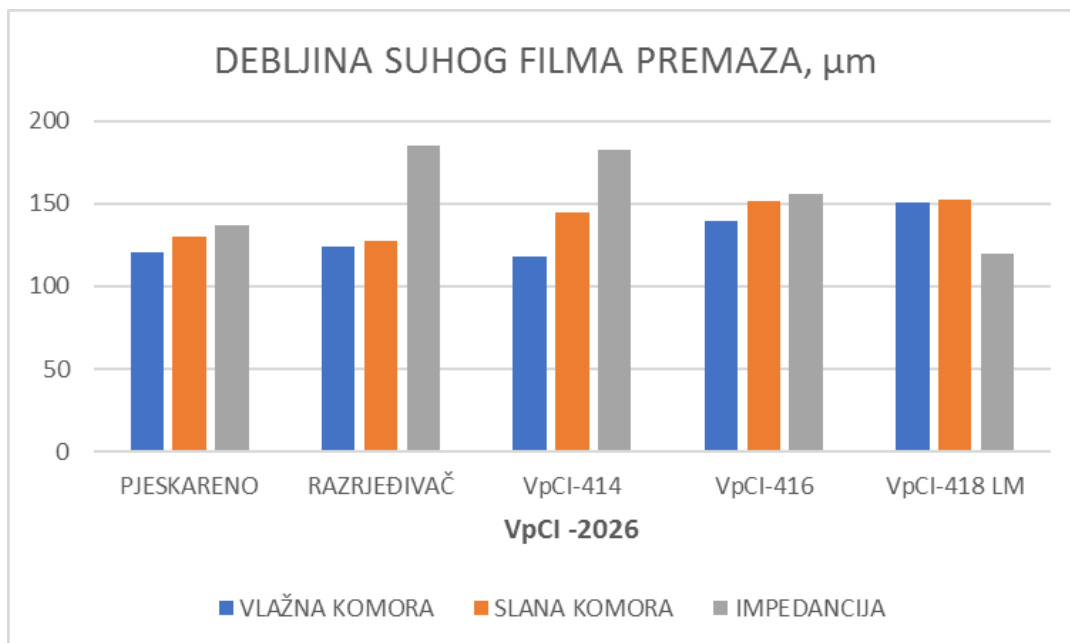
Apliciranjem epoksidnog premaza postiže se veća debljina suhog filma s manjim brojem nanešenih slojeva. Nastojala se postići debljina premaza slična onoj kod Chromosovog epoksidnog premaza, ali zbog svojih svojstava VpCI-2026 tijekom stvrdnjavanja postiže veću debljinu suhog filma premaza.

Mjerenje debljine suhog filma se provodilo pomoću uređaja Elcometer 456. Mjerenje je provedeno u deset točaka. Srednja vrijednost mjerenja te minimalna i maksimalna izmjerena vrijednost za svaki uzorak su prikazane u tablici 67.

**Tablica 67. Debljina suhog filma premaza VpCI-2026**

	UZORAK	$\bar{x}$ , $\mu\text{m}$	min., $\mu\text{m}$	max., $\mu\text{m}$
PJESKARENO	1D	129,70	117,00	160,00
	2D	120,50	68,00	170,00
	3D	136,80	108,00	168,00
RAZRJEĐIVAČ	4D	127,30	94,10	160,00
	5D	123,90	93,60	143,00
	6D	185,10	137,00	225,00
VpCI-414	7D	117,90	99,30	149,00
	8D	144,30	117,00	178,00
	9D	182,30	115,00	230,00
VpCI-416	10D	139,30	124,00	150,00
	11D	155,80	128,00	208,00
	12D	151,10	108,00	177,00
VpCI-418 LM	13D	119,50	92,30	143,00
	14D	151,90	114,00	186,00
	15D	150,80	115,00	184,00

Uzorci su grupirani prema vrsti ispitivanja kojoj su namijenjeni, kako je prikazano na slici 81.



