Laboratorijska ocjena sustava zaštitnih premaza za primjenu u trafostanicama

Žerjav, Jurica

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:865022

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

Jurica Žerjav

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

Jurica Žerjav

LABORATORIJSKA OCJENA SUSTAVA ZAŠTITNIH PREMAZA ZA PRIMJENU U TRAFO-STANICAMA

DIPLOMSKI RAD

Voditelj rada: prof. dr. sc. Sanja Martinez

Članovi ispitnog povjerenstva:

prof. dr. sc. Sanja Martinez

doc. dr. sc. Helena Otmačić Ćurković

doc. dr. sc. Ljerka Kratofil Krehula

Zagreb, rujan 2016.

ZAHVALA

Diplomski rad izrađen je na Zavodu za elektrokemiju, Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije.

Zahvaljujem se svima koji su svojim savjetima, strpljenjem te podrškom pridonijeli nastanku ovog završnog rada. Posebno bih se zahvalio mentorici prof. dr. sc. Sanji Martinez na stručnom vodstvu, savjetima tijekom izrade rada, trudu i uloženom vremenu.

Zahvaljujem se poduzeću Novi Feromont d.o.o. na velikoj pomoći prilikom izrade uzoraka. Također zahvaljujem se obitelji na podršci i potpori koju su mi pružili.

SAŽETAK RADA

Električna energija ključni je čimbenik za razvoj ljudske civilizacije te je potrebno uz današnji ubrzani razvoj svijeta osigurati pouzdanu opskrbu. Pouzdana opskrba može se postići kvalitetnom izradom elektroenergetskog sustava te uz redovito održavanje sustava. Jednostavan prijenos električne energije bez velikih gubitaka postiže se pomoću transformatora koji pripada u najvažnije dijelove svake trafostanice.

Kvalitetna izrada i zaštita transformatora od korozije ključni su za prevenciju pojave korozije i kvarova. Najzastupljenija metoda zaštite transformatora od korozije je primjena sustava zaštitnih premaza.

U ovom radu provedena su laboratorijska ispitivanja na različitim sustavima zaštitnih premaza koji se koriste za zaštitu transformatora. Odabrana su dva sustava premaza na bazi vode i dva na bazi otapala. Premazni sustavi su se na zaštitne pločice nanosili po recepturama koje se koriste u industriji. Laboratorijska ispitivanja provedena su u slanoj komori i pomoću elektrokemijske impedancijske spektroskopije.

Pomoću dobivenih rezultata ispitivanja bilo je moguće laboratorijski ocijeniti različite sustave zaštitnih premaza koji se koriste za zaštitu transformatora od utjecaja atmosferske korozije, što je svrha ovog diplomskog rada.

Ključne riječi: korozija, premazni sustavi, trafostanica, transformator, slana komora, elektrokemijska impedancijska spektroskopija

SUMMARY

Electricity is a key factor for the development of human civilization. World is changing fast, so it is necessary to ensure reliable supply of electricity. With regular maintenance and by creating a high-quality electric power system we can achieve reliable supply. Simple transmission of electricity without major losses can be achieved by using transformer. Transformer belong to the most important part of every substation.

Quality production and protection transformer against corrosion are crucial for preventing corrosion and malfunctions. The most common method of protection transformer from the corrosion is application of protective coating systems.

In this study we conducted laboratory tests on various systems of protective coatings which are used to protect transformers. Chosen are two system of paints, water-based paints and two solvent-based paints. Coating system on protective tiles are made by recipe which are used in industry. Laboratory tests were carried out in the salt chamber using electrochemical imedance spectroscopy.

The purpose of this study is by using the test results, to evaluate different laboratory systems of protective coatings used to protect transformer from the effects of atmospheric corrosion.

Key words: corrosion, coating systems, substations, transformer, salt chamber, electrochemical impedance spectroscopy

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1. OPĆI DIO 2

1.1. Trafostanice i transformatori 2

1.2. Korozija 4

1.2.1. Kemijska korozija 4

1.2.2. Elektrokemijska korozija 5

1.2.3. Korozijski članak 5

1.3. Zaštita materijala od korozije 7

1.3.1. Elektrokemijske metode zaštite 7

1.3.2. Zaštita od korozije obradom korozivne sredine 8

1.3.3. Zaštita odabirom korozijski postojanih materijala 9

1.3.4. Zaštita prevlakama 11

1.4. Zaštita od korozije organskim premazima 16

1.4.1. Uvod 16

1.4.2. Klasifikacija premaza 16

1.4.3. Zaštitni sustav premaza 18

1.4.4. Komponente premaza 19

1.4.5. Vodorazrjedivi premazi 28

1.4.6. Mehanizam zaštitnog djelovanja premaza 29

1.4.7. Metode nanošenja premaza 31

1.5. Zaštita oblikovanjem konstrukcija 35

1.6. HRN EN ISO 12944 37

1.6.1. Uvod 37

1.6.2. HRN EN ISO 12944-2 Razredba okoliša 38

1.6.3. HRN EN ISO 12944-5 Zaštitni sustavi boja 40
1.6.4. HRN EN ISO 12944-6 Metode laboratorijskih ispitivanja svojstava 41
1.7. Elektrokemijska impendancijska spektroskopija 42
1.7.1. Teorijska osnova 42
1.7.2. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija kod proučavanja korozije... 44
1.7.3. Ekvivalentni krugovi 45
1.7.4. Grafički impedancijski prikazi 46
1.7.5. Uređaj za elektrokemijsku impedancijsku spektroskopiju 49
2. EKSPERIMENTALNI DIO: 51
2.1. Izrada i površinska priprema testnih pločica 51
2.2. Nanošenje zaštitnih premaza 53
2.2.1. Premazni sustav A 54
2.2.2. Premazni sustav B 56
2.2.3. Premazni sustav C 58
2.2.4. Premazni sustav D 60
2.3. Mjerenje debljine premaznih sustava 62
2.4. Ispitivanje u slanoj komori 63
2.5. Elektrokemijsko impedancijsko ispitivanje 66
3. REZULTATI: 68
3.1. Rezultati mjerenja debljine premaznih sustava 68
3.2. Rezultati ispitivanja u slanoj komori 74
3.3. Rezultati elektrokemijske impedancijske spektroskopije 86
3.3.1. Bodeovi grafički prikazi 86
3.3.2. Izračunavanje impedancije premaznih sustava 90
4. RASPRAVA: 94
4.1. Ispitivanje u slanoj komori 94
4.2. Impedancijsko ispitivanje 95

5. ZAKLJUČAK: 97

6. POPIS SIMBOLA: 99

7. LITERATURA: 100

ŽIVOTOPIS 103

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz trafostanice s dva transformatora [2] 2
Slika 2. Prikaz dijelova energetskog transformatora [3] 3
Slika 3. Kotao transformatora [5] 3
Slika 4. Prikaz energetske promjene pri dobivanju metala i koroziji metala [7] 4
Slika 5. Shematski prikaz djelovanja korozijskog članka [7] 6
Slika 6. Katodna zaštita pomoću žrtvovane anode [10] 8
Slika 7. Katodna zaštita pomoću sustava s vanjskim izvorom[10] 8
Slika 8. Prikaz mehaničke obrade postupak sačmarenja [14] 12
Slika 9. Uređaj za elektrokemijsko nagrizanje [8] 12
Slika 10. Kupelj za ultrazvučno odmašćivanje [15] 13
Slika 11. Katodna prevlaka kroma na čeliku [7] 13
Slika 12. Anodna prevlaka cinka na čeliku [7] 14
Slika 13. Prikaz vrućeg pocinčavanja [16] 14
Slika 14. Primjer emajliranog posuđa [11] 15
Slika 15. Premazi [17] 16
Slika 16. Prikaz slojeva zaštitnog sustava premaza 18
Slika 17. Proces fizikalnog sušenja boje na bazi otapala [20] 21
Slika 18. Proces kemijskog sušenja dvokomponentnih premaza na bazi otapala [20] 22
Slika 19. Poroznost jednog sloja [26] 29
Slika 20. Poroznost u troslojnom sustavu premaza [26] 29
Slika 21. Učinak listićavih pigmenata u premazu [26] 30
Slika 22. Učinak inhibitora [26] 31
Slika 23. Galvanski učinak zaštite premazima [26] 31
Slika 24. Prikaz različitih tipova kistova [27,28,29] 32
Slika 25 Lopatica [30] 32
Slika 26. Valjak [31] 32
Slika 27. Pištolj za zračno prskanje [32] 34
Slika 28. Uređaj za bezzračno prskanje [33] 34
Slika 29. Prikaz lošeg i boljeg konstrukcijskog rješenja 36
Slika 30. Izmjenični val za narinuti potencial (E) i rezultirajuću struju (I) [36] 42
Slika 31. Strujni vektor opisan realnim i imaginarnim koordinatama [36] 43

Slika 32. Ovisnost korozijske zaštite o vrijednosti impedancije premaza[38] 45
Slika 33. Randlesov krug jednostavne elektrokemijske ćelije [36] 45
Slika 34. Ekvivalentni krug za korodirajući metal prekriven organskim premazom [37] .. 46
Slika 35. Nyquistov prikaz za jednostavni elektrokemijski sustav [36] 47
Slika 36. Bodeov prikaz za jednostavni elektrokemijski sustav[7] 48
Slika 37. Tipična elektrokemijska ćelija za EIS mjerenje na metalima s premazima [39] . 49
Slika 38. Blok dijagram modernog EIS sustava [40] 50
Slika 39. Testna pločica bez rebra i testna pločica s navarenim rebrom 52
Slika 40. Pločica bez rebra poslije sačmarenja i pločica s rebrom poslije sačmarenja 52
Slika 41. Prikaz procesa nanošenja premaza na testne pločice 53
Slika 42. Premazni sustav A po slojevima premaza 55
Slika 43. Premazni sustav B po slojevima premaza 57
Slika 44. Premazni sustav C po slojevima premaza 59
Slika 45. Premazni sustav D po slojevima premaza 61
Slika 46. Elcometar 456 [41] i Elcometar 319 [42] 62
Slika 47. Slana komora SF/100 na Zavodu za elektrokemiju 63
Slika 48. Upravljačka ploča slane komore 63
Slika 49. Prikaz parametara protoka i tlaka raspršivanja 5% vodene otopine NaCl 64
Slika 50. Testne pločice u stalcima prije stavljanja u slanu komoru 65
Slika 51. Testne pločice u slanoj komori prije početka ispitivanja 65
Slika 52. Uređaj za ispitivanje PalmSens^3 67
Slika 53. Gel elektrode 67
Slika 54. Prikaz mjerenja elektrokemijske impedancije na testnoj pločici 67
Slika 55. Grafički prikaz rezultata mjerenja debljine premaznog sustava A 72
Slika 56. Grafički prikaz rezultata mjerenja debljine premaznog sustava B 72
Slika 57. Grafički prikaz rezultata mjerenja debljine premaznog sustava C 73
Slika 58. Grafički prikaz rezultata mjerenja debljine premaznog sustava D 73
Slika 59. Stanje u slanoj komori nakon otprilike 360 sati 74
Slika 60. Stanje pojedinih testnih pločica nakon otprilike 360 sati 74
Slika 61. Stanje u slanoj komori nakon 720 sati 75
Slika 62. Stanje pojedinih testnih pločica nakon 720 sati 75
Slika 63. Izgled testnih pločica A2 i A1 76
Slika 64. Izgled testnih pločica A3 i A4 76
Slika 65. Izgled testnih pločica A5 i A6 77

Slika 66. Izgled testnih pločica A9 i A10 77
Slika 67. Izgled testnih pločica A11 i A12 78
Slika 68.Izgled testnih pločica B2 i B1 78
Slika 69. Izgled testnih pločica B3 i B4 79
Slika 70. Izgled testnih pločica B5 i B6 79
Slika 71. Izgled testnih pločica B9 i B10 80
Slika 72. Izgled testnih pločica B11 i B12 80
Slika 73. Izgled testnih pločica C1 i C2 81
Slika 74. Izgled testnih pločica C3 i C4 81
Slika 75. Izgled testnih pločica C5 i C6 82
Slika 76. Izgled testnih pločica C9 i C10 82
Slika 77. Izgled testnih pločica C11 i C12 83
Slika 78. Izgled testnih pločica D1 i D2 83
Slika 79. Izgled testnih pločica D3 i D4 84
Slika 80. Izgled testnih pločica D5 i D6 84
Slika 81. Izgled testnih pločica D9 i D10 85
Slika 82. Izgled testnih pločica D11 i D12 85
Slika 83. Bodeov grafički prikaz za testne pločice A9 i A10 86
Slika 84. Bodev grafički prikaz za testne pločice A11 i A12 87
Slika 85. Bodeov grafički prikaz za testne pločice B9 i B10 87
Slika 86. Bodeov grafički prikaz za testne pločice B11 i B12 88
Slika 87. Bodeov grafički prikaz za testne pločice C9 i C10 88
Slika 88. Bodeov grafički prikaz za testne pločice C11 i C12 89
Slika 89. Bodeov grafički prikaz za testne pločice D9 i D10 89
Slika 90. Bodeov grafički prikaz za testne pločice D11 i D12 90

POPIS TABLICA

Tablica 1. Ocjene otpornosti na koroziju nekih nezaštićenih materijala [11] 10
Tablica 2. Kategorije atmosferskih korozivnosti i primjeri tipičnih okruženja [34] 39
Tablica 3. Kategorije korozivnosti za vodu i sol i primjeri okruženja [34] 40
Tablica 4. Postupci ispitivanja za premazne sustave u atmosferskoj korozivnosti [35] 41
Tablica 5. Parametri ispitivanja u slanoj komori 64
Tablica 6. Parametri EIS ispitivanja 66
Tablica 7. Karakteristike testnih pločica premaznog sustava A 68
Tablica 8. Karakteristike testnih pločica premaznog sustava B 69
Tablica 9. Karakteristike testnih pločica premaznog sustava C 70
Tablica 10. Karakteristike testnih pločica premaznog sustava D 71
Tablica 11. Rezultati izračunavanja impedancije premaznih sustava 93

1. UVOD

Električna energija ključni je čimbenik za razvoj ljudske civilizacije, pokretač je suvremene industrije, osiguravatelj je kvalitetnog i udobnog životnog standarda te ima važnu ulogu u svakodnevici današnjeg civiliziranog čovjeka. Ubrzani razvoj i rast svijeta neprekidno pridonosi povećanoj potražnji i potrošnji električne energije. Da bi to bilo moguće potrebno je osigurati pouzdanu opskrbu električnom energijom što se postiže kvalitetnom izradom i održavanjem elektroenergetskog sustava. Prednost električne energije je jednostavan prijenos bez velikih gubitaka. Prijenos se postiže pomoću transformatora koji pretvara napon u niske vrijednosti ili visoke vrijednosti ovisno o željenoj udaljenosti prijenosa. Upravo zbog toga, transformator pripada u najvažnije dijelove svake trafostanice. Kvalitetna izrada i održavanje transformatora ključni su za prevenciju pojave kvarova i za postizanje očekivanog vijeka trajanja.

Čelik kao konstrukcijski materijal najčešće se upotrebljava kod izrade raznih konstrukcija, pa se tako upotrebljava i kod izrade mnogih dijelova transformatora. Podložan je nenamjernom razaranju uslijed reakcije s okolišem, odnosno koroziji. Korozijski proces skraćuje vijek trajanja transformatora, povećava troškove održavanja, uzrokuje nesreće, havarije i zastoje u radu. Da bi se to spriječilo i usporilo potrebno je poznavati korozijsko ponašanje čelika i načine na koji se može zaštiti od korozije. Također je potrebno i poznavati atmosferske uvjete u kojima će se transformator nalaziti jer je u različitim uvjetima brzina korozije različita.

Najzastupljenija metoda zaštite čeličnih konstrukcija, u konkretnom slučaju transformatora od korozije, je primjena sustava zaštitnih premaza. Prednost metode je široka primjenjivost, niska cijena i relativna jednostavnost, uz dobivenu kvalitetnu zaštitu konstrukcije u cijelosti.

Svrha ovoga rada bila je proučiti i laboratorijski ocijeniti različite sustave zaštitnih premaza koji se koriste za zaštitu transformatora od utjecaja atmosferske korozije. Laboratorijska ocjena učinjena je ispitivanjem u slanoj komori i pomoću elektrokemijske impedancijske spektroskopije.

1. OPĆI DIO

1.1. Trafostanice i transformatori

Transformatori su statički elektromagnetski uređaji koji nam služe za transformiranje električne energije iz jednog naponskog nivoa u drugi nivo. Transformatori pripadaju u jedne od najznačajnijih dijelova svake elektroenergetske mreže odnosno trafostanice. Njegovim izumom omogućena je distribucija eklektične energije na velike udaljenosti što je dovelo do razvoja modernih sustava proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije [1]. Na slici 1 prikazana je trafostanica s dva transformatora.

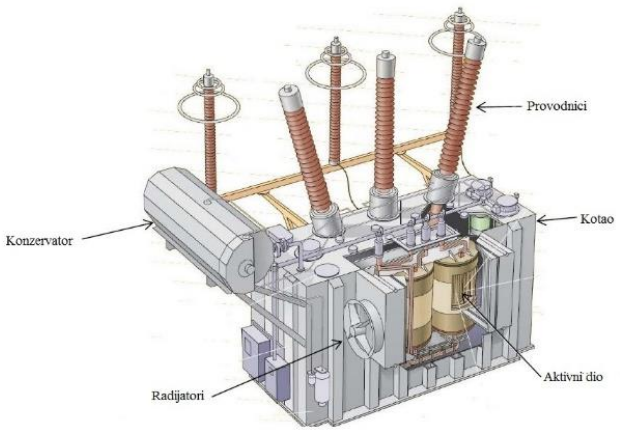


Slika 1. Prikaz trafostanice s dva transformatora [2]

Transformatori se mogu podijeliti prema namjeni na energetske i mjerne transformatore. Energetski transformatori su ti koji nam služe u trafostanicama za transformaciju napona jedne mreže (visokonaponske) u drugu mrežu (distribucijsku). Osnovni dijelovi svakog energetskog transformatora su [1]:

1. Kotao ili kućište transformatora
2. Aktivni dio
3. Konzervator
4. Provodnici
5. Dijelovi za učvršćivanje

Na slici 2 prikazani su dijelovi energetskog transformatora.



Slika 2. Prikaz dijelova energetskog transformatora [3]

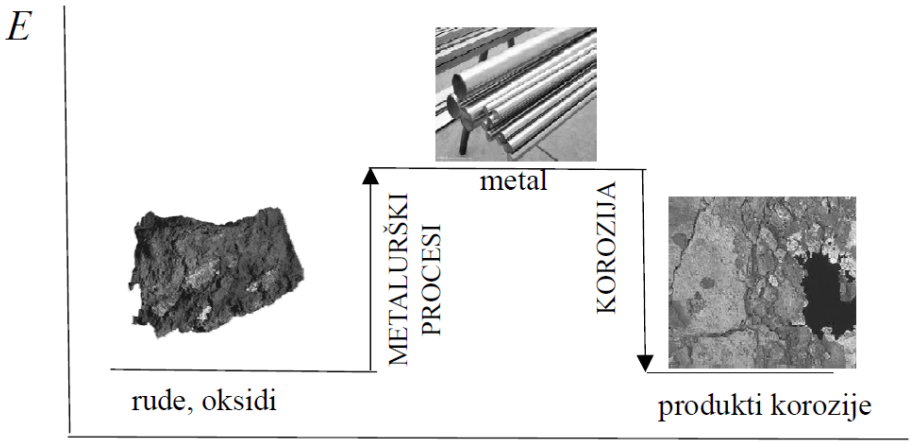
Kotao ili kućište transformatora izrađuje se od čeličnog lima čija debljina ovisi o snazi transformatora. Ovisno o snazi transformatora površina kotla može biti glatka (kod malih snaga) ili rebrasta (kod većih snaga) čime se povećava rashladna površina. Također kod većih snaga prigrađeni su radijatori ili sistem cijevi [4]. Na slici 3 prikazan je kotao transformatora u izradi. Kako se većinom transformatori nalaze na otvorenome prostoru odnosno nisu zaštićeni od utjecaja atmosferskih prilika potrebno je provesti dobru zaštitu od korozije ovisno o području na kojem se nalaze. O samoj koroziji i načinima zaštite materijala od korozije slijedi dalje na sljedećim stranicama diplomskog rada.



Slika 3. Kotao transformatora [5]

1.2. Korozija

Riječ korozija dolazi od srednjovjekovne latinske riječi *corrosio,* odnosno od latinske riječi *corrodere* što prevedeno na hrvatski jezik znači nagrizati [6]. Korozija se može definirati na nekoliko načina. Prema HRN EN ISO 8044: Korozija je fizikalno kemijsko međudjelovanje metala i njegova okoliša koje uzrokuje promjenu uporabnih svojstava metala te može dovesti do oštećenja funkcije metala, okoliša ili tehničkog sustava koji oni čine. Prema NACE: Razaranje materijala, uglavnom metala, uslijed reakcije s okolišem. Korozija se može još definirati kao nenamjerno razaranje konstrukcijskih materijala, uzrokovano fizikalnim, fizikalno-kemijskim, kemijskim i biološkim agensima. Na slici 4 prikazana je energetska promjena pri dobivanju metala i koroziji metala gdje se vidi da je dobivanje metala iz rude nespontani proces jer je potrebno uložiti energiju za njegovo dobivanje, a korozija je spontani proces pri čemu metali prelaze u termodinamički stabilnije stanje tj. prelaze u produkte korozije [7].



Slika 4. Prikaz energetske promjene pri dobivanju metala i koroziji metala [7]

Također, važno je znati da koroziju nije moguće spriječiti, ona se može samo usporiti. Koroziju čine skup kemijskih i elektrokemijskih promjena tijekom kojih metal prelazi od elementarnog stanja u spojeve u kojima se najčešće nalazi u prirodi. Korozija se može prema mehanizmu djelovanja podijeliti na elektrokemijsku i kemijsku koroziju [8].

1.2.1. Kemijska korozija

Kemijska korozija odvija se prema zakonima kemijske kinetike heterogenih reakcija [7]. To je najčešće oksidacija metala spajanjem s kisikom pri izlaganju suhim plinovima koji sadrže kisik ili njegove spojeve. Kemijskoj koroziji podložni su metali i vodljivi nemetali

(npr. grafit) u neelektrolitima tj. u suhim plinovima i nevodljivim kapljevinama (npr. u mazivim uljima), te nevodljivi nemetali (beton, keramika, staklo, kamen, polimerni materijali,drvo) u plinovima i kapljevinama [6]. Organske tekućine mogu izazvati kemijsku koroziju samo ako su bezvodne jer inače dolazi do elektrokemijske korozije. Najvažnije bezvodne tekućine su nafta i njezini derivati, otapala za odmašćivanje i razrjeđivanje lakova i boja, te otopine neioniziranih tvari u takvim tekućinama. Ova vrsta korozije u tehnici najčešće nastaje djelovanjem maziva na različite dijelove strojeva [9]. Brzina kemijske korozije ovisi o mnogo čimbenika. Najznačajniji čimbenici su svojstva materijala koji korodira, agresivna okolina koja ga okružuje, korozijski produkti, stanje površine metala i naprezanje [8].

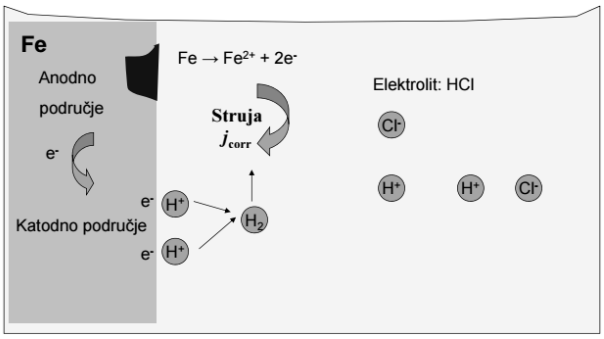
1.2.2. Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija odvija se u elektrolitu prema zakonima elektrokemijske kinetike. Uzrokovana je djelovanjem korozijskih galvanskih članaka nastalih na površini metala izloženom elektrolitu. Neplemenitiji dijelovi površine pritom su anode na kojima se metal troši ionizacijom, otapanjem u elektrolitu uz istodobno oslobađanje viška elektrona (elektrokemijska oksidacija) i koji kroz metal putuju prema plemenitijim dijelovima površine odnosno katodama gdje se vežu s oksidansima iz okoline (elektrokemijska redukcija) [6]. Elektrokemijska korozija se odvija u prirodnoj i tehničkoj vodi, u vodenim otopinama kiselina, lužina, soli i drugih tvari, u vlažnom tlu, u sokovima biološkog porijekla, u talinama soli, oksida i hidroksida te u atmosferi. Elektrokemijska korozija je najrašireniji oblik korozije metala iz razloga što je velik broj metalnih konstrukcija i postrojenja izložen vodi ili otopinama, vlažnom tlu ili vlažnoj atmosferi. Posebno dobri uvjeti za razvoj ovih procesa postoje u energetskim i metalurškim postrojenjima i u kemijskoj, prehrambenoj, tekstilnoj i metaloprerađivačkoj industriji [9].

1.2.3. Korozijski članak

Korozijski članak nastaje zbog razlike potencijala između anodnih i katodnih mjesta na površini metala uronjenog u elektrolit. Sastoji se od anode, katode, metalnog vodiča i vodljive otopine elektrolita [7]. U praksi su redovito pojedini dijelovi metalne površine u elektrolitu elektrokemijski različiti. Neki dijelovi pogodni su za odvijanje ionizacije metala, a drugi dijelovi za odvijanje depolarizacije. Za dijelove metalne površine na kojima se metal ionizira vrijedi ravnotežni potencijal ionizacije. Taj je potencijal niži od ravnotežnog potencijala depolarizacije, što vrijedi za dijelove metalne površine na kojima se odvija

depolarizacija. Ionizacija metala se događa na anodnim dijelovima površine, a depolarizacija na katodnim dijelovima. Sam proces korozije analogan je prema tome procesu u galvanskom članku koji je kratko spojeni [10]. Na slici 5 prikazano je djelovanje korozijskog članka.



Slika 5. Shematski prikaz djelovanja korozijskog članka [7]

Anodni proces-Ionizacija metala (otapanje) i stvaranje elektrona [7]

$$Me\ (s) + 2H^+ \rightarrow Me^{2+}\ (aq) + H_2\ (g)$$

Katodni proces-trošenje elektrona [7]

a) Vodikova depolarizacija :

$$2e^- + 2H^+\ (aq) \rightarrow H_2\ (g)$$

b) Kisikova depolarizacija

$$4H^+\ (aq) + O_2\ (g) + 4^{e-} \rightarrow 2H_2O\ (l)$$

Zbog različitih neravnomjernosti korozijskih faktora na metalnoj površini postoje mnogo tipova korozijskih članaka. Anode članaka nalaze se tamo gdje se metal lakše ionizira i gdje se teže odvija depolarizacija. Suprotno vrijedi za katode korozijskih članaka.

Neravnomjerne mehaničke napetosti u metalu mogu uzrokovati nastajanje korozijskih članaka u elektrolitima. Dijelovi površine na mjestima s većim vlačnim napetostima postaju anode pa nastaje tzv. napetosna korozija. Napetosti mogu biti zaostale kao posljedica obrade metala deformiranjem, nakon termičke obrade ili zavarivanjem. Sklonost ionizacijskom procesu ovisi i o kvaliteti metalne površine. Hrapavije površine redovno su sklonije ionizaciji od glađih pa može i to biti uzrok nastajanje korozijskog članka u elektrolitu [10].

1.3. Zaštita materijala od korozije

Materijali se mogu zaštititi od procesa korozije različitim metodama. Najčešći načini zaštite su [8]:

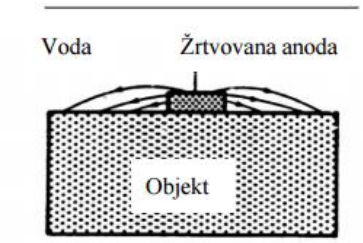
- Elektrokemijske metode zaštite
- Zaštita od korozije obradom korozivne sredine
- Zaštita odabirom korozijski postojanih materijala
- Zaštita prevlakama
- Zaštita oblikovanjem konstrukcije

1.3.1. Elektrokemijske metode zaštite

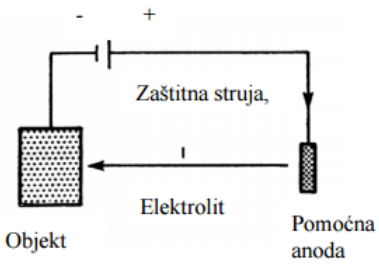
Kod elektrokemijskih metoda zaštite metal se održava u pasivnom stanju (područje potencijala pasivacije) ili u imunom stanju (potencijal niži od stacionarnih) kada ne korodira. Metode se upotrebljavaju kao antikorozivna zaštita čeličnih konstrukcija prvenstveno u konstrukcijama koje su ukopane ili uronjene kao što su cjevovodi, brodovi, kondenzatori, izmjenjivači topline i rezervoari. Ovisno o načinu polarizacije elektrokemijska zaštita može biti katodna ili anodna [8].

Katodna zaštita je elektrokemijska metoda zaštite metalnih konstrukcija od korozije koja se temelji na usporavanju korozije katodnom polarizacijom tj. pomakom elektrokemijskog potencijala metala u negativnom smjeru. Jedna je od najznačajnijih metoda zaštite od korozije u elektrolitima. U praksi se upotrebljavaju dva načina katodne zaštite. Prvi način je katodna zaštita u kojoj je zaštićeni predmet katodno polariziran djelovanjem vanjskog izvora istosmjerne struje i koristi se kod stacioniranih objekata u tlu, morskoj vodi i drugim vodljivim sredinama. Drugi način je katodna zaštita u kojoj se katodna polarizacija ostvaruje kontaktom zaštićenog metala s neplemenitijim metalom odnosno protektorom (žrtvovanom anodom) i koristi se na pokretnim objektima i na mjestima gdje prijeti opasnost da eventualna iskra izazove požar ili eksploziju kao što su ukopani rezervoari i cisterne za gorivo, cijevi bušotine na naftnim poljima, ploveći dokovi, platforme, lučki uređaji itd. Za zaštitu čeličnih konstrukcija rabe se protektori od cinka, magnezija, aluminija i njihovih legura. Prednosti ove metode su neovisnost o izvoru struje, jednostavna ugradnja, ne prečesto kontroliranje i neznatni utjecaj na susjedne konstrukcije. Njezini nedostaci su nepovratni gubitak materijala anode, potreba za povremenim mijenjanjem anode, zagađivanje okoliša od strane produkata korozije, neprimjenjivost u sredinama sa većim

otporom i relativno male zaštitne struje [8]. Slike 6 i 7 prikazuju katodnu zaštitu pomoću žrtvovane anode i sustava s vanjskim izvorom.



Slika 6. Katodna zaštita pomoću žrtvovane anode [10]



Slika 7. Katodna zaštita pomoću sustava s vanjskim izvorom[10]

Anodna zaštita temelji se na usporavanju korozije anodnom polarizacijom metala tj. pomakom elektrokemijskog potencijala metala u pozitivnom smjeru. Upotrebljavaju se dva načina anodne zaštite. Prvi način zaštite je izvorom istosmjerne struje odnosno spajanjem sa pozitivnim polom istosmjerne struje te se korozija čelika smanjuje održavanjem u području pasiviranja. Drugi način zaštite je protektorom odnosno spajanjem s metalom čiji je potencijal pozitivniji od potencijala metala koji se zaštićuje. Zaštita metala se može ostvariti ukoliko je korozijski potencijal protektora pozitivniji od potencijala pasiviranja metala. Za čelik se mogu kao katodni protektori koristiti plemeniti metali kao što su platina, paladij, srebro i bakar. Također može se još koristiti i grafit. [8].

1.3.2. Zaštita od korozije obradom korozivne sredine

Zaštita od korozije obradom korozivne sredine može se provesti na dva način. Prvi način je uklanjanjem aktivatora korozije iz agresivne sredine. Aktivatori korozije mogu se ukloniti neutralizacijom kiselina u vodenim otopinama, uklanjanjem kisika iz vode, uklanjanjem soli iz vode ionskim izmjenjivačima, sniženjem relativne vlažnosti zraka povišenjem temperature, uklanjanjem vlage iz zraka i uklanjanjem čvrstih čestica. Drugi način je uvođenjem inhibitora korozije u agresivnom mediju. Inhibitori su tvari anorganskog

ili organskog porijekla koje u vrlo malim koncentracijama u agresivnom mediju u velikoj mjeri smanjuju brzinu korozije metala. Inhibitori se mogu primijeniti u atmosferskoj koroziji, vodenim sistemima te u primarnoj i sekundarnoj proizvodnji nafte. Pravilan izbor inhibitora je glavni zadatak i pri tome treba voditi računa o metalu koji se štiti kao i o sredini i uvjetima u kojima se on nalazi kao što je temperatura, tlak, protok i dr. Prema mehanizmu djelovanja mogu biti anodni, katodni i mješoviti inhibitori. Prema sastavu i svojstvima mogu biti anorganski ili organski, oksidirajući ili neoksidirajući, alkalni ili neutralni, hlapivi ili nehlapivi inhibitori [8].

1.3.3. Zaštita odabirom korozijski postojanih materijala

Kod projektiranja bilo kakvog tipa objekta potrebno je uzeti u obzir korozijsku postojanost materijala od kojega je napravljen takav objekt. Takav objekt tokom predviđenog vremena upotrebe treba zadržati svoja fizička i kemijska svojstva. Odnosno njegova se svojstva tokom predviđenog vremena upotrebe ne smiju promijeniti više nego što je to određeno tijekom projektiranja. Izbor odgovarajućeg materijala ovisi o različitim faktorima kao što su: mehanička svojstva, korozijska postojanost, očekivani vijek trajanja, estetski izgled i cijena materijala.

Korozijski postojani materijali koji se najčešće koriste kod strojarskih konstrukcija su [11]:

a) visokolegirani plemeniti čelici i željezni ljevovi – feritni, austentini, martenzitni, duplex čelici i ljevovi
b) polimerni materijali i njihovi kompoziti
c) titan i njegove legure
d) aluminij i njegove legure – Al-Mg, Al-Mn, Al-Cu
e) bakar i njegove legure
f) nikal i njegove legure – Ni-Cu, Ni-Mo
g) staklo
h) beton
i) porculan
j) emajl

Relativna otpornost na koroziju nezaštićenih materijala ovisi o atmosferi u kojoj se konstrukcija nalazi. U tablici 1 prikazane su ocjene otpornosti na koroziju nekih nezaštićenih materijala [11].

Tablica 1. Ocjene otpornosti na koroziju nekih nezaštićenih materijala [11]

Vrsta materijala	Industrijska atmosfera	Slatka voda	Morska voda	H_2SO_4 (5..15%)	Lužina (8%)
Niskolegirani čelik	1	1	1	1	5
Galvanizirani čelik	4	2	4	1	1
Sivi lijev	4	1	1	1	4
Čelik s 4..6 % Cr	3	3	3	1	4
18 % Cr i 8 % Ni nehrđajući čelik	5	5	4	2	5
18 % Cr i 35 % Ni nehrđajući čelik	5	5	4	4	4
"monel" (70 % Ni i 30 % Cu)	4	5	5	4	5
Nikal	4	5	5	4	5
Bakar	4	4	4	3	3
Mjed (85 % Cu i 15 % Zn)	4	3	4	3	1
Al-bronca	4	4	4	3	3
Novo srebro (65 % Cu, 18 % Ni i 17 % Zn)	4	4	4	4	4
Aluminij	4	2	1	3	1
Al-Cu legura	3	1	1	2	1

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

1.3.4. Zaštita prevlakama

Nanošenjem zaštitnih prevlaka može se zaustaviti ili spriječiti korozija metala te nam one u prvom redu služe kao barijera prema agresivnom mediju. Primarna funkcija svake prevlake je zaštita od korozije, a sekundarna funkcija može biti postizanje određenih fizikalnih svojstava površine, zaštita od mehaničkog trošenja, postizanje estetskog dojma, povećanje dimenzija istrošenih dijelova odnosno popravak loših proizvoda. Zaštita prevlakama odnosno njezino nanošenje na površinu metala najraširenija je metoda zaštite od korozije. Jedan od glavnih razloga zašto se toliko koriste prevlake je njihova relativno niska cijena u odnosu na druge metode zaštite od korozije [12]. Zaštitno djelovanje prevlaka ovisi o vrsti prevlake, o njenoj debljini, o stupnju kompaktnosti i o čvrstoći prianjanja [10].

Prevlake za zaštitu metala od korozije mogu podijeliti na [13]:

1. metalne prevlake
2. nemetalne anorganske prevlake
3. organske prevlake (premazi)

Preduvjet za kvalitetno prevlačenje metalnog predmeta odnosno njegove površine prevlakom je dobra priprema metalne površine [8].

Priprema površine metala

Prije svake zaštite potrebno je s površine ukloniti nečistoće kao produkte korozije, masnoće itd.. Ovisno o stupnju onečišćenja, vrsti prevlake i željenom izgledu proizvoda koriste se različiti postupci pripreme površine prije zaštitnog prevlačenja.

Postupci pripreme površine mogu se podijeliti na :

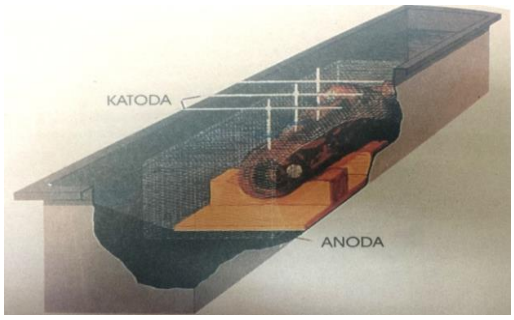
1. Mehaničku obradu
2. Kemijsku obradu
3. Elektrokemijsku obradu
4. Odmašćivanje

Mehaničkom obradom skidaju se korozijski produkti i ona se može sastojati od postupaka brušenja, poliranja, obrade u bubnjevima, četkanja, pjeskarenja i sačmarenja. Na slici 8 prikazan je mehanička obrada postupkom sačmarenja.



Slika 8. Prikaz mehaničke obrade postupak sačmarenja [14]

Kemijska obrada u otopinama kiselina i lužina služi nam za uklanjanje produkata i anorganskih onečišćenja s površine metala. Razlikuje se kiselinsko dekapiranje i lužnato dekapiranje. Kod elektrokemijske obrade uključeno je elektrokemijsko nagrizanje i elektrokemijsko poliranje. Elektrokemijsko nagrizanje uklanja okside i druge produkte korozije s površine metala, koji je uronjen u elektrolit i povezan na istosmjernu struju. Elektrokemijsko nagrizanje može biti katodno i anodno [8]. Na slici 9 prikazan je uređaj za elektrokemijsko nagrizanje.