**Slika 81. Debljina suhog filma premaza VpCI-2026 prema ispitivanjima**

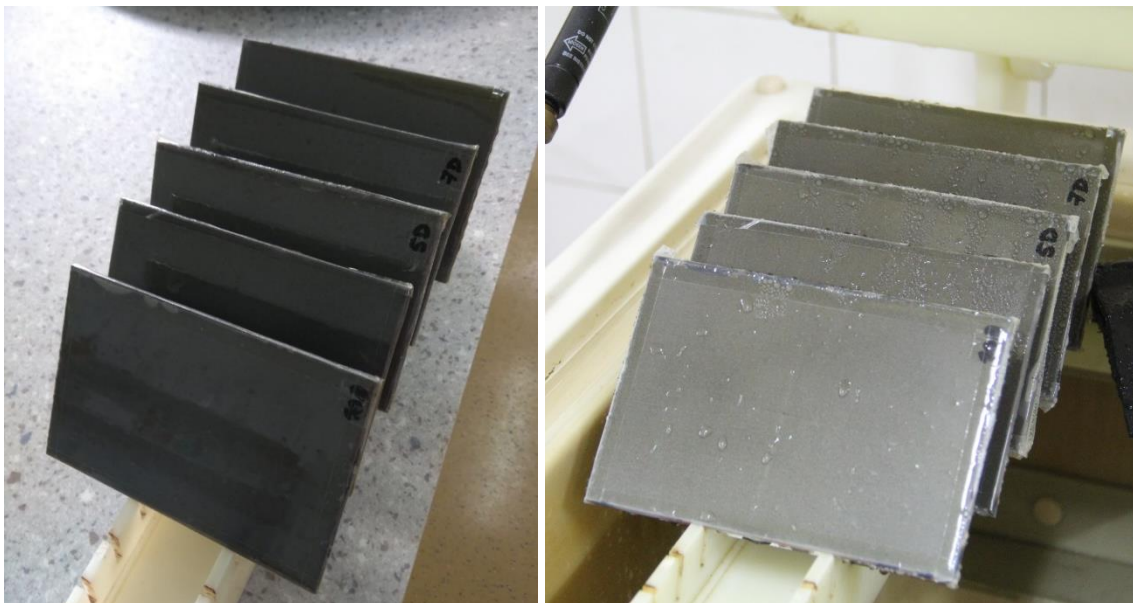
Uzorci su grupirani tako da su niže vrijednosti debljina, približno sličnih vrijednosti, namijenjene za ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori. Uzorci čije su se debljine premaza znatnije razlikovale uzeti su za elektrokemijska ispitivanja. Aplikiranje boje kistom nastaje premaz nejednolike debljine, gdje mjerenje na zadebljanom dijelu filma može rezultirati većom vrijednošću. Zbog toga se srednja vrijednost debljine suhog filma jednog uzorka može znatno razlikovati od ostalih. Najbolji primjer navedenog je kod uzoraka 6D, 9D i 11D (crveno zaokruženo u tablici 67). Kod elektrokemijskog ispitivanja, ispitne čaše su pozicionirane tako da se izbjegne deblji dio premaza koji utječe na ukupno povećanje srednje vrijednosti.



### 8.5.2.2. Vlažna komora – premaz VpCI-2026

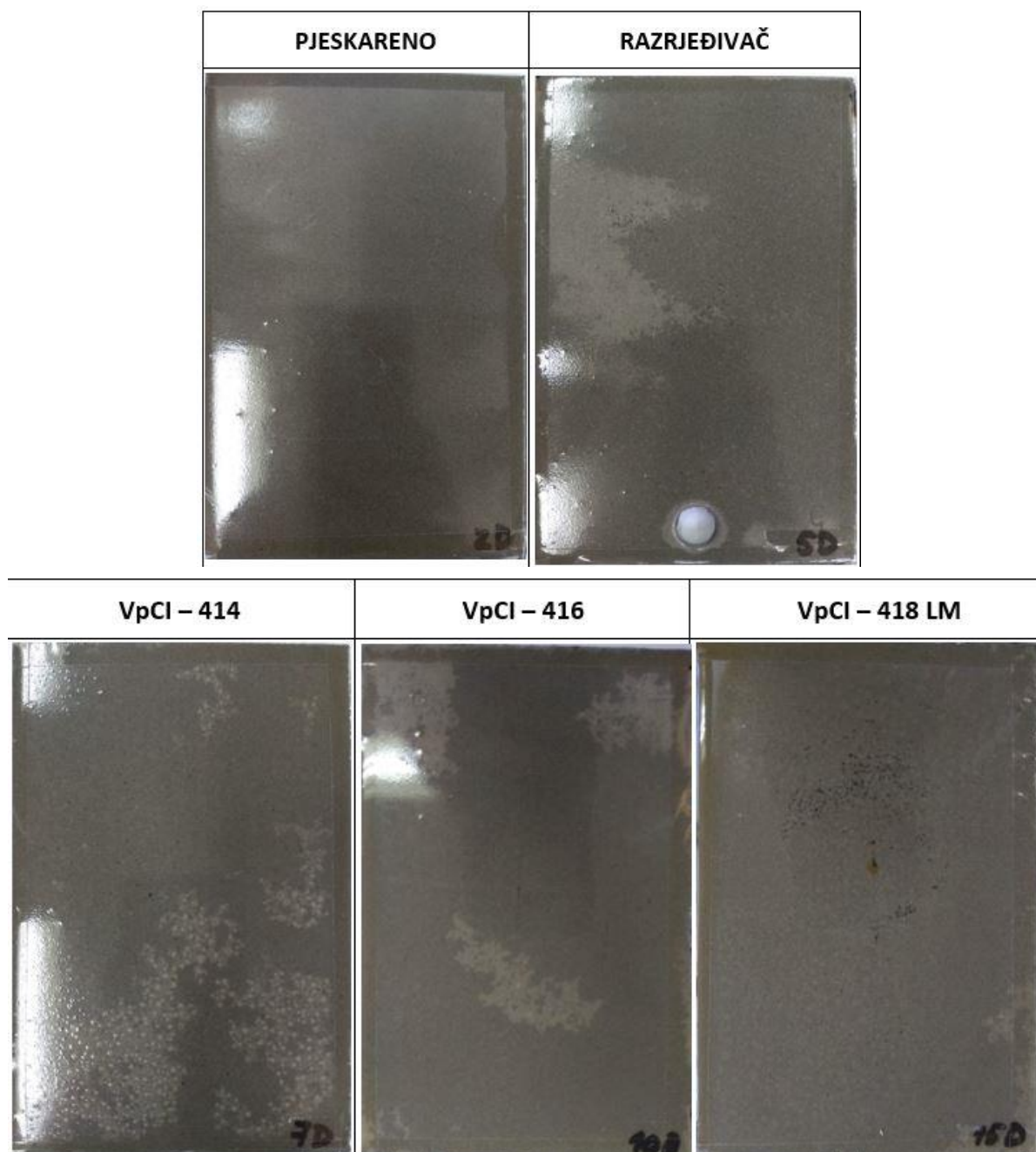
Nakon pripreme uzoraka za daljnja ispitivanja, postavljeni su na stalak i stavljeni u vlažnu komoru na 96 h (4 dana). Uzorci u vlažnoj komori su prikazani na slici 82. Nakon 96 h ispitivanja na uzorcima nije bilo vidljivih promjena, prikazano na slici 82 desno.