Slika 9. Uređaj za elektrokemijsko nagrizanje [8]

Postupak odmašćivanja je potpuno uklanjanje masnih tvari s površine metala i neophodno je kod pripreme površine za nanošenje prevlaka kako bi prevlaka dobro prianjala za metalnu površinu. Odmašćivanje je moguće pomoću lužnatih otopina (5-10% NaOH, KOH, Na_2CO_3), pomoću organskih otapala (derivati nafte, benzina i petroleja, trikloretilen i tetrakloruglјik), elektrokemijskim odmašćivanjem (katodno i anodno) i odmašćivanje ultrazvukom [8]. Na slici 10 prikazana je kupelj za ultrazvučno odmašćivanje.

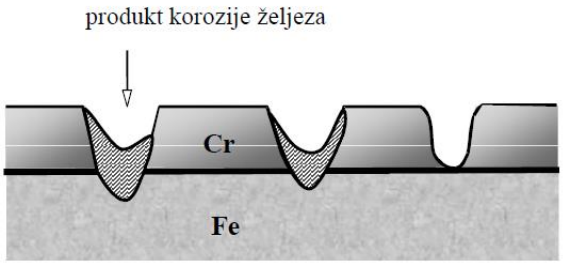


Slika 10. Kupelj za ultrazvučno odmašćivanje [15]

Metalne prevlake

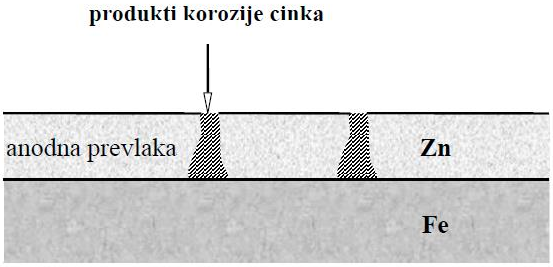
Metalne prevlake štite od korozije mijenjajući fizikalno-mehanička svojstva površine kao što je tvrdoća, električna vodljivost, dekorativnost odnosno nanose se kad je uz antikorozivnu zaštitu metala važan i metalni karakter površine. Metalne prevlake se prema zaštitnim svojstvima mogu podijeliti na katodne i anodne prevlake [10].

Katodne prevlake su prevlake metala čiji je elektrodni potencijal u promatranim uvjetima pozitivniji od elektrodnog potencijala metala koji se zaštićuje. Takve prevlake mogu biti od zlata, srebra, nikla, kroma i olova na ugljičnom i niskolegiranom čeliku. Prevlake metal zaštićuju samo mehanički i dobre su samo ako su potpuno kompaktni metal i prevlaka [8]. Na slici 11 prikazana je katodna prevlaka kroma na čeliku.



Slika 11. Katodna prevlaka kroma na čeliku [7]

Anodne prevlake su prevlake metala čiji je elektrodni potencijal u promatranim uvjetima negativniji od elektrodnog potencijala metala koji se zaštićuje. Takve prevlake mogu biti od cinka i kadmija na ugljičnom i niskolegiranom čeliku. Prevlake metal zaštićuju mehanički i elektrokemijski. Prevlake su dobre i kada nisu potpuno kompaktne s metalom [7]. Na slici 12 prikazana je anodna prevlaka cinka na čeliku.



Slika 12. Anodna prevlaka cinka na čeliku [7]

Metalne prevlake mogu se dobiti postupkom elektroplatiniranja (galvanizacije), metalizacijom vrućim postupkom, oblaganjem i ionskom izmjenom [7]. Kao primjer više ću reći samo o metalizaciji vrućim postupcima koji se najčešće koristi za zaštitu čeličnih konstrukcija.

Metalizacija vrućim postupcima može se podijeliti na uranjanje u rastaljeni metal kao što su cink, kositar i olovo, prskanje predmeta rastaljenim metalom i na difuziju. Uranjanje u rastaljeni metal je postupak kratkotrajnog držanja predmeta u talini nekog metala. Postupak se primjenjuje za dobivanje prevlaka od metali niskog tališta kao što su cink, kositar i olovo. Dobivene prevlake su znatno deblje od prevlake dobivene elektroplatiranjem [8].

Na slici 13 prikazan je primjer uranjanja u rastaljeni cink (vruće pocinčavanje) i taj postupak predstavlja najraširenij postupak zaštite od atmosferske korozije kao i korozije u neutralnom tlu. Primjenjuje se za predmete od željeza i niskougljičnog čelika [8].



Slika 13. Prikaz vrućeg pocinčavanja [16]

Anorganske nemetalne prevlake

Anorganske nemetalne prevlake su mehaničkim ili kemijskim putem nastali filmovi ili slojevi odgovarajućeg kemijskog spoja na površini metala. Prevlake dobivene mehaničkim putem slabije prianjaju na temeljni metal. Mehaničkim putem dobivaju se prevlake od emajla (emajliranje) i betonske prevlake. Prevlake od emajla se dobiju kad se metal prevlači specijalnim vrstama stakla (emajla). Služe u dekorativne i zaštitne svrhe te se mogu nanositi na sve metale. Prikladne su za zaštitu metala od korozije u jako agresivnim sredinama. Kemijskim putem dobivene prevlake mogu i obojiti metal. Kao rezultat kemijske reakcije između metala i komponenata same okoline je obojenje zaštićenog metala drugom bojom. Najčešće primjenjivane prevlake su oksidne i fosfatne prevlake [8]. Na slici 14 prikazano je emajlirano posuđe.



Slika 14. Primjer emajliranog posuđa [11]

1.4. Zaštita od korozije organskim premazima

1.4.1. Uvod

Zaštita metalnih površina organskim premazima jedan je od najrasprostranjenijih postupaka u tehnici zaštite metalnih površina. Također one imaju nezamjenjivu ulogu u zaštiti metalnih konstrukcija od korozije [8]. Učinkovitost zaštite metalnih konstrukcija ne ovisi samo o svojstvima premaza nego i o karakteru samog metala, pripremi površine i o tehnologiji pomoću koje se premaz nanosi. Stoga je neophodno uzeti u obzir cijeli sustav i tehnologiju izvođenje zaštite uključujući i kompliciran sastav premaza. Više od 75 % ukupnih metalnih površina danas je zaštićeno organskim premazima, a za neke površine taj način zaštite je nezamjenjiv. Jedan od glavnih razloga takve rasprostranjenosti je relativno niska cijena premaza u odnosu na druge metode zaštite od korozije. Premazi se osim u zaštitne svrhe, nanose i zbog poboljšanja estetskog izgleda metalne površine to su tzv. dekorativni premazi [13]. Na slici 15 prikazani su raznovrsni premazi.



Slika 15. Premazi [17]

1.4.2. Klasifikacija premaza

Organski premazi se mogu razvrstati na više načina. Najčešće je razvrstavanje premaza na osnovi vrste vezivnog sredstva i po primjeni, a ponekad se mogu i po pigmentima. Također podjela premaza može biti prema podlogama na koje se nanose i prema zadatku u premaznom sustavu [9].

Premazi prema vizualnom efektu stvorenog filma mogu biti bezbojni i različito obojeni, zatim mutni, sjajni i mat premazi te je moguće postići i dojam sjajnog ili kovanog metala. Također postoje i razni specijalni premazi koji imaju različitije funkcije kao što su premazi za električnu izolaciju, kitovi, premazi za označavanje, antivegetativni premazi za zaštitu podvodnih konstrukcija i protupožarni premazi [13].Premazi prema podlogama na

koje se nanose mogu se podijeliti na premaze za metal, premaze za mineralne podloge i premaze za drvo [9].

Za potrebe primjene prema normi HRN EN ISO 12944-5 premazi se mogu podijeliti na premaze na bazi otapala, premaze na bazi vode i na premaze bez otapala. Premazi su prema normi podijeljeni u dvije glavne kategorije i to prema načinu na koje se osuše i stvrdnu. Također podijeljene su u dvije potkategorije i to prema generičkom tipu i prema mehanizmu stvrdnjavanja. Prema načinu stvrdnjavanja i sušenja premazi se mogu podijeli na reverzibilne (povratne) premaze i ireverzibilne (nepovratne) premaze [18].

Reverzibilni (povratni) premazi

Kod tih premaza film se suši isparavanjem otapala bez ikakvih drugih promjena oblika. Takav proces je reverzibilan i film se može ponovno otopiti u izvornom otapalu u bilo kojem trenutku. Vrijeme sušenje ovisiti će o kretanju zraka i temperaturi.

Primjeri vezivnog sredstva koji se koriste za premaze su[18]:

1. Klorirani kaučuk (CR)
2. Kopolimer vinil klorida (PVC)
3. Akrilni polimeri (AY)

Ireverzibilni (nepovratni) premazi

Kod ireverzibilnih premaza film se prvo suši isparavanjem otapala tamo gdje je prisutno otapalo nakon čega slijedi kemijska reakcija ili srastanje (koalescencija). Takav proces je nepovratan i film se ne može ponovno otopiti u izvornom otapalu, a kod premaza bez otapala film se ne može otopiti u otapalu koje se obično upotrebljava za generičke tipove premaza [18].

Ireveriziblini premazi se prema normi mogu se podijeliti u tri grupe [18] :

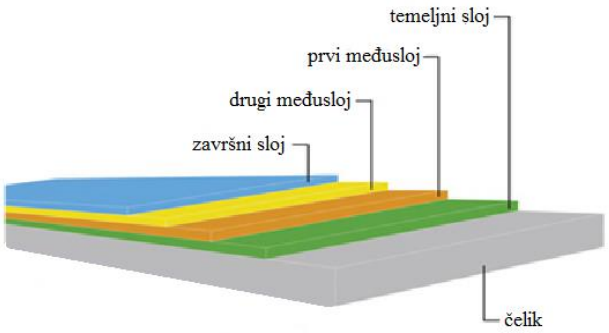
1. **Premazi sušivi na zraku**. U ovim premazima film se oblikuje isparavanjem otapala nakon čega vezivo reagira s kisikom iz atmosfere. Tipična veziva su alkidi, uretanski alkidi i epoksi esteri.
2. **Premazi na bazi vode.** U ovim premazima vezivo se dispergira u vodi i film se stvrdnjavanja isparavanjem vode i koalescencijom dispergiranog veziva da bi se formirao film. Veziva koja se najčešće dispergiraju u vodi jesu akrilni polimeri, vinilni polimeri i poliuretanske smole.

3. **Premazi nastali kemijskim stvrdnjavanjem.** Takvi premazi sastoje se od baze i od sredstva za stvrdnjavanje. Film se prvo osuši isparavanjem otapala ako premaz sadrži otapalo i nakon toga dolazi do stvrdavanja kemijskom reakcijom između baze i sredstva za stvrdnjavanje. Najčešće se upotrebljavaju epoksidni dvokomponentni premazi i poliuretanski dvokomponentni premazi.

1.4.3. Zaštitni sustav premaza

Zaštitni sustav premaza sastoji se od [7]:

1. temeljnog ili osnovnog sloja premaza
2. jednog ili više međuslojeva premaza
3. završnog (pokrivnog) sloja premaza



Slika 16. Prikaz slojeva zaštitnog sustava premaza

Na slici 16 prikazani su slojevi zaštitnog sustava premaza. Svaki od tih slojeva premaza ima određenu svoju ulogu. Nanošenje premaza obavlja se višeslojno uz prethodno djelomično ili potpuno sušenje prethodnog sloja.

Osnovni ili temeljni sloj premaza nanosi se direktno na površinu metala. Osnovni sloj mora biti kompatibilan s podlogom, mora imati dobru prionjivost na podlogu i mora biti kompatibilan s međuslojem. Služi kao aktivna zaštita od korozije. Ako temeljni sloj premaza ne prianja dobro na podlogu metala narušena je funkcionalnost cijelog premaznog sustava. Dobrom pripremom površine omogućuje se dobra prionjivost na podlogu uklanjajući razne nečistoće [7].

Međuslojni premaz se nanosi nakon temeljnog sloja. Doprinosi ukupnoj debljini premaza, štiti barijerno i snižava propusnost prema vodi i kisiku. Također često se koristi kada temeljni i završni sloj nisu kompatibilni [7].

Završni sloj premaza nanosi se na kraju procesa i mora biti korozijski stabilan, otporan na djelovanje ultravioletnog zračenja, mora biti elastičan, tvrd, nepropustan te također mora zadovoljiti i estetske odnosno dekorativne zahtjeve [7].

Zaštitni sustav premaza služi nam kao barijera između površine metala i korozivnog okoliša. Manja poroznost, nepropustljivost i deblji zaštitni sloj doprinose boljem zaštitnom efektu odnosno doprinose boljoj zaštiti metala u različitim korozivnim sredinama [7].

1.4.4. Komponente premaza

Organski premazi sastoje se od četiri osnovnih komponenti [13]:

1. veziva
2. pigmenta
3. otapala
4. aditiva i punila

Veziva

Veziva su organske tvari u tekućem ili praškastom stanju koje povezuje sve komponente premaznog sredstva, a nakon nanošenja stvaraju tvrdi zaštitni sloj. Veziva imaju najveći utjecaj na mehanička i kemijska svojstva premaza. Po sastavu mogu biti razne smjese na temelju sušivih ulja te prirodne i umjetne smole. U prošlosti su se primjenjivala različita prirodna ulja, a pošto je dugotrajno sušenje premaza usporavalo proces i proizvodnju danas se primjenjuju sintetičke smole [8]. Najvažnija veziva su na osnovi sušivih masnih ulja, poliplasta, derivata celuloze, prirodnih smola, prirodnog ili sintetičkog kaučuka i bituminoznih tvari.

Premazi se na osnovi vezivnog sredstva mogu podijeliti u tri glavne grupe [10]:

1. Oksidirajući premazi
2. Fizički sušivi ili jednokomponentni premazi
3. Kemijski sušivi ili dvokomponentni premazi

Oksidirajući premazi

U oksidirajuće premaze pripadaju svi konvencionalni premazi koji se zasnivaju na lanenom ulju ili na njegovom poboljšanom izdanju na bazi sintetičkog alkidnog veziva s relativno kratkim molekularnim lancima. Lako se nanose, ali su im svojstva znatno slabija

od složenijih premaza [10]. Prodorom kisika u film premaza lanci se povezuju. Hlapljenjem otapala kisik nastavlja prodirati u premaz, vezujući se za molekule i produljujući lance do veličine kad ih imobilizira. Tim premazima limitiran je debljina filma budući da može doći do istodobnog hlapljenja otapala i zaustavljanja prodiranja kisika u unutrašnjost premaza. Otapalo iz unutarnjih slojeva ostaje unutar premaza čim se zaustavlja proces oksidacije. Upotrebljavaju se za palube,nadgrađe i strojarnice [10].

Najvažniji predstavnici su [10]:

1. **Uljni premazi.** Uljni premazi su po kemijskom sastavu esteri glicerola i masnih kiselina, a prevladavaju kiseline s dvostrukim vezama između atoma ugljika. Spadaju u najstarija veziva i primjenjuju se za drvo i metale. Svojstva premaza su postojanost u atmosferi, žilavost, mekoća, neotpornost na visoke temperature i nepostojanost u mnogim kapljevinama pri trajnom uranjanju. Kao uljni premazi najviše se koriste laneno, sojino, kokosovo i tungovo ulje [19].
2. **Alkidni premazi.** Alkidne smole koje se koriste u premazima su poliesteri viševalentnih alkohola i dvovalentnih masnih kiselina. To su najraširenija poliplastična veziva. Alkidi se modificiraju drugim vezivima kao što su epoksidne smole, poliuretani, fenoplasti, aminoplasti i različita ulja. Daju tvrde i glatke premaze, postojane u atmosferi i slatkoj vodi i koje su otporne do 120 °C. Dodavanjem masnih ulja premazi postaju mekše te im raste žilavost odnosno postaju otpornije na udarce i na savijanje [19].
3. **Fenolni premazi.** Fenolne smole koje se koriste u premazima su kondenzacijski proizvodi fenola i formaldehida i spadaju među najstarija sintetska veziva. Imaju dobra mehanička svojstva te su kemijski otporni. Nedostatak fenolnih smola im je žuta do smeđa boja pa se ne mogu koristiti za svijetle premaze. Primjenjuju se kao temelj za automobile i kod zaštite brodova.

Fizički sušivi ili jednokomponentni premazi

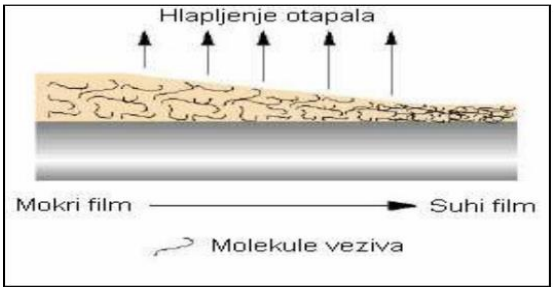
Fizički sušivi ili jednokomponentni premazi su skupina složenih premaza s duljim molekularnim lancima čije otapanje zahtijeva velike količine otapala. Film nastaje hlapljenjem organskog ili vodenog otapala odnosno tijekom hlapljenja dolazi do povezivanja lanaca koji se tada imobiliziraju. Nedostatak fizički sušivih premaza jest da se oni ponovno

mogu otopiti djelovanjem otapala, što je s druge strane njihova prednost jer se mogu nanositi povrh prethodnih premaza lako se povezujući s prethodnim slojem. Vrijeme sušenja premaza na bazi otapala ovisi o temperaturi i strujanju zraka, a na bazi vode vrijeme sušenja ovisi o temperaturi, strujanju zraka i relativnoj vlažnosti zraka. Sušenje tih premaza pri niskim temperaturama je puno sporije nego pri sobnim temperaturama [10].

Fizikalno sušenje može se podijeliti u tri faze:

1. Brzo hlapljenje otapala s površine
2. Hlapljenje otapala difuzijom kroz slojeve koncentrirane polimerne otopine
3. Hlapljenje preostalog otapala u filmu

Na slici 17 prikazan je proces fizikalnog sušenja boje na bazi otapala.



Slika 17. Proces fizikalnog sušenja boje na bazi otapala [20]

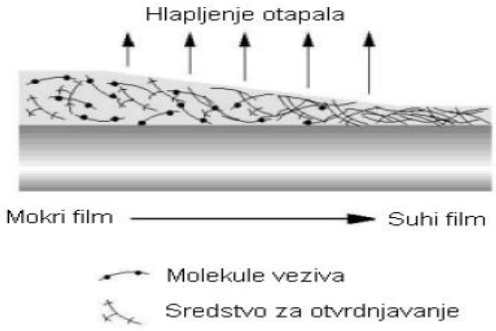
Predstavnici fizički sušivih ili jednokomoponentnih premaza su [10]:

1. **Bitumenski premazi**. Bitumeni se dobivaju iz nafte, suše se isparavanjem otapala, postojani su u vodi i tlu, u slabo kiselim i slabo lužnatim otopinama te čvrsto se vežu na metale. Najveći nedostatak im je što se mogu koristiti u vrlo uskom temperaturnom rasponu koji se kreće od -10 do 40 °C. Kod niskih temperatura postaju krhki a pri višim temperaturama postaju mekši i ljepljivi. Nepostojani su u organskim otapalima. Primjenjuju se za zaštitu podova, krovova, silosa, tankova, cjevovoda i lančanika [10].
2. **Premaz s kloriranim kaučukom.** Pri korištenju kloriranog kaučuka potrebna je posebna priprema jer otapalo može oljuštiti prethodne slojeve premaze. Otporan je na mehanička oštećenja, vodu i vlagu. Sadrži malu količinu krutih tvari i prije nanošenja potrebna je dobra priprema površine konstrukcije kao što je pjeskarenje. Koristi se za palube i oplakane površine oplate [10].

3. **Vinilni premazi.** Vinilne smole su termoplastični polimeri. Najznačajniji predstavnici su vinilklorid, vinilacetat, vinildenklorid, vinilflourid i vinildenflourid. Dodavanjem nezasićenih poliestera, alkida, akrliata, epoksida i bitumena modificiraju se i mijenjaju svojstva premaza po potrebi. Vinilni premazi suše se isparavanjem otapala i mogu se nanositi na metale i nemetale. Prednosti su im otpornost na mehanička oštećenja, postojanost u atmosferi i vodi, u kiselim, lužnatim i oksidativnim otopinama, teško su zapaljivi, a povećanjem udjela klora te uvođenjem fluora povisuje se kemijska i toplinska postojanost. Prije nanošenja potreba je posebna priprema površina pjeskarenjem. [10,19].
4. **Vinil-katranski premazi.** Dobivaju se kombinacijom vinilne i katranske smole i prije nanošenja također je potrebna specijalna priprema površine kao što je pjeskarenje jer postoji mogućnost da otapalo oljušti prethodne slojeve filma premaza. Imaju dobru otpornost na vodu i ulja i primjenjuju se za balastne i skladišne tankove [10].

Kemijski sušivi ili dvokomponentni premazi

Kemijski sušivi ili dvokomponentni premazi su složeni premazi koji sadrže vezivo i sredstvo za otvrdnjavanje s tako formiranim molekularnim lancima da isključivo pridržavanjem točno propisanih omjera miješanja postiže ciljani efekt. Film nastaje hlapljenjem otapala i nakon toga kemijskom reakcijom između veziva i sredstva za otvrdnjavanje [10]. Na slici 18 prikazan je proces kemijskog sušenja dvokomponentnih premaza na bazi otapala.



Slika 18. Proces kemijskog sušenja dvokomponentnih premaza na bazi otapala [20]

Rezultat kemijske veze u premazima je iznimna mehanička čvrstoća, otpornost na abraziju te otpornost na djelovanje agresivnih kemikalija. Nedostatak im je da je potrebna savršeno pripremljena površina budući da otapalo iz završnog sloja primjerice kod epoksidnih premaza ne može difundirati u prethodne međupremaze. Pod terminom savršeno pripremljena površina misli se da je površina obavezno pjeskarena, prije nego se nanesu takvi premazi, da bi se postigla odgovarajuća adhezija. Taj nedostatak nije karakterističan za sve vrste takvih premaza te postoje premazi koji se otapanjem dovoljno čvrsto vežu za podlogu. Takav primjer je dvokomponentni poliuretanski premaz. Premazi koji se upotrebljavaju za antikorozivnu zaštitu moraju biti primjenjivani u određenom temperaturom rasponu jer su diktirani kemijskom reakcijom [10].

Predstavnici složenih dvokomponentnih premaza su [10] :

1. **Poliuretanski premazi.** Dobiveni su na osnovi poliuretana koji nastaju reakcijom između organskih spojeva s izocijanatnim radikalima i viševalentnih fenola, alkohola i drugih organskih spojeva. Svojstava premaza su otpornost na abraziju i otpornost na temperature do 170 °C. Nanošenjem premaza nastajanje opna s sjajem i nijansom koja je postojana na sunce. Također, premazi su postojani u atmosferi i vodi, u kiselim i lužnatim otopinama i u organskim otapalima. Poliuretanski premazi ovisno o sastavu mogu varirati pa tako mogu biti meki i rastezljivi, nešto tvrđi i povratno taljivi pri grijanju te tvrđi i netaljivi nakon toplinskog otvrdnjavanja. Nanose se na metalne i nemetalne podloge pri čemu minimalna temperatura nanošenja iznosi 0 °C. Potrebna su specijalna otapala, a unatoč dobrom vezivanju za prethodni film premaza postoji mogućnost da dođe do pojave ljuštenja prethodnih slojeva. Poliuretanski premazi koriste se kod hidroizolacije i trafo-stanica [13,19].
2. **Epoksidni premazi.** Epoksidne smole koje se koriste u epoksidnim premazima su poliesteri viševalentnih alkohola i fenola koji sadrže etilenksidne prstene i slobodne OH^-skupine. Proizvode se polikondenzacijom dihidroksifenilpropana (bifenol A) i epilklohidrina u dva stupnja. Povećavanjem i umrežavanjem makromolekula dovodi do kataličkog ili termičkog otvrdnjavanja premaza. Kao umrežavala često se koriste i drugi fenoli, amidi, poliamidi i poliuretani. Dobivene umrežene epoksidne smole velike su toplinske (do 120 °C) i kemijske postojanosti, postojane su u

atmosferi, vodi i tlu, otporne prema organskim otapalima, kiselim i lužnatim vodenim otopinama. Prednost im je velika adhezivnost za većinu materijala, čvrstoća, glatkoća i otpornost na abraziju. Nedostatak je taj što su epoksidni slojevi skloni kredanju odnosno na površini se pojavljuje prašina zbog raspada veziva pod utjecajem ultravioletnog zračenja što kvari estetiku premaza te smanjuje otpornost na trošenje trenjem. Prije nanošenja premaza potrebno je dobro pripremiti površinu pjeskarenjem. Također je potrebno da prođe točno određeno vremensko razdoblje između nanosa dva sloja premaza. Zbog svih svojih svojstava primjenjuju se kod prevlačenja metala u automobilskoj i elektroindustriji, u prehrambenoj industriji za unutarnju zaštitu limene ambalaže i u kemijskoj industriji za zaštitu spremnika, cjevovoda i uređaja izloženih morskoj vodi [10,19,21].

3. **Epoksi-katranski premazi.** Kombinacija su epoksi spojeva i katrana visokog udjela krutih tvari koji iziskuju dobro pripremu površinu pjeskarenjem. Vrijeme između nanošenja slojeva točno je određeno. Prednosti su im vrlo dobra otpornost na vodu, kemikalije i ulja. Vrlo su otporni i na mehanička oštećenja i najviše se primjenjuju kao zaštitni premazi za podvodne dijelove broda te za balastne i teretne tankove [10].
4. **Cink-epoksidni premazi.** Premazi koji sadrže 92-94 % suhog cinčanog praha. Imaju vrlo kratko vrijeme sušenja, otporni su na mehanička oštećenja te zbog anodnog učinka cinka prema površini podloge izvrsna su katodna zaštita čeličnih oplata [10].
5. **Cink-silikatni premazi.** Cink-silikatni premazi imaju slična svojstva kao i cink-epoksidni premazi. Primjenjuju se u zaštiti odobalnih konstrukcija, kod dijelova broda koji su izloženi mehaničkim oštećenjima te specijalne vrste se koriste kao temeljni premazi [10].

Pigmenti

Pigmenti su prirodne ili umjetne praškaste tvari najčešće anorganskog porijekla, koje se ne otapaju u vezivu i zaštitnom sloju daju boju. Uloga pigmenata je da premaze učine neprozirnim, da povećaju mehanička i zaštitna svojstva premaza, njihovu kemijsku i termičku postojanost te da poboljšaju refleksiju svjetlosti [8]. Zaštitno djelovanje pigmenata može biti pasivirajuće, inhibitorsko, neutralizirajuće i katodno [10].

Pasivirajuće djelovanje stvara dodatni pasivni zaštitni film-oksid. Takvo djelovanje na željezo imaju olovni minij (Pb_3O_4) i olovni kromat ($PbCrO_4$) Kod inhibitorskog djelovanja stvara se inhibitor korozije reakcijom između pigmenata i veziva ili okoline. Kod neutralizirajućeg djelovanja pigment posjeduje lužnata svojstva i neutralizira kiseline iz okoline. Katodna zaštita sprečava koroziju galvanskih struja, tako da propadne premaz a ne površina. Da bi došlo do katodne zaštite metalni pigmenti moraju biti negativinijeg elektrodnog potencijala od potencijala metala koji se štiti [7].

Pigmenti mogu biti organski, anorganski, metalni te čađa. Najznačajniji anorganski pigmenti su [8]:

a) **Olovni minij** (crveni minij, Pb_3O_4) pigment za temeljni premaz za zaštitu željeza.
b) **Olovni sulfat** ($PbSO_4$) ima inhibitorsko i neutralizirajuće djelovanje.
c) **Bazični olovni karbonat** (olovno bjelilo, $PbCO_3$, $Pb(OH)_2$) primjenjuje se za pokrivne premaze koji su izloženi vlažnoj atmosferi (slabo bubri), osjetljiv prema H_2S i SO_2 jer stvara crni PbS.
d) **Olovni kromat** ($PbCrO_4$) djeluje pasivirajuće na željezo.
e) **Olovna gleđ** (PbO) upotrebljava se kao dekorativni pokrivni pigment.
f) **Olovni suboksid** (PbO_2) upotrebljava se kao temeljni i završni premaz.
g) **Cinkovi kormati** djeluje pasivirajuće na željezo, aluminij i magnezij.
h) **Cinkovo bjelilo** (ZnO) ima neutralizirajuće djelovanje.
i) **Željezni oksid** (Fe_2O_3) koristi se kao temeljni premaz za zaštitu metala u atmosferi, morskoj vodi i kemijskoj industriji.
j) **Titanov dioksid** (TiO_2) bijeli pigment koji je inertan prema kemijskim i atmosferskim utjecajima.
k) **Silicijev karbid** (SiC) služi kao zaštita predmeta u kiselinama i diminim plinovima.
l) **Cink u prahu** za katodnu zaštitu Al i Cu.
m) **Crni pigment** (ugljen, grafit i čađa) koriste se za toplostalne boje.

Punila

Punila su anorganski pigmenti slabe pokrivne moći koji se dodaju vezivu s ciljem kontrole reoloških svojstava boje, poboljšane mazivosti i poboljšanja mehaničkih i barijernih svojstava. Punila također mogu poboljšati kemijsku i korozijsku otpornost premaza i povečati otpornost na abraziju i udarce. Punila i veziva moraju također biti kompatibilni da bi se dobio kvalitetan premaz [8,10]. Najčešće se koriste punila od sulfata, karbonata, silikata i oksida [8].

Aditivi ili dodaci

Aditivi odnosno dodaci su tvari koje se dodaju premazima s ciljem poboljšanja nekih njihovih svojstava. Najvažniji dodaci su svjetlosni stabilizatori, sikativi koji ubrzavaju sušenje premaza, sredstva za sprečavanje taloženja, sredstva za kvašenje, sredstva za poboljšavanje izgleda površine i inhibitori korozije. Neki aditivi mogu istovremeno djelovati na više svojstava premaza pa pripadaju u više grupa [8].

Otapalo

Otapala su organski spojevi u kojima se vezivo otapa, ali pritom ne dolazi do kemijskih promjena. Upotrebljavaju se za postizanje određene viskoznosti zaštitnih sredstava tako da se ona mogu lako nanijeti na metalnu površinu. Nakon nanošenja premaznog sredstva na podlogu otapalo isparava, a nanesni sloj se na podlozi skrućuje stvarajući čvrsti sloj premaz. Osim na viskoznost, otapalo utječe i na brzinu sušenja, karakteristike premaza i sjaj premaza[7,10].

Bitni faktori pri izboru otapala su [7]:

- **Sposobnost otapanja.** Sposobnost otapanja pokazuje koju tvar je moguće otopiti u određenom otapalu na danoj temperaturi. Esteri i ketoni su prava otapala, alkoholi latentna, a ugljikovodici nisu otapala [9].
- **Vrelište ili destilacijski interval.** Vrelište ili destilacijski interval je temperatura pri kojoj je tlak para jednak atmosferskom tlaku u standardnim uvjetima. Čiste tekućine koje imaju isti kemijski sastav imaju jednu točku vrelišta pri određenom tlaku. Međutim, tekućine sastavljene od smjese sličnih kemijskih spojeva kao što su benzin ili smjese viših aromata imaju vrelište preko niza temperatura pa se kod njih uspoređuju destilacijski intervali [9].

- **Hlapivost.** Hlapivost je indikator "lakoće" kojom molekule tekućine napuštaju površinu. Hlapivost ovisi o tlaku pare te zato hlapive tekućine imaju visoki tlak para pod normalnim uvjetima[9].
- **Točka plamišta.** Točka plamišta je temperatura pri kojoj je smjesa pare otapala i zraka zapaljiva otvorenim plamenom. Plamište se otapala povisuje smanjenjem tlaka para i povećanjem molekularne mase i vrelišta [9].
- **Cijena**
- **Otrovnost.** Otrovnost otapala se određuje preko studija utjecaja otapala na okoliš. Pokrivaju širok niz standardnih postupaka ispitivanja uključujući i testove na životinjama, učinke otrovnosti koji se javljaju u kontaktu tekućine s kožom, izlaganje parama tekućine pri nizu definiranih koncentracija i gutanjem. Otrovnost otapala procjenjuje se preko LD_{50} i LC_{50} podataka.

Kod izbora otapala potrebno je uzeti u obzir pravilo **slično se otapa u sličnome**. Kao posljedica neodgovarajućih otapala je nekvalitetan premaz. Otapala nam također služe i za skidanje starih premaza i odmašćivanje [7].

Otapala se mogu podijeliti u tri skupine [9] :

1. Ugljikovodici
    - Aromatski ugljikovodici (toulen, ksilen, stiren)
    - Alifatski ugljikovodici (benzini)
    - Trepeni
2. Derivati ugljikovodika s kisikom
    - Alkoholi (butanol, propanol)
    - Esteri
    - Ketoni
    - Glikoli
3. Klorirani ugljikovodici

1.4.5. Vodorazrjedivi premazi

Zaštita okoliša danas je glavna stavka svake industrije. Propisi sve više vrše pritisak na industriju usmjeravajući ih na razvoj i upotrebu premaza koji su manje štetni za našu okolinu. Proizvođači premaza stalno rade na razvoju novih premaza koji nisu toliko štetni za zdravlje i okolinu. Vodorazrjedivi premazi pružaju mogućnost smanjenje razine hlapivih organskih spojeva u odnosu na tradicionalne premaze s organskim otapalima. Tako konvencionalni premazi mogu sadržavati i do 70% otapala, dok vodeni premazi sadrže manje od 20% otapala. Međutim, još uvijek postoje tehnički izazovi s karakteristikama vodenih premaza u odnosu na tradicionalne [23,24].

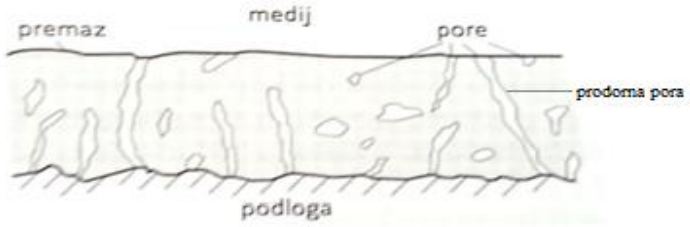
Prednosti vodenih premaza su smanjenje emisija hlapivih organskih spojeva, primjena konvencionalnih postupaka nanošenja smanjenje otrovnosti i mirisa, povećanje sigurnosti i udobnosti radnika, jednostavnost čišćenja alata, minimalan opasni otpad i mala zapaljivost [25].

Nedostaci takvih premaza su tendencija prema pjenjenju, potreba za čistom površinom za kvalitetno nanošenje, dulje vrijeme sušenja ili povišenje temperature pečenja, viša cijena, poteškoće u dobivanju visokog sjaja, osjetljivost na vlagu i potreba za kontroliranom vlažnošću i temperaturom aplikacije [25].

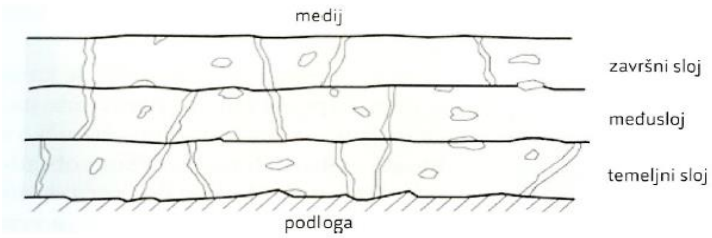
1.4.6. Mehanizam zaštitnog djelovanja premaza

Mehanizam zaštitnog djelovanja premaza ovisi o debljini i poroznosti premaza pri čemu su ta dva svojstva ovisna jedna o drugome. Tehnički je nemoguće postići jednoličnu debljinu premaza po čitavoj površini, osobito ako postoje nepristupačna mjesta, udubine, oštri bridovi, izbočine i udubine. Na takvim mjestima tada dolazi do pojave manje debljine premaza što dovodi do opadanje zaštitne sposobnosti premaza zbog veće poroznosti. Takvo smanjenja debljine premaza i povećanje poroznosti uvelike utječe na lokalni zaštitni učinak premaza [26].

Poroznost se uvelike smanjuje povećanjem broja slojeva u sustavu premaza. Mala je vjerojatnost da se prodorna pora temeljnog sloja, koje se proteže od površine temeljnog premaza do podloge, nastavi u slijedećem sloju tako da višeslojni premazi gotovo da nemaju prodorne pore [26]. Na slici 19 prikazana je poroznost sustava s jednim slojem premaza, a na slici 20 prikazan je troslojni sustav premaza bez ijedne zajedničke prodorne pore unutar sustava.



Slika 19. Poroznost jednog sloja [26]



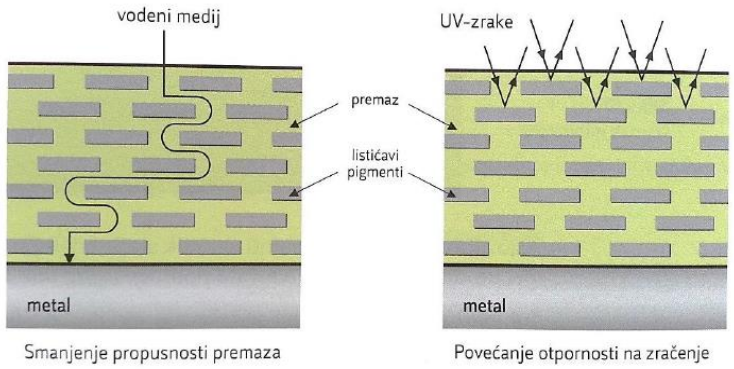
Slika 20. Poroznost u troslojnom sustavu premaza [26]

Kontrola i sprječavanje korozije postiže se pomoću tri glavna principa:

1. učinka barijere samog premaza
2. uvođenjem inhibitora korozije-
3. pomoću galvanskog učinka.

Učinak barijere

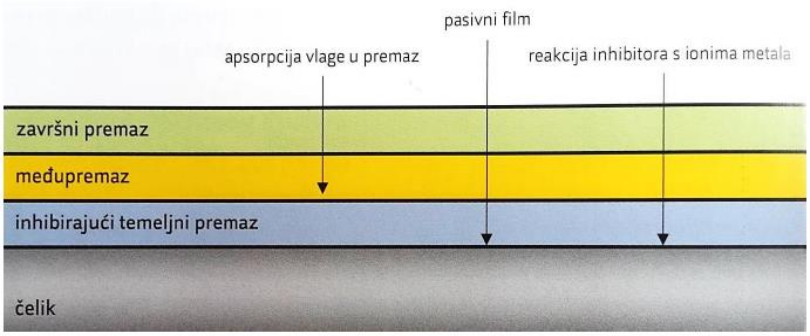
Premazi na bazi polimera koriste učinak barijere da zaštite podlogu od agresivnih kemikalija i okruženja, naročito je to važno kad su konstrukcije neprekidno uronjene. Učinak barijere se može postići primjenom debelih premaza od 250 do 500 μm vrlo niskom propusnošću na vodu. Pri tome se stvara barijera koja zadržava nabijene ione i usporava prodor kisika i vode prema površini. Učinak barijere zbog svojih svojstava nepropusnosti često je prvi i jedini izbor zaštite premazima za čelik koji je neprekidno uronjen. Poboljšanje učinka barijere te smanjenje debljine premaza može se postići dodatkom pigmenata u obliku listića kao što su listići Zn, listići grafita, listići željeznog oksida i listići aluminija. Svojstvo pigmenata u listićima je da su paralelno orijentirani s površinom čelika pa tada medij ima duži i kompliciraniji put do površine. Također takvi pigmenti reflektiraju elektromagnetsko i ultravioletno zračenje čime usporavaju degradaciju veziva i povećavaju trajnost zaštite. Na slici 21 prikazano je kako listići utječu na propusnost i otpornost na zračenje [13,26].