Ostavljani su u vlažnoj komori na još 96 h (4 dana).



**Slika 82. Uzorci premazani VpCI-2026 – vlažna komora (lijevo – prije ispitivanja, desno – nakon 96 h ispitivanja)**

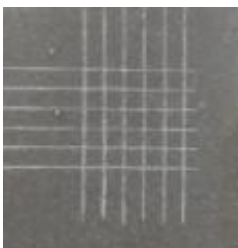
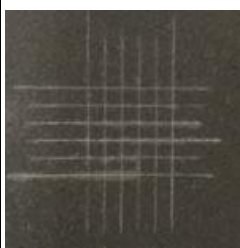
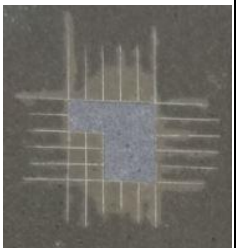
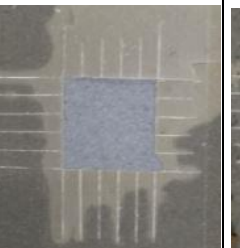
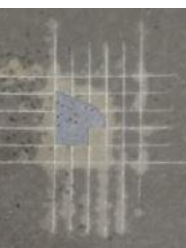
Nakon 192 h ispitivanja, uzorci su izvađeni iz vlažne komore i provedena su ispitivanja prionjivosti i ocjenjen je stupanj propadanja premaza. Uzorci nakon 192 h ispitivanja u vlažnoj komori prikazani su na slici 83.








**Slika 83. Uzorci premazani VpCI-2026 premazom nakon 192 h ispitivanja u vlažnoj komori**

Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice prikazani su u tablici 68, a rezultati prionjivosti vlačnom metodom prikazani su u tablici 69.

**Tablica 68. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u vlažnoj komori – VpCI-2026 premaz**

VpCI – 2026 premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Ocjena rezultata Cross – cut testa prema normi ISO 2409				
0	1	5	5	5

**Tablica 69. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u vlažnoj komori – VpCI-2026 premaz**

VpCI – 2026 premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Rezultati Pull-off testa prema normi ISO 4624				
2,98 MPa	6,68 MPa	1,18 MPa	0,80 MPa	1,66 MPa

Rezultati prionjivosti nakon ispitivanja u vlažnoj komori pokazuju da uzorci odmašćeni pomoću čistača s inhibitorom korozije imaju vrlo slabu prionjivost premaza. Rezultati dobiveni kod uzoraka čija je površina bila pripravljena pomoću čistača s inhibitorom korozije su nepovoljniji nego rezultati dobiveni kod uzoraka pripremljenih klasičnim metodama. Obje metode ispitivanja prionjivosti pokazale su da čistači s inhibitorom korozije nisu učinkoviti u uvjetima vlažne komore. Uzorci pripremljeni pomoću čistača s inhibitorom korozije pokazuju niže vrijednosti prionjivosti od uzoraka pripremljenih klasičnim metodama.

Najbolje rezultate prionjivosti pokazuju uzorci pripremljeni pomoću razrjeđivača.

Prilikom procjene propadanja premaza ocjenjivao se stupanj mjehuranja i stupanj hrđanja. Ocjene stupnja mjehuranja i hrđanja su prikazane u tablici 70.