Slika 21. Učinak listićavih pigmenata u premazu [26]

Učinak inhibitora

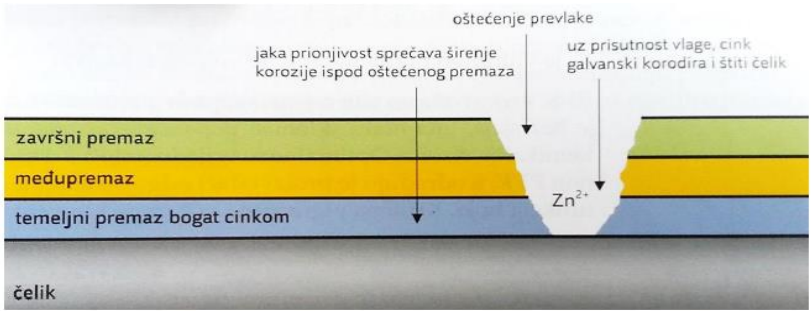
Učinak inhibitora postiže se primjenom temeljnih premaza s inhibitorskim pigmentima koji usporavaju ili sprječavaju proces korozije. Nedostatak inhibitorskih pigmenata je njihova topljivost u vodi tj. privlače vodu u premaz i zbog toga razloga nisu pogodni za zaštitu površina konstrukcija koje su duže vrijeme uronjene. Rezultat dužeg uranjanja bila bi pojava mjehurića i brzo uništavanje zaštitnog premaza. Premazi s inhibitorskim pigmentima se zato primjenjuju za zaštitu u atmosferskim uvjetima [13,26]. Na slici 22 prikazan je učinak inhibitora.



Slika 22. Učinak inhibitora [26]

Galvanski učinak

Galvanski učinak postiže se upotrebom premaza koje sadrže kugličaste pigmente od praškastog cinka. Cink je neplemenitiji metal i kao takav biti će izložen koroziji dok će čelik ostati zaštićen. Produkti korozije cinka malo su topivi u vodi pa prevlake s cinkom nisu pogodne za površine koje su neprestano uronjene u vodi. [13]. Tipična veziva za boje s cinkovim prahom su polistiren, klorkaučuk, epoksid, etilsilikat i alkalni silikat [26]. Na slici 23 prikazan je galvanski učinak zaštite pomoću temeljnog premaza s cinkom.



Slika 23. Galvanski učinak zaštite premazima [26]

1.4.7. Metode nanošenja premaza

Premazna sredstva se mogu na podlogu čelične konstrukcije nanositi pomoću:

- četki ili kistovima
- lopaticama
- valjcima
- prskanjem
- uranjanjem
- prelijevanjem
- elektroforezom.

Četke ili kistovi sastoji se od snopova životinjskih, biljnih ili sintetičkih vlakana. Prednosti su im mogućnost dobrog utrljavanja boje, rad bez dodatka razrjeđivača, brzina, mobilnost kod reparaturnih zahvata i minimalni gubici premaznog sredstva. Pogodni su za nanošenje temeljnog sloja na konstrukcijski materijal, za bojanje rubova, kutova i sličnih manjih i nedostupnih mjesta. Nedostaci su im sporost premazivanja, pojava pruga od kista što dovodi do neravnomjerne debljine premaza i neestetskog izgleda [14]. Na slici 24 prikazani su različiti tipovi kistova.



Slika 24. Prikaz različitih tipova kistova [27,28,29]

Lopatice su izgrađene od čelika te služe za nanošenje kitova i nekih pastoznih premaza s velikim udjelom suhe tvari. Dobivaju se neravnomjerni i hrapavi premazi čija je debljina premaza preko 0.1 mm[14]. Na slici 25 prikazana je lopatica.



Slika 25 Lopatica [30]

Valjci se sastoji od vune ili drugih vlakana te nanošenje premaza valjcima je puno efikasnije nego nanošenje premaza kistovima. Prednost nanošenja valjcima je ravnomjernija i glađa površina, a nedostatak je lošije utrljavanje boje u odnosu na četke. U mnogim slučajevima se premaz zna nanositi prvo kistom da se boja dobro utrlja i nakon toga valjkom da nastane estetski glađa i ravnomjernija površina [14]. Na slici 26 prikazan je valjak za nanošenje premaza.



Slika 26. Valjak [31]

Uranjanjem se premazi nanose na male predmete jednostavnog oblika. Potrebno je boju razrijediti te je potrebno naknadno ocjeđivanje viška premaza. Prednost je da su mali gubici boje ali nedostatak je postizanje jednolične debljine premaza na kompliciranijim profilima [14].

Prelijevanje se koristi kod većih predmeta koji su često rešetkasti i rebrasti. Po takvim predmetima premazi se lako razlijevaju. Potrebo je razrjeđivanje premaza kako bi se premaz ravnomjerno razlio po površini predmeta. Višak premaza se sakuplja u spremnicima ispod zone prelijevanja te se može ponovno upotrijebiti. Time se gubici smanjuju na minimum [14].

Elektroforeza se najčešće koristi za ličenje metala u vodenim disperzijama ili otopinama boja i lakova u kojima postoje pozitivno i negativno nabijene čestice polimernog veziva s pigmentom ili bez njega, pri čemu je voda suprotno nabijena. Postupak je pogodan samo za temeljne premaze debljine 20-35 μm [14].

Prskanje ili štrcanje je vrlo varijabilan postupak s mnogim specifičnostima i prednostima. Prskanje je obavlja stlačenim zrakom na sobnoj ili povišenoj temperaturi, bezračnim ili elekrostatičkim postupkom.

Za zračno prskanje upotrebljavaju se pištolji u koje se uvodi zrak pod tlakom od 0,12 do 0.5 MPa i premazno sredstvo koje se zrakom raspršuje po površini predmeta. Postoje pištolji kojima je moguće nanositi višekomponentni premazi. Premazno sredstvo se u pištolj nasisava iz spremnika montiranog ispod raspršivača. Kod nanošenja premaza prskanjem potrebno je prilagoditi viskoznost premaza što se postiže dodavanjem razrjeđivača u boje. Dodatkom razrjeđivača produžuje se vrijeme sušenja premaza, dobivaju se tanji i porozniji slojevi, dolazi do jačeg zagađenja zraka i povećava se opasnost od požara i eksplozije. Prskanje se obavlja u komorama s ventilacijom čime se uklanja nastala magla. Prednost prskanja je dobivanje ravnomjerne debljine premaza, visoka produktivnost i visoki estetski dojam Najveći nedostatak ovog postupka je veliki gubitak premaznog sredstva u okolinu koji se može kretati od 20 do 50 % [14]. Na slici 27 prikazan je pištolj za zračno prskanje.



Slika 27. Pištolj za zračno prskanje [32]

Kod bezzračnog prskanja ili airless postupka mlaz premaznog sredstva nastaje u pištolju bez miješanja sa zrakom. Može biti pneumatskim putem gdje se premazno sredstvo potiskuje visokotlačnim zrakom ili nekim plinom i hidrauličko gdje se koristi pumpa za boju. Tlak kod bezračnog prskanja može se kretati između 1 i 30 MPa. Prednosti su veća produktivnost nego pri zračnom prskanju i moguće je dobiti deblje prevlake pa je moguće smanjiti broj slojeva premaza. Pogodno je za nanošenje temeljnog premaza jer snažan mlaz pod visokim tlakom daje izvrsnu penetraciju, ali to tada utječe na dobivanje glatkih premaza i estetskog izgleda [14]. Na slici 28 prikazan je uređaj za bezzračno prskanje.



Slika 28. Uređaj za bezzračno prskanje [33]

1.5. Zaštita oblikovanjem konstrukcija

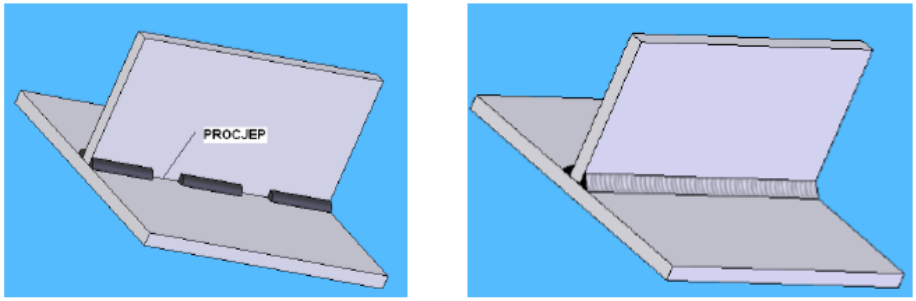
Osim što je potrebna odgovarajuća izvedba zaštite od korozije, važna je i izvedba konstruktivnih detalja u cilju smanjenja intenziteta korozije na što manju mjeru. Pravilnim projektiranjem određenih konstrukcija moguće je znatno unaprijediti zaštitu. Norma koja pokriva to područje je HRN EN ISO 12944-3.

Prilikom spajanja limova vijcima, zakovicama ili isprekidanim zavarima u procijepu spoja može se pojaviti korozija. Nastali produkti imaju veći volumen pa redovito dolazi do deformacija. Preporuča se korištenje spojeva na većim površinama, najbolje je zavarivanje na cijelom spoju, kao i zaštita premazom koja učinkovito otklanja pojavu korozije.

Pri projektiranju potrebno je [10]:

- birati što jednostavnije oblike što olakšava održavanje, čišćenje i smanjuje mogućnost nakupljana nečistoća, a time i vjerojatnost pojave korozije
- izbjegavati oštre rubove koje je potrebno zagladiti u svrhu jednolike debljine premaza
- svaku površinu učiniti dostupnu premazivanju
- oblikovati konstrukciju tako da se na njoj ne zadržava voda, vlaga ili neka agresivna tekućina te je potrebno osigurati otjecanje vode
- za toplinske uređaje predvidjeti djelotvoran sustav hlađenja materijala
- birati materijale za konkretnu namjenu i uvjete u kojim će se konstrukcija koristiti
- izbjegavati visoke temperature, tlakove, naprezanja i brzine gibanja medija osim ako to nije funkcionalno neophodno
- provoditi neophodno plansko i preventivno održavanje
- izbjegavati korištenje različitih materijala u kontaktu zbog moguće pojave galvanske korozije
- pri zavarivanju odabrati odgovarajuću elektrodu
- nakon zavarivanja područje zavara obraditi radi boljeg prianjanja prevlake

Na slici 29 prikazano je loše konstrukcijsko rješenje gdje je isprekidano zavareni spoj (lijevo) i bolje konstrukcijsko rješenje odnosno povoljnije korozijsko rješenje gdje je kontinuirano zavareni spoj (desno).



Slika 29. Prikaz lošeg i boljeg konstrukcijskog rješenja

1.6. HRN EN ISO 12944

1.6.1. Uvod

Nezaštićeni čelik u vodi, atmosferi ili tlu izložen je koroziji koja može dovesti do njegovog teškog oštećenja. Kako bi se izbjegle štete od korozije i posljedice koje one donose potrebno je odabrati odgovarajući premazni sistem koji će ga zaštiti od korozije na određeno vremensko razdoblje.

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

1. Kakvi će biti uvjeti kojima će premaz biti izložen?
2. Kakvi će biti okolišni uvjeti prilikom nanošenja premaza?
3. Na koji način treba pripremiti površinu prije nanošenja premaza?
4. Može li se odabrati premaz koji je manje opasan za okoliš i za čovjeka?
5. Kolika je cijena samog premaza?

Pri tome odabiru može nam uvelike pomoći norma HRN EN ISO 12944. HRN EN ISO 12944 je međunarodna norma pod općim nazivom "Boje i lakovi – Zaštita od korozije čeličnih konstrukcija zaštitnim sustavom boja". Norma se sastoji se od osam dijelova:

1. HRN EN ISO 12944-1 Opći uvod
2. HRN EN ISO 12944-2 Razredba okoliša
3. HRN EN ISO 12944-3 Razmatranje oblikovanja
4. HRN EN ISO 12944-4 Vrste površina i priprema površina
5. HRN EN ISO 12944-5 Zaštitni sustavi boja
6. HRN EN ISO 12944-6 Metode laboratorijskih ispitivanja svojstava
7. HRN EN ISO 12944-7 Izvođenje i nadzor radova bojanja
8. HRN EN ISO 12944-8 Razvoj specifikacija za nove radove i održavanje

U daljnjem tekstu biti će istaknuti neki dijelovi norme HRN EN ISO 12944 koji su bile važne tijekom izrade diplomskog rada odnosno tijekom laboratorijskog ispitivanja sustava zaštitnih premaza za primjenu u trafo-stanicama.

1.6.2. HRN EN ISO 12944-2 Razredba okoliša

Ovaj dio norme bavi se klasifikacijom okoliša i korozivnošću okoliša u kojem su izložene čelične konstrukcije. Norma opisuje različite utjecaj atmosferskih prilika te utjecaj voda i tla na širenje korozije [34].

Kod atmosferske korozije brzina korozije se može ubrzati zbog [34]:

- Povećanjem relativne vlažnosti
- Pojavom kondenzacije
- Povećanjem količine onečišćenja u atmosferi

Prema normi HRN EN ISO 12944 atmosferska okruženja su podijeljena u šest kategorija atmosferske korozivnosti[34]:

1. C1 : jako mala
2. C2 : mala
3. C3 : srednja
4. C4 : visoka
5. C5-I : jako visoka, industrijska
6. C5-M : jako visoka, more

Standard definira korozivnost okoline preko gubitka mase po jedinici površine uzorka od niskolegirajućeg čelika ili cinka. Za očekivati je da će najmanji gubitak mase biti u kategoriji atmosferske korozivnosti C1, a dok će najveći gubitak mase biti u kategoriji atmosferske korozivnosti C5-M.

Za konstrukcije koje su uronjene u vodu ili zakopane u tlu korozivnost je lokalne prirode i kategorije korozivnosti je teško definirati. Kategorije korozivnosti za vodu i tlo se mogu podijeliti u tri kategorije[34]:

1. lm1 : slatka voda
2. lm2 : slana i boćata voda
3. lm3 : tlo

U tablici 2. i 3. prikazane su kategorije atmosferskih korozivnosti i kategorije korozivnosti vode i tla te njihovi primjeri tipičnog okruženja.

Tablica 2. Kategorije atmosferskih korozivnosti i primjeri tipičnih okruženja [34]

Kategorije korozivnosti	**Primjeri tipičnog okruženja**	
	Vanjsko	**Unutarnje**
C1: jako mala		Grijanje zgrade s čistom atmosferom. Npr. škole, uredi, trgovine, hoteli
C2: mala	Okruženja s niskom razinom zagađenja. Najčešće sela.	Negrijane zgrade gdje se može pojaviti kondenazacija. Npr. sportske dvorane, garaže
C3: srednja	Gradska i industrijska okruženja sa srednjim zagađenjem sumporovim dioksidom. Obalna područja sa malim salinitetom.	Prostorije za proizvodnju sa velikom količinom vlage i malim zagađenjem zraka. Npr. pogoni za proizvodnju hrane, praonice
C4: visoka	Industrijska područja i obalna područja sa srednjim salinitetom	Kemijski pogoni, bazeni, pristaništa brodova i čamaca.
C5-I: jako visoka, industrijska	Industrijska područja sa visokom količinom vlage i agresivnom atmosferom.	Zgrade ili područje s gotovo konstantnom kondenzacijom i velikim zagađenjem.
C5-M: jako visoka, more	Obalna i morska područja sa visokim salinitetom.	Zgrade ili područje s gotovo konstantnom kondenzacijom i velikim zagađenjem.

Tablica 3. Kategorije korozivnosti za vodu i sol i primjeri okruženja [34]

Kategorija korozivnosti	**Okruženje**	**Primjeri okruženja i konstrukcija**
lm1	Slatka voda	Riječna postrojenja, hidroelektrane
lm2	Slana ili boćata voda	Lučka područja s konstrukcijama kao što su zaštitna vrata, ključanica, pristaništa i ostale pomorske konstrukcije
lm3	Tlo	Ukopani tankovi, čelični stupovi, čelične cijevi

1.6.3. HRN EN ISO 12944-5 Zaštitni sustavi boja

Ovaj dio norme opisuje različite vrste premaza i srodnih proizvoda na bazi njihovog kemijskog sastava i tipu filma koji nastaje. Ona daje primjere različitih premaznih sistema koji su se pokazali odgovarajućim za konstrukcije izložene korozijskim procesima i korozijskim sredinama prema EN ISO 12944-2 na temelju sadašnjeg znanja. Norma EN ISO 12944-5 koristi se zajedno s EN ISO 12944-6 [19].

Trajnost zaštitnog sustava ovisi o nekoliko parametara [19]:

1. Vrsti premaznog sustava
2. Dizajnu konstrukcije
3. Stanju podloge prije priprave
4. Stupnju pripremljenosti površine
5. Kvaliteti pripremljene površine
6. Stanju bilo zglobova, rubova ili zavara prije pripreme
7. Uvjetima prilikom primjene premaza
8. Uvjetima izloženosti nakon primjene premaza

Vrijeme trajnosti premaza može se podijeliti u tri raspona [19]:

a) Nisko (*L = low*) : od 2 do 5 godina
b) Srednje (*M = medium*) : od 5 do 15 godina
c) Visoko (*H = high*) : više od 15 godina

Bitno je napomenuti da vrijeme trajnosti nije "jamstveno vrijeme". Trajnost nam može pomoći kod postavljanja programa održavanja. Jamstveno vrijeme je vrijeme definirano u ugovoru između izvođača i kupca te je ono kraće nego vrijeme trajnosti [19].

1.6.4. HRN EN ISO 12944-6 Metode laboratorijskih ispitivanja svojstava

U ovom dijelu norme govori se o metodama laboratorijskih ispitivanja i ispitnih uvjeta za ocjenu premaznog sustava koji se koristiti za zaštitu čeličnih konstrukcija od korozije (tablica 4). Ovaj dio norme pokriva testiranje premaznih sistema na čelicima pripremljenim mehaničkim čišćenjem, vrućim pocinčavanjem i naštrcanim metalnim prevlakama.

Tablica 4. Postupci ispitivanja za premazne sustave u atmosferskoj korozivnosti [35]

Korozivnost prema ISO 12944-2	Vrijeme trajnosti	ISO 2812-1 Kemijska otpornost	ISO 2812-2 Vodeno uranjanje	ISO 6270 Vodena kondenzacija	ISO 7253 Slana komora
C2	Mala	-	-	48	-
	Srednja	-	-	48	-
	Visoka	-	-	120	-
C3	Mala	-	-	48	120
	Srednja	-	-	120	240
	Visoka	-	-	240	480
C4	Mala	-	-	120	240
	Srednja	-	-	240	480
	Visoka	-	-	480	720
C5-I	Mala	168	-	240	480
	Srednja	168	-	480	720
	Visoka	168	-	720	1440
C5-M	Mala	-	-	240	480
	Srednja	-	-	480	720
	Visoka	-	-	720	1440

1.7. Elektrokemijska impendancijska spektroskopija

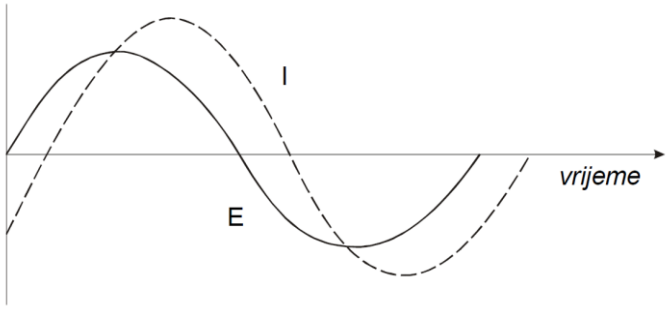
1.7.1. Teorijska osnova

Elektrokemijska impendancijska spektroskopija (EIS) je grana ac-tehnike *(alternating current technics)* koja opisuje odziv strujnog kruga na izmjeničnu struju ili napon kao funkciju frekvencije. Definira je Ohmovim zakona za izmjeničnu struju [36]:

$$E = I \times Z$$

gdje je:

E - potencijal, V
I - struja, A
Z - Faradyska impendancija, Ω



Slika 30. Izmjenični val za narinuti potencial (E) i rezultirajuću struju (I) [36]

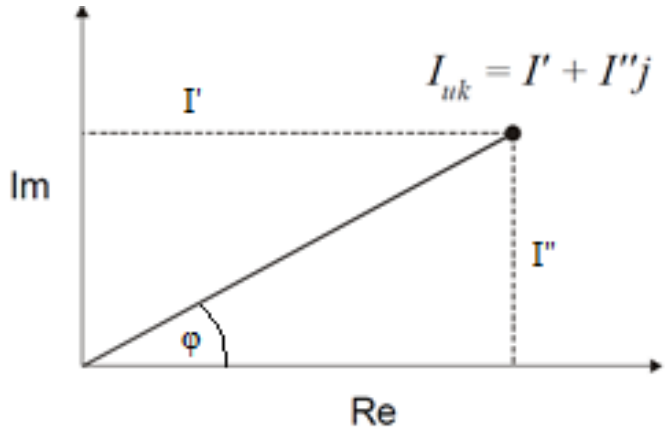
Slika 30 prikazuje tipičan prikaz sinusoidalnog vala potencijala (E) primijenjenog kroz neki krug i rezultirajući ac strujni val (I). Strujni sinusoidalni val se može opisati jednadžbom[36]:

$$I(t) = A\sin(\omega t + \varphi)$$

gdje je:

I(t) - trenutna struja, A
A - maksimalna amplituda
ω - frekvencija u rad / s ($\omega = 2\pi f$)
f - frekvencija u Hz
t - vrijeme, s
φ - fazni kut

Vektorskom analizom može se prikladno karakterizirati ac krivulja. Ona opisuje val u smislu njegove amplitude i faznih karakteristika. U numeričkoj analizi strujni vektor je definiran faznim kutem (φ) i veličinom struje (I) te osima koje su definirane kao realna (I') i imaginarna (I"). Vektori se prikazuju kompleksnim brojevima. AC strujni vektor može se definirati kao zbroj realne i imaginarne komponente [36]. Na slici 31 prikazan je strujni vektor opisan realnim i imaginarnim koordinatama.



Slika 31. Strujni vektor opisan realnim i imaginarnim koordinatama [36]

Realna i imaginarna komponenta potencijalnog ili strujnog vala definira je s obzirom na neki referentni val. Realna komponenta je u fazi s referentnim valom, a imaginarna komponenta je 90 stupnjeva van faze. Impendancijski vektor se tako može izračunati kao kvocijent potencijalnog i strujnog vektora [36]:

$$Z_{uk} = \frac{E' + E''j}{I' + I''j}$$

upotrebom Ohmovog zakona za izmjeničnu struju dobije se:

$$Z_{uk} = Z' + \mathrm{Z''j}$$

Apsolutna vrijedno impedancije odnosno dužina vektora jednaka je:

$$|Z| = \sqrt{Z'^2 + Z''^2}$$

a fazni kut je definiran kao:

$$\tan\varphi = \frac{Z''}{Z'}$$

Elektrokemijska ćelija može se prikazati električnim modelom. Elektrokemijska reakcija koja se odvija na elektrodnoj površini analogna je električnom krugu koji se sastoji od otpora i kondenzatora [36].

1.7.2. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija kod proučavanja korozije

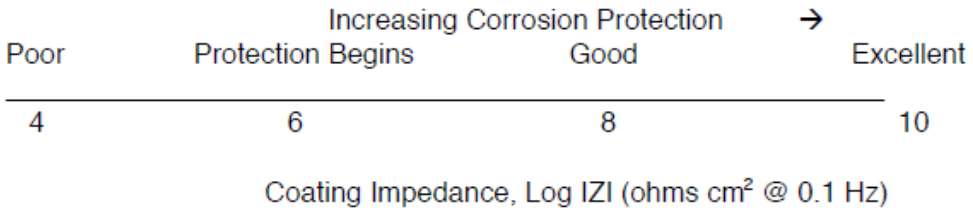
Elektrokemijska impedancijska spektroskopija može dati točne kinetičke i mehanističke podatke upotrebom različitih tehnika i izlaznih veličina te je postala važno i snažno sredstvo u proučavanju korozije, prevlaka, baterija, elektrokatalize, elektroplatiranja i elektro-organske sinteze [36].

Prednosti elektrokemijske impendancijske spektroskopije nad dc-tehnikom *(direct current technics)* su [36]:

1. **Mala amplituda** EIS tehnika koristi vrlo malo pobudne amplitude, vrlo često u rasponu od 5 do 10 mV. Pobudni val takve amplitude umanjuje pogreške uzrokovane mjernom tehnikom jer dolazi do minimalnog narušavanje elektrokemijskog sustava.
2. **Proučavanje mehanizma.** Provedeni eksperimenti tom tehnikom prikupljaju podatke o elektrodnom kapacitetu i kinetici prijelaza/prijenosa naboj što omogućava dobivanje dragocjenih mehanističkih informacija.
3. **Preciznost mjerenja.** Mjerenja su prikladna za slabo vodljive medije (mala električna provodnost) jer metoda ne uključuje linearnu promjenu potencijala, za razliku od dc tehnike gdje pri kontroli potencijala dolazi do ozbiljnih greški

U području istraživanje korozije EIS se može primijeniti za određivanje brzine korozije, kod inhibitora i prevlaka te za istraživanje pasivnih slojeva [36]. Moćan je alat za proučavanje degradacije i korozije metalnih materijala obloženih polimernim premazima. EIS može proizvesti kvantitativne podatke koji se odnose na kvalitetu premaza metalnih podloga. Pošto je elektrokemijska impedancija vrlo osjetljiv način ispitivanja moguće je otkriti promjene u premazu prije nego se pojavi bilo kakvo vidljivo oštećenje. EIS je i nedestruktivno mjerenje, pa se može upotrijebiti za praćenje stanje premaznog sustava kako se on mijenja s vremenom. EIS tehnika je odlična za premazne sustave jer istovremeno može okarakterizirati propadanje premaza uzrokovano izlaganju elektrolitu i povećavanje brzine korozije temeljnog sloja usred propadanja premaza. Također, moguće je pratiti promjene u kapacitetu premaza zbog propadanja premaza izloženog elektrolitu. Kapacitet premaza se mijenja kako premaz upija vodu ili kako premaz nabubri. Pomoću elektrokemijske impedancije moguće je i istovremeno pratiti povećanje brzine metalne podloge koja se u većini slučajeva povećava s vremenom propadanja premaza. Da bi se odredili ti fizikalni i kemijski procesi potrebno je poznavati odgovarajuće ekvivalentne krugove [36,37].

Također, O'Donoghue i suradnici su naveli elektrokemijsku impedanciju kao metodu za provjeru i kvalifikaciju organskih premaza. Naznačili su da se mjerena impedancijska vrijednost premaza pri frekvenciji od 0,1 Hz može upotrijebiti kao ključ kod provjere premaza. Na slici 32 prikazano je kako korozijska zaštita ovisi o vrijednosti impedancije premaza [38].



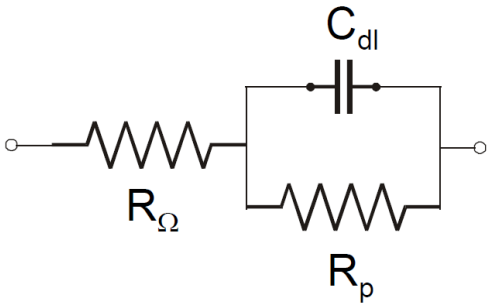
Slika 32. Ovisnost korozijske zaštite o vrijednosti impedancije premaza[38]

1.7.3. Ekvivalentni krugovi

Randlesov krug

Randlesov krug odnosno ćelija jedan je modela elektrokemijske impedancije na granici faza i predstavlja električni ekvivalentni krug jednostavne elektrokemijske ćelije. Sastoji se od Ohmskog ili nekompenziranog otpora elektrolita između radne i referentne elektrode (R_Ω), polarizacijskog otpora ili otpora prijenosu naboja na granici faza elektroda/elektrolit (R_p) i od kapaciteta dvosloja na granici faza elektroda/elektrolit (C_{DL}) [36].

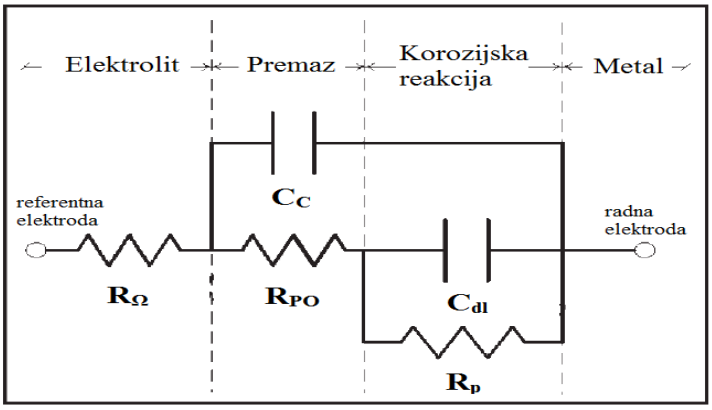
Brzina odvijanja elektrokemijske reakcije može se izračunati ako je otpor prijenosu naboja ili polarizacijski otpor poznat. Mjerenje kapaciteta dvosloja daje nam informaciju o pojavama adsorpcije ili desorpcije, a u nekim sustavima C_{DL} ne predstavlja kapacitet dvosloja nego može predstavljati stupanj formiranja filma ili prekrivenost elektrodne površine organskim prevlakama (premazima) [36]. Na slici 33 prikazan je Randlesov krug jednostavne elektrokemijske ćelije.



Slika 33. Randlesov krug jednostavne elektrokemijske ćelije [36]

Ekvivalentni krug za korodirajući metal prekriven organskim premazom

Ekvivalentni krug za korodirajući metal prekriven organskim premazom prikazan je na slici 34.



Slika 34. Ekvivalentni krug za korodirajući metal prekriven organskim premazom [37]

Sastoji se od [37]:

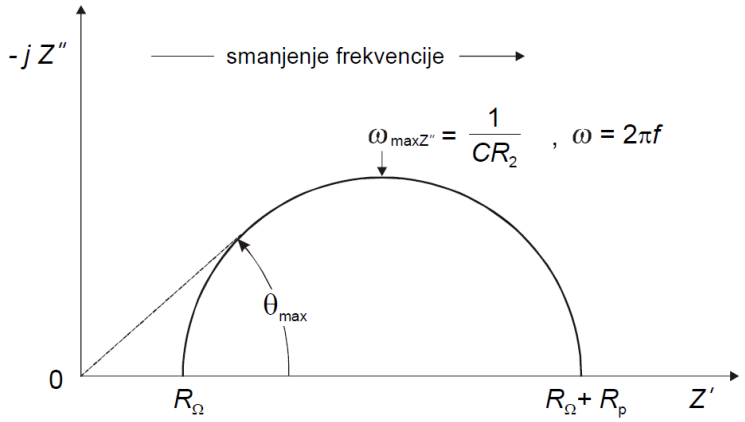
- **Ohmski ili nekompenzirani otpora (R_Ω)** - otpor elektrolita između radne i referentne elektrode
- **Otpor u porama (R_{PO})** - otpor promjeni premaza tijekom izloženosti zbog prodiranja elektrolita u mikropore
- **Kapacitet premaza (C_C)** - važan parametar za mjerenje tijekom propadanja premaza
- **Polarizacijski otpor (R_p)** - opisuje brzinu korozije metalne podloge ispod premaza
- **Kapacitet dvosloja (C_{dl})** - kapacitet na granici faza elektroda/elektrolit, a ponekad kad premaz čvrsto pirjanja za površinu kapacitet se odnosi na raslojavanje premaza

1.7.4. Grafički impedancijski prikazi

Dobiveni rezultati nakon eksperimenta mogu se prikazati na različite oblike. Svaki oblik prikaza ima svoje specifične prednosti za otkrivanje određenih karakteristika danog elektrokemijskog sustava. Sagledavanjem svih raspoloživih grafičkih oblika prikaza može se otkriti ponašanje stvarnog elektrokemijskog sustava. Najčešća dva načina prikaza su [36]:

1. Nyquistov grafički prikaz
2. Bodeov grafički prikaz

Nyquistov grafički prikaz poznat je još kao i Cole-Cole prikaz ili kompleksni impedancijski prikaz u ravnini. Predstavlja ovisnost imaginarne komponente impedancije Z' u odnosu na realnu komponentu Z'' za svaku izmjerenu frekvenciju [36].



Slika 35. Nyquistov prikaz za jednostavni elektrokemijski sustav [36]

Polarizacijski otpor R_p u slučaju izmjenične struje definiran je jednadžbom :

$$R_p = \lim_{\omega \to \infty} R_e\{Z_f\}_{Ekor}$$

gdje je:

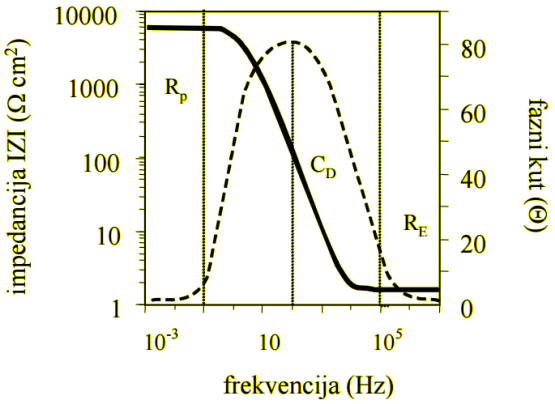
$R_e\{Z_f\}_{Ekor}$ - realni dio kompleksne Faradayske impedancije kod korozijskog potencijala kad frekvencija teži prema nuli

Na najvišim frekvencijama odnosno na lijevoj strani polukruga gdje sječe x-os impedancija Randlesove ćelije isključivo je uvjetovana omskim otpor R_Ω, a na niskim frekvencijama odnosno na desnoj strani polukruga gdje sječe x-os uvjetovana je otporom vrijednosti (R_Ω+ R_p) [36].

Prednost Nyquistovog prikaza je da oblik prikaza omogućuje da se lako vidi efekt omskog otpora. Oblik krivulje koji je najčešće polukrug ne mijenja se s promjenom vrijednosti omskog otpora pa je moguće uspoređivati rezultate dvaju odvojenih eksperimenata koji se razlikuju samo u položaju referentne elektrode. Također, prednost jest da on naglašava komponente kruga koje su spojeni seriji npr. omski otpor elektrolita [36].

Nedostaci Nyquistovog prikaza je da frekvencija nije dovoljno jasno istaknuta i kapacitet se može izračunati samo ako su poznati frekvencijski podaci iako se omski i polarizacijski otpor može očitati iz prikaza [36].

Bodeov grafički prikaz prikazuje ovisnost logaritma apsolutne vrijednosti impendancije |Z| i faznog kuta θ, o logaritmu frekvencije f [36].



Slika 36. Bodeov prikaz za jednostavni elektrokemijski sustav[7]

Prednost Bodeovog prikaza je što sadrži frekvenciju na jednoj od osi te je moguće iz prikaza vidjeti kako impedancija ovisi o frekvenciji i kako fazni kut ovisi o frekvenciji. Da bi se mogli obuhvatiti široki rasponi frekvencija i impedancija obje osi su u logaritamskom mjerilu. To ima prednosti kad impedancija jako ovisi o frekvenciji, kao što je slučaj s kondenzatorom. Iz Bodeovog prikaza može se lako odrediti vrijednost R_Ω i R_p. Na srednjim frekvencijama krivulja bi trebala biti pravac s nagibom -1 i pomoću ekstrapolacije prava na log |Z| os može se dobiti vrijednost kapaciteta dvosloja C_{DL} iz relacije [36]:

$$|Z| = \frac{1}{C_{DL}}$$

Bodeov prikaz daje jasniji opis frekvencijski ovisnog ponaša elektrokemijskog sustava nego Nyquistov prikaz.

1.7.5. Uređaj za elektrokemijsku impedancijsku spektroskopiju

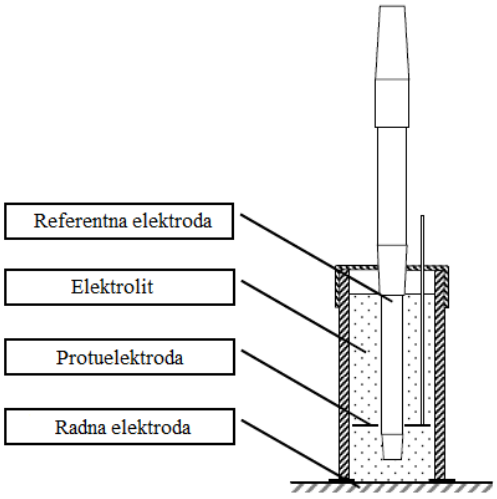
Za elektrokemijsku impedancijsku spektroskopiju potrebni su :

1. **Potenciostat**. Uređaj koji regulira potencijal.
2. **Oscilator**. Uređaj koji generira napone peroidičkih valnih oblika.
3. **Analizator.**
4. **Računalo**
5. **Elektrode**

Elektrokemijska ćelija sastoji se od tri elektrode:

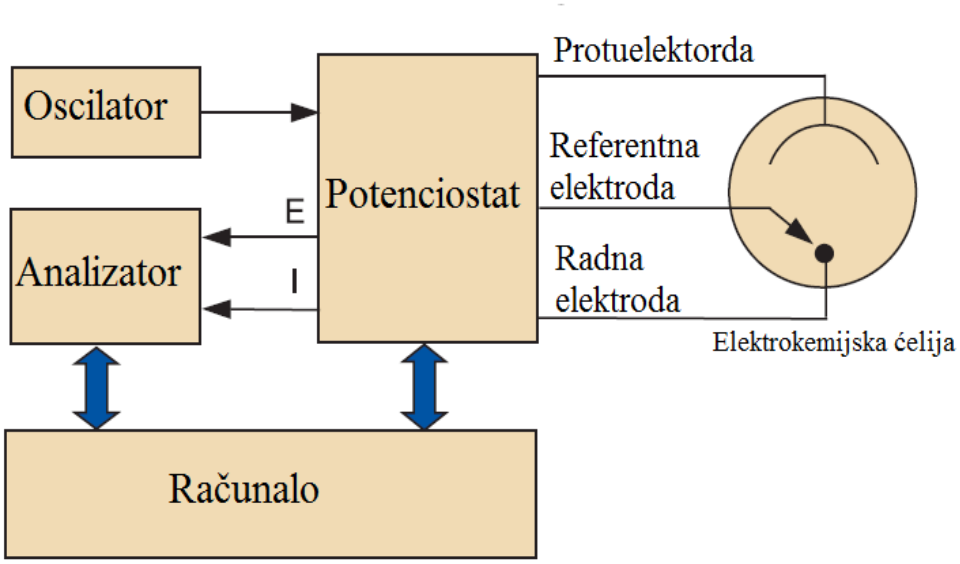
1. **Radne elektrode**. Radna elektroda je ona na kojoj se vrši mjerenje.
2. **Protuelektrode**. Protuelektroda služi za zatvaranje strujnog kruga s radnom elektrodom i tako omogućuje protok struje tijekom elektrokemijskog ispitivanja,
3. **Referentne elektrode.** Referentna elektroda je elektroda kojoj je točno poznati elektrodni potencijal.