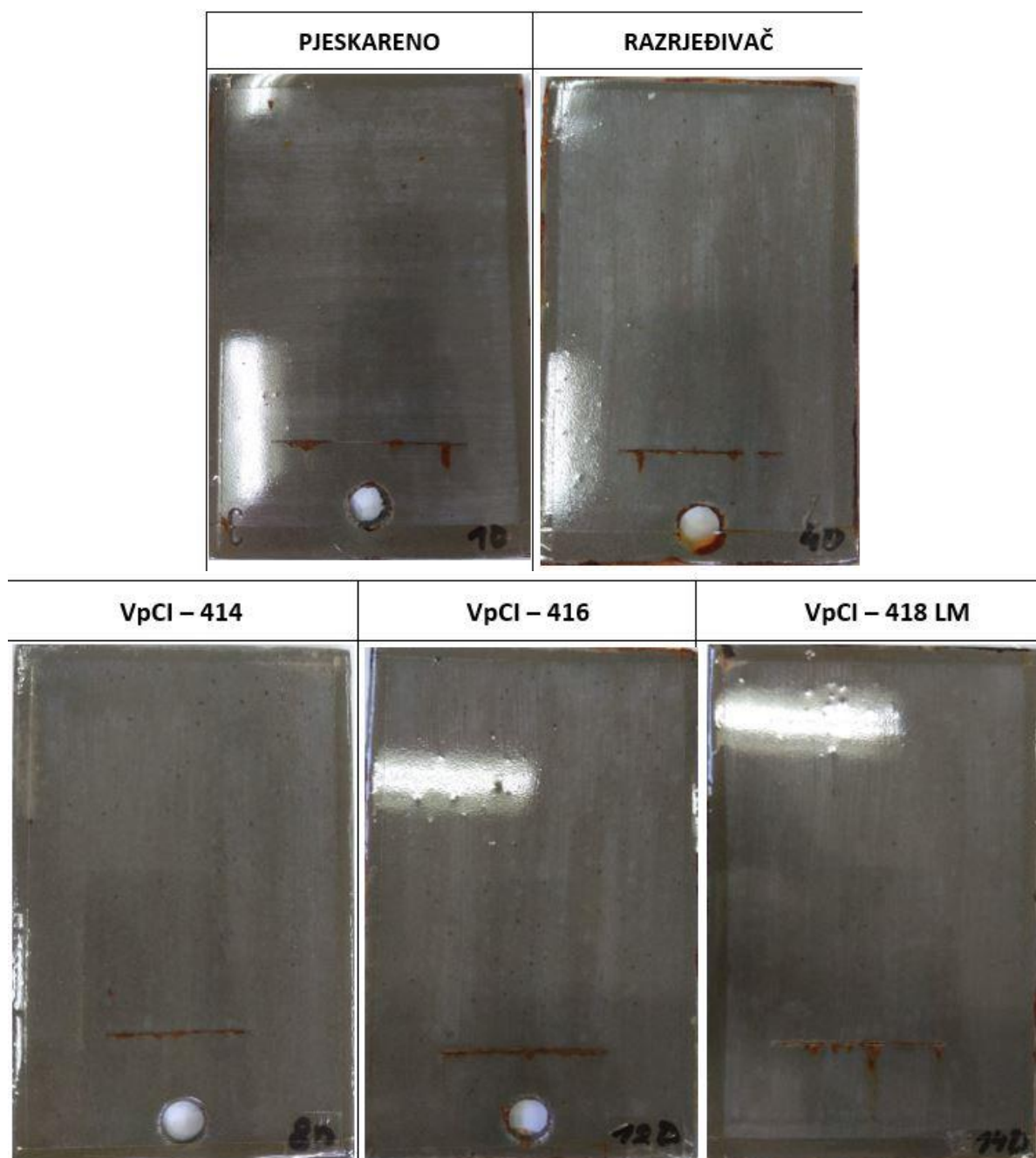
**Tablica 70. Procjena propadanja VpCI-2026 premaza nakon ispitivanja u vlažnoj komori**

		ISO 4628-2	ISO 4628-3
	UZORAK	MJEHURANJE	HRĐANJE
<b>PJESKARENO</b>	<b>2D</b>	0	Ri 0
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>5D</b>	2 (S2)	Ri 0
<b>VpCI-414</b>	<b>7D</b>	3 (S3)	Ri 0
<b>VpCI-416</b>	<b>10D</b>	2 (S2)	Ri 0
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>15D</b>	2 (S2)	Ri 0

Ocjene hrđanja pokazuju izvrsne rezultate, dok ocjene mjehuranja pokazuju da je došlo do pojave mjehura na uzorcima odmašćenima razrjeđivačem ili čistačima s inhibitorima. Najnegativniji rezultat mjehuranja pokazuje uzorak pripremljen pomoću inhibitora VpCI-414 gdje je došlo do pojave mjehura stupnja S3.

### 8.5.2.3. Slana komora – premaz VpCI-2026

Pripremljeni uzorci su bili postavljeni na stalak i izloženi u slanu komoru na 96 h (4 dana) ispitivanja. Nakon 96 h ispitivanja, jednako kao u vlažnoj komori, nije bilo vidljivih promjena na uzorcima. Ostavljeni su na izlaganje na dodatnih 96 h. Uzorci u slanoj komori su prikazani na slici 84.

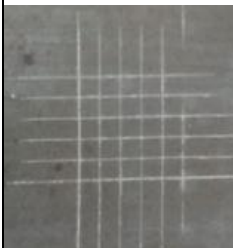

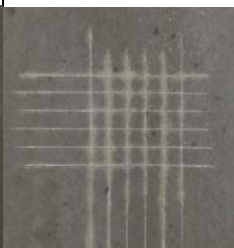
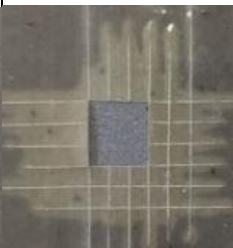



Slika 84. Uzorci premazani VpCI-2026 premazom nakon 192 h ispitivanja u slanoj komori








Prionjivost premaza se ispitivala metodom zarezivanja mrežice i vlačnom metodom. Rezultati prionjivosti dobiveni metodom zarezivanja mrežice prikazani su u tablici 71, a rezultati prionjivosti vlačnom metodom prikazani su u tablici 72.

**Tablica 71. Rezultati prionjivosti metodom zarezivanja mrežice nakon ispitivanja u slanoj komori – VpCI-2026 premaz**

VpCI-2026 premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Ocjena rezultata Cross – cut testa prema normi ISO 2409				
0	0	0	5	1

**Tablica 72. Rezultati prionjivosti vlačnom metodom nakon ispitivanja u slanoj komori – VpCI-2026 premaz**

VpCI-2026 premaz				
Pjeskareno	Razrjeđivač	VpCI – 414	VpCI – 416	VpCI – 418 LM
				
Rezultati Pull-off testa prema normi ISO 4624				
3,74 MPa	5,36 MPa	4,29 MPa	0,63 MPa	1,62 MPa

Rezultati prionjivosti dobiveni nakon ispitivanja u slanoj komori su znatno bolji nego oni dobiveni u vlažnoj komori. Vrijednosti dobivene Cross-cut testom pokazuju izvrsne rezultate. Jednake rezultate pokazuje i Pull-off test gdje su vrijednosti tlakova znatno više u usporedbi s vlažnom komorom. Najlošije rezultate pokazuje uzorak pripremljen pomoću čistača s inhibitorom VpCI-416, gdje je došlo do potpunog odvajanja premaza uz vrlo niske vrijednosti tlaka.