Na slici 37 prikazana je tipična elektrokemijska ćelija za EIS mjerenje na metalima s premazima.



Slika 37. Tipična elektrokemijska ćelija za EIS mjerenje na metalima s premazima [39]

Na slici 38 prikazan je blok dijagram modernog uređaja koji se koriste za elektrokemijsku impedancijsku spektroskopiju. Na slici se može vidjeti kako su povezani pojedini uređaji, a često je moguće da je više funkcionalnih blokova uključeno samo u jednome uređaju ili u računalu.



Slika 38. Blok dijagram modernog EIS sustava [40]

2. EKSPERIMENTALNI DIO:

U eksperimentalnom dijelu rada bilo je potrebno pomoću različitih laboratorijskih metoda ispitati i ocijeniti sustave zaštitnih premaza koji se koriste u zaštiti trafostanica u firmi Novi Feromont d.o.o iz Donjeg Kraljevca. Za ispitivanje je uzeto četiri različita tipa i nijansi premaznih sustava.

Eksperimentalni dio diplomskog rada sastojao se od izrade testnih pločica, površinske pripreme testnih pločica, nanošenje zaštitnih premaznih sustava prema recepturi koja se koristi za zaštitu trafokotlova u Novom Feromontu, mjerenja debljine svakog od slojeva i ukupnog sloja, ispitivanja u slanoj komori prema normi HRN ISO 9227 i elektrokemijske impendacijske spektroskopije.

2.1.Izrada i površinska priprema testnih pločica

Testne pločice izrađene su prema normi HRN EN ISO 9227 "Ispitivanje korozije u umjetnoj atmosferi – Slana komora". Dimenzija pločice prema normi iznosi 150mm x 100mm, a debljina testnih pločica bila je 3, 5 i 10 mm. Za svaki premazni sustav pripremljeno je po četiri testne pločice. Dvije testne pločice bile su debljine 3 mm, a dvije pločice bile su debljine 5 mm. Za četiri premazna sustava pripremljeno je sveukupno 16 testnih pločica. Također, pripremljene su testne pločice na koje su navarena tzv. rebra sa različtim polumjerima zaobljenja da bi se ocijenili premazni sustavi koji su nanijeti na nepravilne konstrukcije. Dvije testne pločice su bile debljine 3 mm na koje su navarena rebra s polumjerom zaobljenja 3 mm, dvije testne pločice bile su debljine 5 mm na koje su navarena rebra s polumjerom zaobljenja 5 mm te su dvije pločice bile debljine 10 mm na koje su navarena rebra s polumjerom zaobljenja 10 mm. Tako je sveukupno bilo pripremljeno 24 pločice s navarenim rebrima.

Površina testnih pločica pripremljena je prema normi ISO 8501-1 sačmaranjem do stupnja čistoće Sa 2,5 ili Sa 3.

Na slikama 39 i 40 prikazane su testne pločice bez rebra i testne pločice s navarenim rebrom prije i poslije sačmarenja.



Slika 39. Testna pločica bez rebra i testna pločica s navarenim rebrom



Slika 40. Pločica bez rebra poslije sačmarenja i pločica s rebrom poslije sačmarenja

2.2.Nanošenje zaštitnih premaza

Nakon što su sve površine testnih pločica bile pripremljene sačmarenjem, krenulo se na postupak nanošenja zaštitnih premaznih sustava. Dva zaštitna premazna sustava koja su se nanosili bili su na bazi otapala, a dva na bazi vode, te su se tako provela laboratorijska ispitivanja na četiri različita sustava zaštitnih premaza koji su imali različite završne slojeve odnosno različite nijanse boje.

Premazni sustavi su se na zaštitne pločice nanosili po recepturama za te premazne sustave koje se koriste u tvrtki Novi Feromont d.o.o.. Premazni sustavi na bazi vode, radi lakšeg snalaženja, označeni su slovima A i B, a premazni sustavi na bazi otapala slovima C i D. Na slici 41 prikazan je proces nanošenja premaza na testne pločice.



Slika 41. Prikaz procesa nanošenja premaza na testne pločice

2.2.1. Premazni sustav A

Premazni sustav A, po slojevima premaza, prikazan je na slici 42. Osnovne značajke tog sustava su sljedeće:

Kategorija atmosferske korozivnosti: C5-I

Vrijeme trajnosti: srednja (*Medium-M*)

Ukupna debljina suhog premaznog sustava: 240 - 290 μm

a) Temeljni premaz :
   - Premaz na bazi epoksidne smole
   - Pigment: cinkov prah
   - Otapalo: aromatski spojevi, glikol eteri
   - Otvrđivač na osnovi poliamino amida - omjer miješanja 100:11
   - Razrjeđivač od smjese organskih otapala
   - Debljina suhog sloja premaza od 70 do 80 μm
   - Vrijeme sušenja 16-30 sati

b) Međupremaz :
   - Vodeni premaz na bazi sintetičke smole - vezivo modificirana akrilat polimerna disperzija
   - Pigment i punilo: cinkov fosfat
   - Razrjeđivač: voda
   - Debljina suhog sloja premaza od 110 do 125 μm
   - Vrijeme sušenja 6-8 sati

c) Završni premaz
   - Vodeni premaz na bazi sintetičke smole - vezivo modificirana akrilat polimerna disperzija
   - Pigment: za nijansiranje boje
   - Razrjeđivač: voda
   - Nijansa boje: RAL 6003 - maslinasta
   - Debljina suho sloja premaza: 60-70 μm
   - Vrijeme sušenja: 6-8 sati



Slika 42. Premazni sustav A po slojevima premaza

2.2.2. Premazni sustav B

Premazni sustav B, po slojevima premaza, prikazan je na slici 43. Osnovne značajke tog sustava su sljedeće:

Kategorija atmosferske korozivnosti : C5-I

Vrijeme trajnosti : srednja (*Medium-M*)

Ukupna debljina suhog premaznog sustava od 300 do 320 μm

a) Temeljni premaz :
   - Premaz na bazi epoksidne smole
   - Pigment: cinkov prah
   - Otapalo: aromatski spojevi, glikol eteri
   - Otvrđivač na osnovi poliamino amida – omjer miješanja 100:11
   - Razrjeđivač od smjese organskih otapala
   - Debljina suhog sloja premaza: 80-100 μm
   - Vrijeme sušenja: 16-30 sati

b) Međupremaz 1 i 2:
   - Vodeni premaz na bazi sintetičke smole - vezivo modificirana akril polimerna disperzija
   - Pigment i punilo: cinkov fosfat
   - Razrjeđivač: voda
   - Debljina prvog suhog sloja premaza: 80 μm
   - Debljina drugog suhog sloja premaza: 60 μm
   - Vrijeme sušenja svakog sloja premaza: 6-8 sati

c) Završni premaz
   - Vodeni premaz na bazi sintetičke smole - vezivo modificirana akrilat polimerna disperzija
   - Pigmenti: za nijansiranje premaza i listići željeza kao posebni pigmenti za pojačanje i produženje antikorozivne zaštite
   - Razrjeđivač: voda
   - Nijansa boje: T-632 ADMIRALITY GREY - tamno siva
   - Debljina suhog sloja: 80 μm
   - Vrijeme sušenja: 6-8 sati



Slika 43. Premazni sustav B po slojevima premaza

2.2.3. Premazni sustav C

Premazni sustav C, po slojevima premaza, prikazan je na slici 44. Osnovne značajke tog sustava su sljedeće:

Kategorija atmosferske korozivnosti : C5-I

Vrijeme trajnosti : srednja (*Medium-M*)

Minimalna debljina suhog premaznos sustava 240 μm

a) Temeljni premaz :
   - Premaz na bazi epoksidne smole
   - Pigment: cinkov prah
   - Otapalo: aromatski spojevi, glikol eteri
   - Otvrđivač na osnovi poliamino amida – omjer miješanja 100:11
   - Razrjeđivač od smjese organskih otapala
   - Debljina suhog sloja premaza: 70 μm
   - Vrijeme sušenja: 16-30 sati

b) Međupremaz
   - Premaz na bazi epoksidne smole
   - Pigmenti: listići željeza i pigmenti za nijansiranje premaza
   - Otapalo: aromatski spojevi, glikol eteri
   - Otvrđivač na bazi poliamino amida- omjer miješenja 100:11
   - Razrjeđivač od smjese organskih otapala
   - Debljina suhog sloja premaza: 100 μm
   - Vrijeme sušenja: 6-8 sati

c) Završni premaz
   - Premaz na bazi poliuretana
   - Pigmenti: specijalni barijerni pigmenti
   - Otvrđivač na osnovi alifatskih izocijanta – omjer miješanja 100:11
   - Razrjeđivač od smjese organskih otapala
   - Nijansa boje: RAL 7035 - svijetlo siva
   - Debljina suhog sloja premaza: 70 μm
   - Vrijeme sušenja: 6-8 sati



Slika 44. Premazni sustav C po slojevima premaza

2.2.4. Premazni sustav D

Premazni sustav D, po slojevima premaza, prikazan je na slici 45. Osnovne značajke tog sustava su sljedeće:

Kategorija atmosferske korozivnosti : C5-I

Vrijeme trajnosti : srednja (*Medium-M*)

Ukupna debljina suhog premaznog sustava od 240 do 290 μm

a) Temeljni premaz
   - Premaz na bazi epoksidne smole
   - Pigment: cinkov prah
   - Otapalo: aromatski spojevi, glikol eteri
   - Otvrđivač na osnovi poliamino amida – omjer miješanja 100:11
   - Razrjeđivač od smjese organskih otapala
   - Debljina suhog sloja premaza: 70-85 μm
   - Vrijeme sušenja: 16-30 sati

b) Međupremaz 1 i 2
   - Dvokomponentni premaz na bazi epoksidne smole
   - Pigment:cinkov fosfat
   - Otapalo: aromatski spojevi, alkoholi
   - Otvrđivač na osnovi poliamino amida – omjer miješanja 100:15
   - Razrjeđivač od smjese organskih otapala
   - Debljina svakog suhog sloja premaza od 55 do 70 μm (ukupno od 110 do 140 μm)
   - Vrijeme sušenja svakog sloja 6-8 sati

c) Završni premaz
   - Premaz na bazi akril poliuretana
   - Pigment: za nijansiranje premaza
   - Otapalo: aromatski spojevi
   - Otvrđivač na osnovi alifatskih izocijanta – omjer miješanja 100:17
   - Razrjeđivač od smjese organskih otapala
   - Nijansa boje : ANSI 70 - siva
   - Debljina suhog sloja premaza od 60 do 70 μm
   - Vrijeme sušenja 6-8 sati



Slika 45. Premazni sustav D po slojevima premaza

2.3. Mjerenje debljine premaznih sustava

Debljina sloja premaza bitna je za zaštitno djelovanje, trajnost zaštite, tvrdoću i elastičnost prevlake. Pretanki sloj zbog mogućnosti pojave pora ili nedovoljne pokrivenosti ne daje zadovoljavajuće zaštitno djelovanje, a predebeli sloj, iako kod većine povećava korozijsku otpornost, može dovesti do pogreški te do povećanja proizvodnih troškova i cijene gotove konstrukcije. Zbog toga je potrebno poznavati minimalnu dopuštenu vrijednosti debljine sloja te također potrebno je poznavati koliko je maksimalna dopuštena debljina premaznog sustava da bi proizvodni troškovi bili unutar dopuštenih granica. Tolerira se debljina premaznog sustava od 50% do 100% veća od maksimalne propisane debljine.

Mjerenje debljine premaznih sustava na testnih pločicama provedeno je tvrtci Novi Feromont d.o.o. Mjerenje debljine premaznih sustava provedeno je uređajem Elcometar 456 (slika 46). Na svakoj testnoj pločici bez rebra izmjereno je 10 točaka, a na pločici s rebrom 20 točaka na pločici i 6 točaka na rebru.

Pomoću uređaja Elcometer 319 (slika 46) prije nanošenja pojedinog premaznog sloja ispitivani su klimatski uvjeti u blizini površina testnih pločica. Pošto su se premazi na testne pločice nanosili u zatvorenoj komori parametri između nanošenja nisu se jako razlikovali. Iznos relativne vlažnosti zraka (RH) kretao od 35% do 40%, temperatura zraka (Ta) od 22°C do 25°C, temperatura podloge (Ts) od 23°C do 26°C i temperatura rošenja (Td) od 6°C do 10°C.



Slika 46. Elcometar 456 [41] i Elcometar 319 [42]

2.4. Ispitivanje u slanoj komori

Ispitivanje korozijske postojanosti sustava zaštitnih premaza za primjenu u trafostanicama u slanoj komori provedeno je u laboratoriju Zavoda za elektrokemiju, Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije u slanoj komori tvrtke CW Specialist Equipment model SF/100 (slika 47 i 48). Ispitivanje u slanoj komori provedeno je sukladno normi HRN EN ISO 9227.



Slika 47. Slana komora SF/100 na Zavodu za elektrokemiju



Slika 48. Upravljačka ploča slane komore

Za ispitivanje je korištena 5 % vodena otopina NaCl-a. Također je bilo potrebno namjestiti parametre ispitivanja u slanoj komore prema normi HRN EN ISO 9227 i uputama od slane komore. Parametri ispitivanja i vrijednosti tih parametara prikazani su u tablici 5. Na slici 49 prikazan je način praćenja protoka i tlaka raspršivanja 5% vodene otopine NaCl.

Ispitivanje zaštitnih sustava premaza za atmosfersku kategoriju korozivnosti C5-I srednjeg vremena trajnosti prema normi HRN EN ISO 12944-6 trajalo je 720 sati odnosno 30 dana.

Tablica 5. Parametri ispitivanja u slanoj komori

Parametri	**Vrijednosti parametra**
Vodena otopina NaCl, %	5
Temperatura u slanoj komori, °C	35±2
Tlak raspršivanja 5 % vodene otopine NaCl, bar	1
Temperatura raspršivanja 5 % vodene otopine NaCl, °C	48
Protok 5 % vodene otopine NaCl, L/h	0,2
pH 5 % vodene otopine NaCl	6,5-7,2
Vrijeme ispitivanja, sati	720



Slika 49. Prikaz parametara protoka i tlaka raspršivanja 5% vodene otopine NaCl

U slanu komoru stavljeno je ukupno 20 testnih pločica odnosno polovica od ukupnog broja pločica. Ostalih 20 testnih pločica bilo je za usporedbu, jer su za svaki premazni sustav i za svaku različitu dimenziju testnih pločica napravljene po dvije identične testne pločice.

Prikaz uzoraka prije slane komore i u slanoj komori neposredno prije ispitivanja dan je na slikama 50 i 51.



Slika 50. Testne pločice u stalcima prije stavljanja u slanu komoru



Slika 51. Testne pločice u slanoj komori prije početka ispitivanja

2.5. Elektrokemijsko impedancijsko ispitivanje

Elektrokemijsko impedancijsko ispitivanje sustava zaštitnih premaza provedeno je na Zavodu za elektrokemiju, Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije pomoću uređaja PalmSens^3 upravljanom s pomoću računalu i programa PSTrace. Za impedancijsko ispitivanje korištene su dvije ugljikovee elektrode presvučene vodljivim gelom, jedna elektroda je predstavljala radnu elektroda, a druga je predstavljala referentnu elektrodu i portuelektrodu.

Prije provedbe elektrokemijske impedancije bilo je potrebno u programu PSTrace postaviti određene parametre. Parametri i vrijednosti parametara prikazani su u tablici 6.

Tablica 6. Parametri EIS ispitivanja

Parametri	**Vrijednost parametara**
Površina elektrode, cm^2	16
Frekvencijski raspon, Hz	0,01-50000
Točaka po dekadi	7
EDC, V	0
AC, mV	50 mV

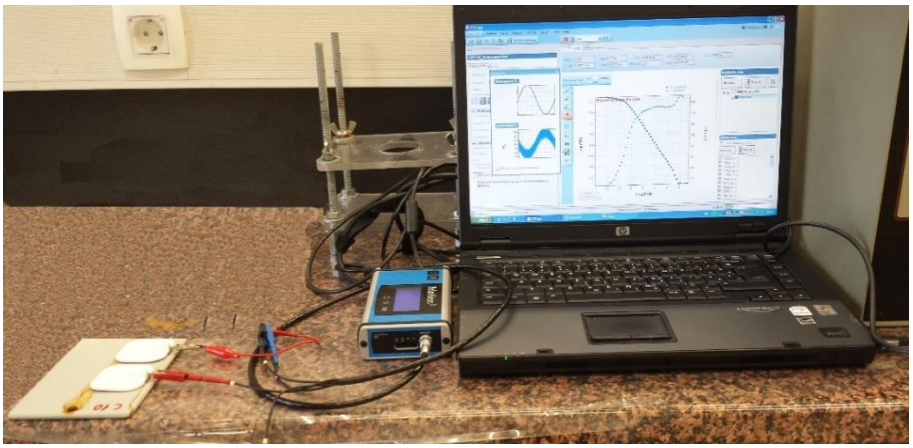
Elektrokemijsko impedancijsko ispitivanje sustava zaštitnih premaza provedeno je kod testnih pločica bez rebara koje nisu bile u slanoj komori i kod testnih pločica bez rebara koje su bile u slanoj komori. Testne pločice koje su bile u slanoj komori 720 sati ispitivane su odmah nakon završetka ispitivanja. Također je za testne pločice koje su bile u slanoj komori provedeno mjerenje i s lijeve strane i s desne strane testne pločice na mjestima gdje nije bila vidljiva korozija. Razlog dvostrukog mjerenja je mogućnost dolaska do različitog intenziteta oštećenja i propadanja sustava zaštitnog premaza na različitim mjestima na testnoj pločici. Uređaj za mjerenje, elektrode te uzorak spojen na instrument i računalo, prikazani su na slikama 52-54.



Slika 52. Uređaj za ispitivanje PalmSens[3]



Slika 53. Gel elektrode



Slika 54. Prikaz mjerenja elektrokemijske impedancije na testnoj pločici

3. REZULTATI:

3.1.Rezultati mjerenja debljine premaznih sustava

U tablicama 7-10 prikazane su razlike između testnih pločica odnosno prikazane su debljine testnih pločica i rebra, polumjeri zakrivljenosti pločice i rebra i prosječne debljine premaznih sustava izmjerenih pomoću uređenja Elcometar 456. Minimalne, maksimalne i prosječne debljine premaznih slojeva grafički su prikazane na slikama 55 do 58.