Prilikom procjene propadanja premaza ocjenjivao se stupanj mjehuranja, stupanj hrđanja i stupanj korozije oko ureza. Ocjene stupnja mjehuranja i hrđanja su prikazane u tablici 73.

**Tablica 73. Procjena propadanja VpCI-2026 premaza nakon ispitivanja u slanoj komori**

		ISO 4628-2	ISO 4628-3
	UZORAK	MJEHURANJE	HRĐANJE
<b>PJESKARENO</b>	<b>1D</b>	2 (S2)	Ri 0
<b>RAZRJEĐIVAČ</b>	<b>4D</b>	2 (S2)	Ri 0
<b>VpCI-414</b>	<b>8D</b>	2 (S2)	Ri 0
<b>VpCI-416</b>	<b>12D</b>	2 (S2)	Ri 0
<b>VpCI-418 LM</b>	<b>14D</b>	2 (S2)	Ri 0

Ocjene stupnja hrđanja pokazuju izvrsne rezultate kvalitete premaza kod svih uzoraka. Ocjene stupnja mjehuranja su jednake kod svih uzoraka i pokazuju da je došlo do mjestimične pojave sitnih mjehurića.

Mjerenje stupnja korozije oko ureza ponovljeno je osam puta za svaki urez. Na temelju dobivenih mjerenja izračunala se aritmetička sredina svih mjerenja  $c$  i prema jednadžbi (1) izračunata ocjena stupnja korozije  $M$ . Premaz zadovoljava uvjete kvalitete ako je vrijednost  $M$  manja od 1 mm. Vrijednosti su prikazane u tablicama 74 i 75.



Tablica 74. Vrijednosti mjerenja korozije oko ureza – VpCI-2026 premaz

		MJERENJA, mm							
	UZORAK	1	2	3	4	5	6	7	8
PJESKARENO	1D	0,4	0,4	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4
RAZRJEĐIVAČ	4D	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4
VpCI-414	8D	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4
VpCI-416	12D	0,4	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2
VpCI-418 LM	14D	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4

Tablica 75. Stupanj korozije oko ureza – VpCI-2026 premaz

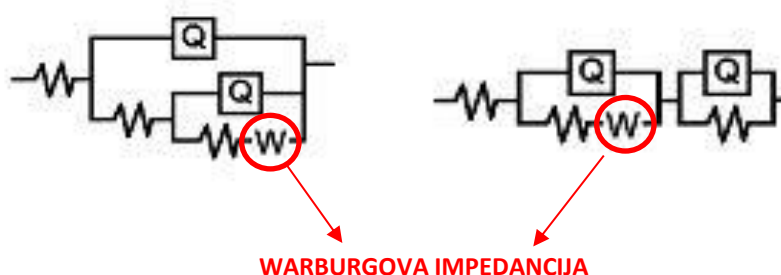
	UZORAK	c, mm	w, mm	M
PJESKARENO	1D	0,35	0,2	0,075
RAZRJEĐIVAČ	4D	0,43		0,113
VpCI-414	8D	0,43		0,113
VpCI-416	12D	0,28		0,038
VpCI-418 LM	14D	0,33		0,063

Svi uzorci zadovoljavaju uvjete zadane normom HRN EN ISO 4628-8.

8.5.2.4. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija – premaz VpCI-2026

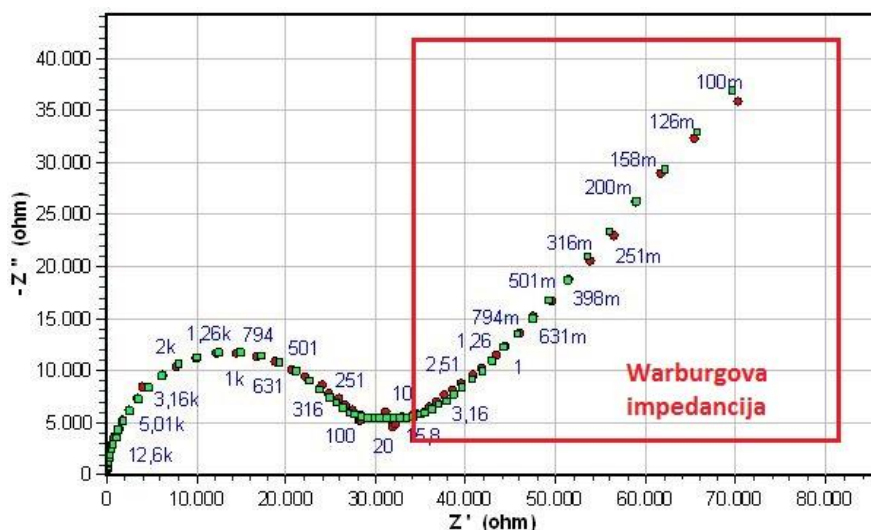
Premazi su bili izloženi 3,5 %-tnoj otopini NaCl i mjerenja su provedena nakon 20 h, 96 h i 168 h izlaganja. Ispitivanja su provedena pri sobnoj temperaturi prema parametrima zadanim u tablici 20.

U odnosu na elektrokemijska ispitivanja ostalih premaza u ovom radu, kod premaza VpCI-2026 često se za odgovarajući ekvivalentni električni krug odabirao onaj koji sadrži tzv. Warburgovu impedanciju, koja označava difuziju kroz sloj. Takvi tipovi električnog kruga su prikazani na slici 85.



Slika 85. Ekvivalentni električni krug – Warburgova impedancija

Karakteristika Warburgove impedancije je da su iznosi realne i imaginarne komponente jednakih vrijednosti te fazni kut iznosi 45°. Zbog svojih karakteristika, na temelju grafa dobivenog preko izmjerenih vrijednosti lako je prepoznati ekvivalentni strujni krug.



Slika 86. Warburgova impedancija, uzorak zaštićen vodenim premazom bez dodatka inhibitora korozije nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl

Za razliku od KEMEPOX premaza gdje nakon 20 h izlaganja nije došlo do prodiranja vode u prevlaku, kod premaza VpCI-2026 to nije bio slučaj i bilo je moguće provesti ispitivanje vrijednosti otpora premaza. Daljnja ispitivanja su provedena nakon 96 h i nakon 168 h ispitivanja. Radi usporedbe s Chromosovim epoksidnim premazom navedeni su samo rezultati nakon 96 h i 168 h izlaganja. Rezultati su prikazani u tablicama 76 i 77.

**Tablica 76. Rezultati EIS-a za VpCI-2026 premaz nakon 96 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl**

96 h ispitivanja		$R_1, \Omega\text{cm}^2$	$R_2, \Omega\text{cm}^2$	$R_3, \Omega\text{cm}^2$	CPE <sub>1</sub>		CPE <sub>2</sub>		$W, \Omega\text{cm}^2$	$R, \Omega\text{cm}^2$
VpCI - 2026					$Q_1, \text{F/cm}^2$	$n_1$	$Q_2, \text{F/cm}^2$	$n_2$		
3D	Pjeskareno	1000	362,2	$4,612 \times 10^5$	$2,956 \times 10^{-8}$	0,78	$1,072 \times 10^{-3}$	0,61	-	-
6D	Razrjeđivač	827,4	$1,139 \times 10^4$	$2,090 \times 10^3$	$3,747 \times 10^{-4}$	0,67	$1,118 \times 10^{-8}$	0,79	-	-
9D	414	247,9	$8,614 \times 10^4$	$9,020 \times 10^2$	$7,938 \times 10^{-4}$	0,66	$1,005 \times 10^{-8}$	0,81	$4,976 \times 10^{-4}$	-
11D	416	100	697,3	$3,579 \times 10^3$	$1,435 \times 10^{-8}$	0,8	$1,169 \times 10^{-3}$	0,63	$1,102 \times 10^{-2}$	-
13D	418	140,6	$7,387 \times 10^3$	261,1	$2,016 \times 10^{-4}$	0,8	$5,758 \times 10^{-9}$	0,8	$1,193 \times 10^{-3}$	-

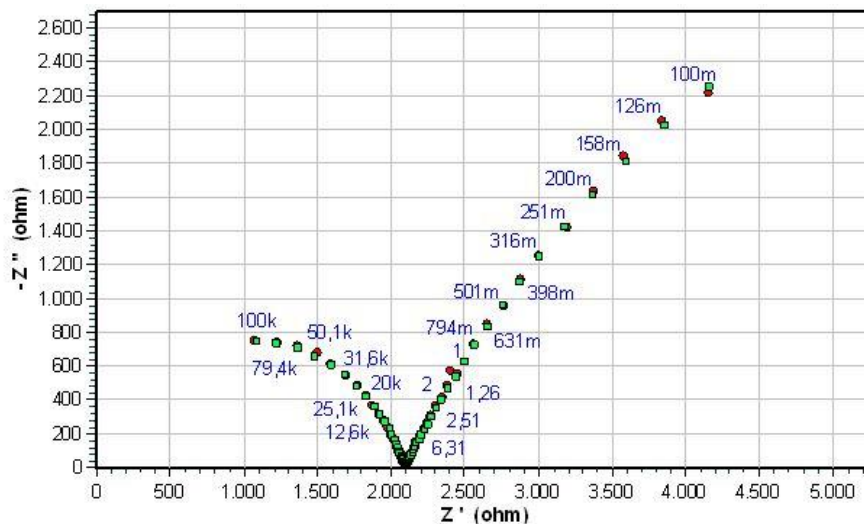
**Tablica 77. Rezultati EIS-a za VpCI-2026 premaz nakon 168 h izlaganja u 3,5% -tnoj otopini NaCl**

168 h ispitivanja		$R_1, \Omega\text{cm}^2$	$R_2, \Omega\text{cm}^2$	$R_3, \Omega\text{cm}^2$	CPE <sub>1</sub>		CPE <sub>2</sub>		$W, \Omega\text{cm}^2$	$R, \Omega\text{cm}^2$
VpCI - 2026					$Q_1, \text{F/cm}^2$	$n_1$	$Q_2, \text{F/cm}^2$	$n_2$		
3D	Pjeskareno	131,6	327,8	$1,580 \times 10^4$	$7,825 \times 10^{-8}$	0,72	$1,33 \times 10^{-3}$	0,63	$1,126 \times 10^{-4}$	-
6D	Razrjeđivač	5,325	$1,829 \times 10^3$	$4,415 \times 10^3$	$1,341 \times 10^{-8}$	0,79	$5,605 \times 10^{-6}$	0,58	$1,553 \times 10^{-14}$	-
9D	414	190,9	$5,637 \times 10^3$	820	$9,839 \times 10^{-4}$	0,66	$1,469 \times 10^{-8}$	0,78	$3,829 \times 10^{-4}$	-
11D	416	100	$2,267 \times 10^3$	620	$1,364 \times 10^{-3}$	0,65	$3,074 \times 10^{-8}$	0,76	$5,050 \times 10^4$	-
13D	418	100	746,1	234,8	$1,043 \times 10^{-3}$	0,67	$1,098 \times 10^{-8}$	0,88	$9,064 \times 10^{-4}$	-

Na temelju dobivenih rezultata vidljivo je da nakon 168 h izlaganja dolazi do pada otpora kod svih uzoraka. Pad otpora je znatno brži kod uzorka koji je samo pjeskaren te kod uzorka pripremljenog pomoću čistača s inhibitorom korozije VpCI-418 LM.

Iz tabličnih vrijednosti se mogu analizirati vrijednosti otpora, ali nije odmah vidljivo da je tijekom izlaganja došlo do propadanja premaza.

Kod svih dijagrama dobivenih nakon 20 h, 96 h i 168 h ispitivanja uočeno je da ne postoje vrijednosti na početku grafa (prikazano na slici 87).



**Slika 87. Nyquistov dijagram dobiven elektrokemijskim ispitivanjem uzorka pripremljenog pomoću razrjeđivača, zaštićen VpCI-2026, nakon 168 h izlaganja 3,5% -tnoj otopini NaCl**

Nedostatak vrijednosti na početku dijagrama pokazuje da je došlo do prodora elektrolita kroz premaz i propadanja premaza. Do propadanja epoksi premaza s dodatkom inhibitora došlo je već nakon 20 h izlaganja otopini NaCl, što nije bio slučaj kod epoksidnog premaza bez dodatka inhibitora.

## 9. ZAKLJUČAK

Klasični postupci pripreme površine više ne zadovoljavaju zahtjeve proizvođača. Postavljaju se uvjeti da sredstva za čišćenje budu neotrovna, biorazgradiva i neštetna za okoliš. Istovremeno se, uz uklanjanje nečistoća s površine metala, želi postići zaštita od korozije. Na taj način se želi ubrzati proces pripreme površine za nanošenje prevlaka, a time i troškovi proizvodnje. U svrhu pripreme površine svoju su primjenu našli hlapivi inhibitori korozije topljivi u vodi. Razvijaju se čistači s inhibitorima korozije koji, ovisno o koncentraciji, mogu postići željenu čistoću površine na koju se nanose. Njihovo nanošenje je jednostavno i nisu opasni za ljudsko zdravlje. Istovremeno se postiže zaštita od korozije, privremena (npr. za potrebe transporta) ili dugoročna.

U radu je provedeno ispitivanje djelotvornosti čistača s inhibitorom korozije za metalne površine i njihova usporedba s klasičnim metodama pripreme površine. Ispitan je njihov utjecaj na akrilne i epoksidne premaze, s i bez dodatka inhibitora korozije.

Prilikom nanošenja akrilnih i epoksidnih premaza uočene su prve razlike između ovih dviju vrsta premaza. Epoksidni premazi su tvorili deblje i čvršće filmove, unatoč tome što su se nanosili u znatno manjem broju slojeva u odnosu na akrilne.

Akrilni premazi koji sadrže hlapive inhibitore korozije pokazuju bolju korozijsku postojanost u uvjetima vlažne i slane komore od akrilnih premaza koji ne sadrže inhibitore. Dodavanjem inhibitora korozije u sastav premaza spriječilo se mjehuranje prilikom izlaganja premaza vlažnim uvjetima.

Epoksidni premazi, neovisno o inhibitorima korozije u sastavu premaza, pokazuju odličnu korozijsku postojanost u uvjetima slane i vlažne komore. Ipak, negativan utjecaj inhibitora korozije u premazu vidljiv je prilikom ocjenjivanja mjehuranja. Premaz VpCI-2026 koji u sebi sadrži inhibitor korozije pokazao je veći stupanj mjehuranja od epoksidnog premaza bez inhibitora korozije.

Svojstva filma premaza ovise o vrsti čistača s inhibitorom korozije koji je korišten za pripremu površine i vrsti premaza koji se na nju nanosi. Preniska koncentracija inhibitora korozije u čistačima površina može ubrzati korozijske procese i negativno utjecati na prionjivost premaza.

Ispitivanjima u vlažnoj i slanoj komori pokazano je da se optimalnom koncentracijom inhibitora korozije u čistačima površina, osigurava odgovarajuću prionjivost premaza i postiže antikorozivna zaštita podloge.

Rezultati ispitivanja elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom pokazuju da nema znatnog porasta vrijednosti otpora kod uzoraka pripremljenih inhibitorima korozije. Akrilni premazi koji sadrže inhibitore korozije pokazuju veće početne vrijednosti otpora od uzoraka premazanih vodenim premazom bez inhibitora korozije. Epoksidni premazi pokazuju viši otpor u odnosu na akrilne premaze. Za razliku od akrilnih premaza, epoksidni premaz s inhibitorom korozije pokazao je niže vrijednosti otpora od premaza bez inhibitora korozije.

Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da su čistači s inhibitorima korozije na bazi vode moguća zamjena klasičnim odmašćivačima metalnih površina. Njihova djelotvornost ovisi o koncentraciji samog inhibitora korozije, ali i vrsti premaza koji se nanosi na tretiranu podlogu. Kvalitetnim odabirom sustava čistača i premaza mogu se osigurati podjednaka zaštitna svojstva premaza kao kod pripreme razrjeđivačem i istovremeno postići privremena zaštita od korozije. U usporedbi s otapalima i razrjeđivačima, vodorazrjeđivi čistači s inhibitorom korozije predstavljaju djelotvorno i ekološki prihvatljivo rješenje za pripremu metalne površine.

## **LITERATURA**

- [1] V. Alar, V. Šimunović, I. Juraga: Teorijske osnove korozijskih procesa i metode zaštite: Autorizirana predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012.
- [2] I. Esih: Osnove površinske zaštite, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.
- [3] E. Stupnišek-Lisac: Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2007.
- [4] V. Alar: Kemijska postojanost metala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [5] <https://www.indiamart.com/admatinnovations/nanotechnology-based-protective-surface-coatings-for-bare-metal.html> [dostupno: 21.02.2019.]
- [6] I. Juraga, V. Šimunović, I. Stojanović, V. Alar: Mehanizmi zaštite od korozije: Autorizirana predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012.
- [7] <https://www.pfonline.com/articles/pretreatment-for-painting> [dostupno: 21.02.2019.]
- [8] I. Juraga, V. Alar, I. Stojanović: Korozija i zaštita premazima, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.
- [9] M. Koričan: Primjena L-triptofana kao inhibitora korozije: Završni rad preddiplomskog studija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2018.
- [10] I. Stojanović: Utjecaj tehnoloških parametara na zaštitna svojstva vodorazrjeditivnih premaza, Doktorski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2010.
- [11] I. Esih, Z. Dugi: Tehnologija zaštite od korozije II, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1992.
- [12] <https://www.pcimag.com/articles/102450-environmentally-friendly-coatings-historical-perspectives-and-future-outlook> [dostupno: 23.10.2019.]
- [13] I. Juraga, I. Stojanović, V. Alar, V. Šimunović, M. Mikić: Mogućnosti primjene vodorazrjeditivnih u brodogradnji, SORTA, Pula, 2008.
- [14] <https://www.korozija.hr/proizvod/sustavi-zastite-od-korozije-aditivi-za-obradu-ulja-i-voda/vpci-1238-tekuci-aditiv-za-parne-kupke-za-odmascivanje-ciscenje-i-skidanje-boje-110> [dostupno: 22.02.2019.]



- [15] T. Udiljak : Postupci obrade odvajanjem: Predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2016.
- [16] Hempel Coatings: Katalog sustava premaza - Odabir odgovarajućeg sustava premaza: Smjernice za zaštitu u skladu sa ISO 12944 [dostupno: 22.02.2019.]
- [17] <https://www.intechopen.com/books/developments-in-corrosion-protection/corrosion-inhibitors-principles-mechanisms-and-applications> [dostupno: 03.02.2019.]
- [18] I. Juraga, V. Šimunović, I. Stojanović: Primjena inhibitora u zaštiti od korozije u brodogradnji, Simpozij SORTA 2006, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2006.
- [19] <http://www.purewatergazette.net/blog/water-pipe-corrosion-a-problem-with-many-causes-july-13-2013/> [dostupno: 15.03.2019.]
- [20] <https://www.cortecvci.com/products/> [dostupno: 19.03.2019.]
- [21] L. I. Osipow: Corrosion Inhibition, United States Patent Office, Cosmopolitan Chemical Co., Inc., Long Island City, N.Y., 1959.
- [22] W. C. Kennedy, Jr.: Corrosion inhibitors for cleaning solutions, United States Patent Office, Tulsa, Oklahoma, 1987.
- [23] P. Bevilacqua, Jr., K. G. Clark, D. L. Gauntt: Non-solvent, general use exterior aircraft cleaner, United States Patent Office, Washington D.C., 1999.
- [24] M. Takashima, K. Sawara: Metal-corrosion inhibitor and cleaning liquid, United States Patent Office, Osaka, 2001.
- [25] <https://chemsol.com/products/corrosion-preventatives/mil-prf-24453-inhibitor-corrosion-soluble-oil/> [dostupno: 15.04.2019.]
- [26] <https://www.cortecvci.com/products/> [dostupno: 19.03.2019.]
- [27] [https://www.chromos-svjetlost.hr/upload\\_data/site\\_files/razrjedivac-sintetichni.pdf](https://www.chromos-svjetlost.hr/upload_data/site_files/razrjedivac-sintetichni.pdf) [dostupno: 31.10.2019.]
- [28] <http://www.ina-maziva.hr/UserDocsImages/pdf/INA-MAZIVA-KATALOG-PROIZVODA.pdf> [dostupno: 31.10.2019.]
- [29] [https://www.chromos-svjetlost.hr/upload\\_data/site\\_files/prirucnik\\_industrija\\_hrv.pdf](https://www.chromos-svjetlost.hr/upload_data/site_files/prirucnik_industrija_hrv.pdf) [dostupno: 05.11.2019.]

## **PRILOZI**

### **I. CD-R disc**