Tablica 7. Karakteristike testnih pločica premaznog sustava A

Premazni sustav A				
Oznaka	Debljina pločice / mm	Polumjer zakrivljenosti pločice / mm	Prosječna debljina premaznog sustava pločice / μm	Broj točaka
	Rebra / mm	Rebra / mm	Rebra / μm	
A1	10	10	270	20
	10	10	263	6
A2	10	10	277	20
	10	10	264	6
A3	5	5	286	20
	5	5	258	6
A4	5	5	286	20
	5	5	275	6
A5	3	3	296	20
	3	3	262	6
A6	3	3	300	20
	3	3	253	6
A9	5	5	257	10
A10	5	5	257	10
A11	3	3	269	10
A12	3	3	256	10

Tablica 8. Karakteristike testnih pločica premaznog sustava B

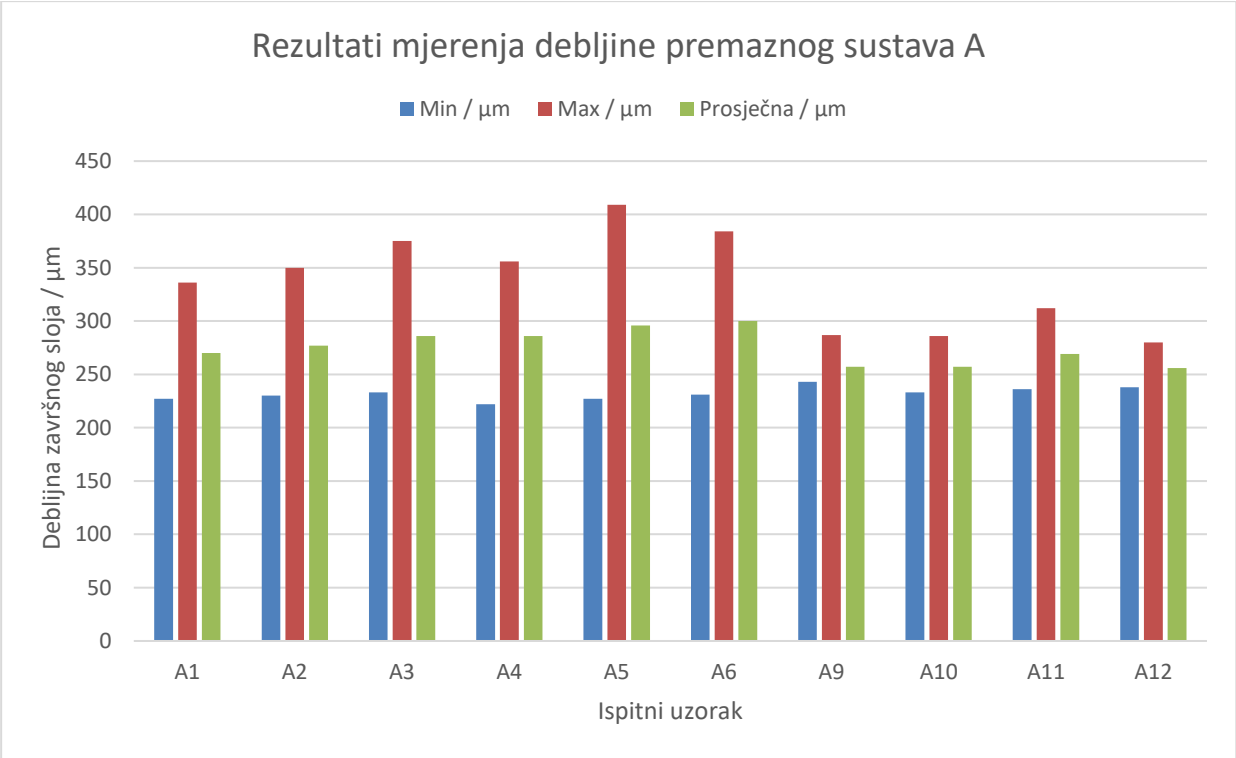
Premazni sustav B				
Oznaka	Debljina pločice / mm	Polumjer zakrivljenosti pločice / mm	Prosječna debljina premaznog sustava pločice / µm	Broj točaka
	Rebra / mm	Rebra / mm	Rebra / µm	
B1	10	10	341	20
	10	10	330	6
B2	10	10	331	20
	10	10	334	6
B3	5	5	357	20
	5	5	324	6
B4	5	5	323	20
	5	5	340	6
B5	3	3	350	20
	3	3	312	6
B6	3	3	365	20
	3	3	314	6
B9	5	5	345	10
B10	5	5	339	10
B11	3	3	367	10
B12	3	3	327	10

Tablica 9. Karakteristike testnih pločica premaznog sustava C

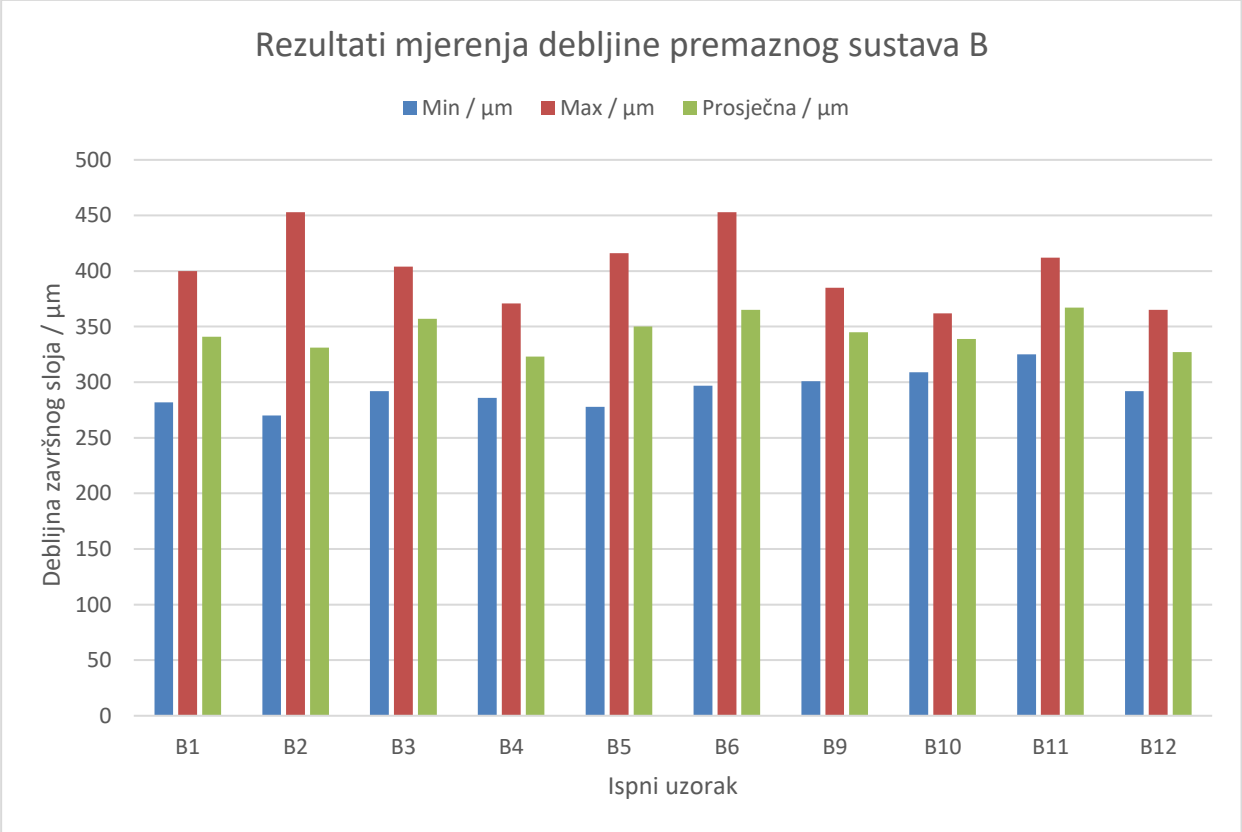
Premazni sustav C				
Oznaka	Debljina pločice / mm	Polumjer zakrivljenosti pločice / mm	Prosječna debljina premaznog sustava pločice / µm	Broj točaka
	Rebra / mm	Rebra / mm	Rebra / µm	
C1	10	10	286	20
	10	10	292	6
C2	10	10	281	20
	10	10	267	6
C3	5	5	287	20
	5	5	235	6
C4	5	5	286	20
	5	5	276	6
C5	3	3	273	20
	3	3	194	6
C6	3	3	283	20
	3	3	280	6
C9	5	5	247	10
C10	5	5	209	10
C11	3	3	276	10
C12	3	3	271	10

Tablica 10. Karakteristike testnih pločica premaznog sustava D

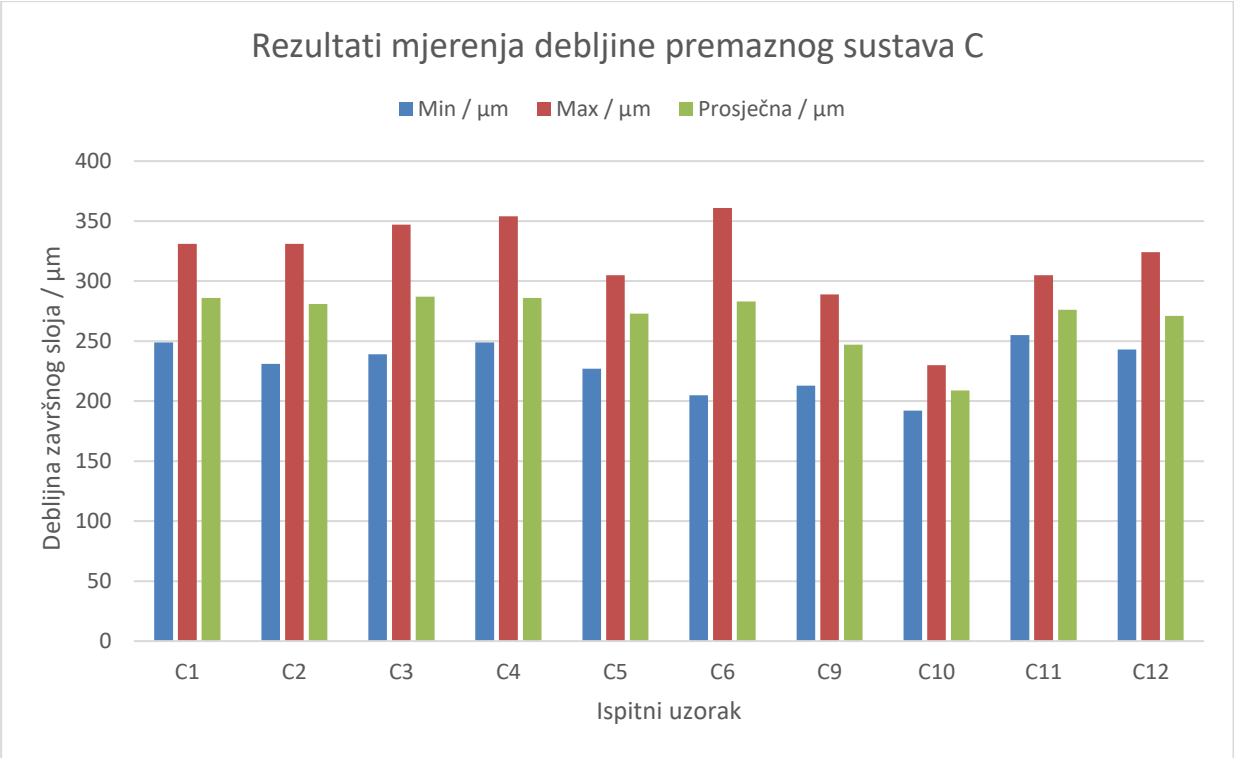
Premazni sustav D				
Oznaka	Debljina pločice / mm	Polumjer zakrivljenosti pločice / mm	Prosječna debljina premaznog sustava pločice / µm	Broj točaka
	Rebra / mm	Rebra / mm	Rebra / µm	
D1	10	10	311	20
	10	10	259	6
D2	10	10	265	20
	10	10	303	6
D3	5	5	308	20
	5	5	235	6
D4	5	5	288	20
	5	5	295	6
D5	3	3	313	20
	3	3	276	6
D6	3	3	296	20
	3	3	275	6
D9	5	5	304	10
D10	5	5	284	10
D11	3	3	285	10
D12	3	3	291	10



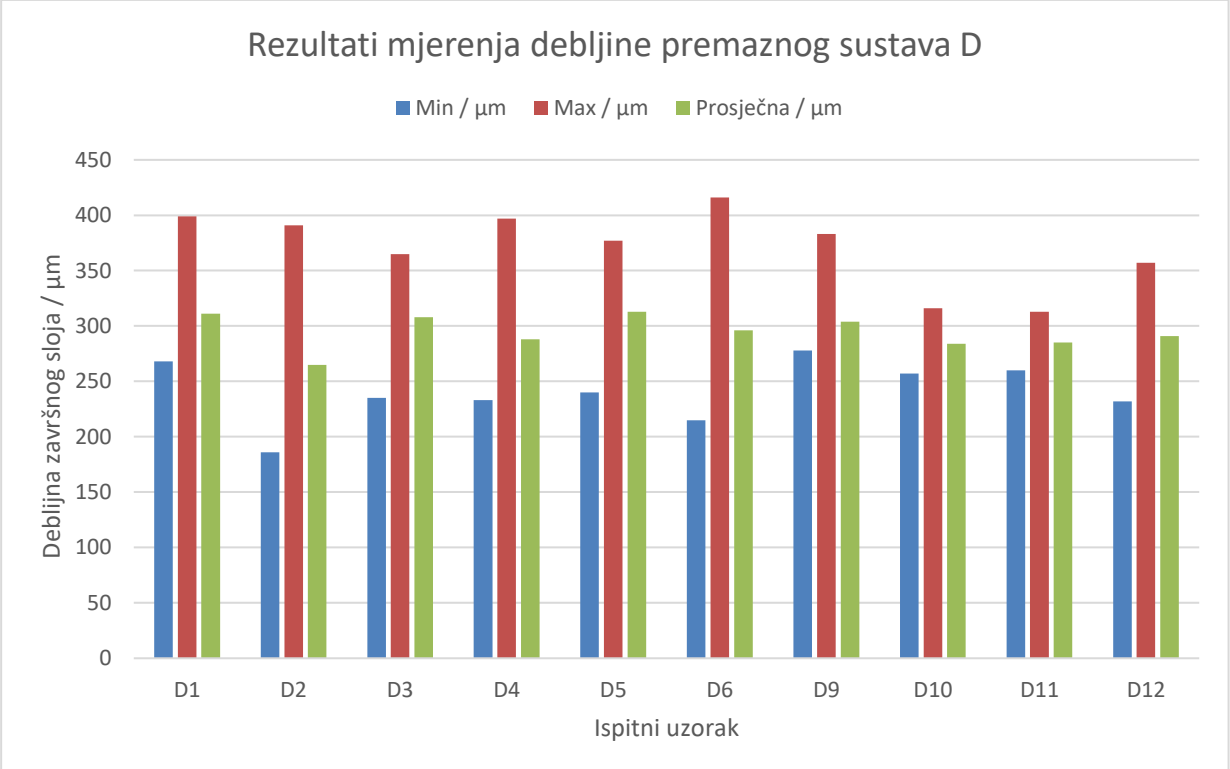
Slika 55. Grafički prikaz rezultata mjerenja debljine premaznog sustava A



Slika 56. Grafički prikaz rezultata mjerenja debljine premaznog sustava B



Slika 57. Grafički prikaz rezultata mjerenja debljine premaznog sustava C



Slika 58. Grafički prikaz rezultata mjerenja debljine premaznog sustava D

3.2.Rezultati ispitivanja u slanoj komori

Nakon otprilike 360 sati odnosno polovice ukupnog vremena što su testne pločice provele u slanoj komori, zabilježeno je njihovo stanje prikazano na slikama 59 i 60.



Slika 59. Stanje u slanoj komori nakon otprilike 360 sati



Slika 60. Stanje pojedinih testnih pločica nakon otprilike 360 sati

Također, pločice su fotografirane i na kraju ispitivanja u slanoj komori odnosno nakon 720 sati i prikazane na slikama 61 i 62.



Slika 61. Stanje u slanoj komori nakon 720 sati



Slika 62. Stanje pojedinih testnih pločica nakon 720 sati

Na slikama 63-82 prikazana je usporedba izgleda testnih pločica koje nisu ispitivane u slanoj komori i testnih pločica koje su ispitivane tijekom 720 sati u slanoj komori.



Slika 63. Izgled testnih pločica A2 i A1



Slika 64. Izgled testnih pločica A3 i A4



Slika 65. Izgled testnih pločica A5 i A6



Slika 66. Izgled testnih pločica A9 i A10



Slika 67. Izgled testnih pločica A11 i A12



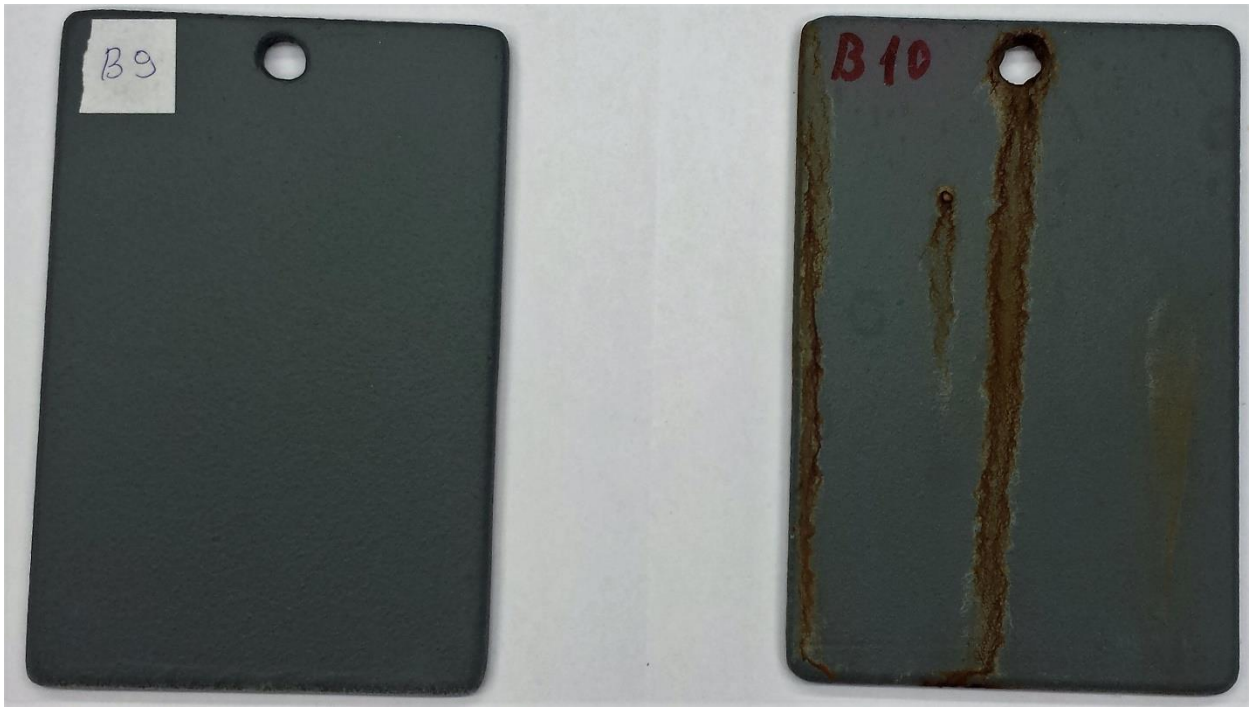
Slika 68.Izgled testnih pločica B2 i B1



Slika 69. Izgled testnih pločica B3 i B4



Slika 70. Izgled testnih pločica B5 i B6



Slika 71. Izgled testnih pločica B9 i B10



Slika 72. Izgled testnih pločica B11 i B12



Slika 73. Izgled testnih pločica C1 i C2



Slika 74. Izgled testnih pločica C3 i C4



Slika 75. Izgled testnih pločica C5 i C6



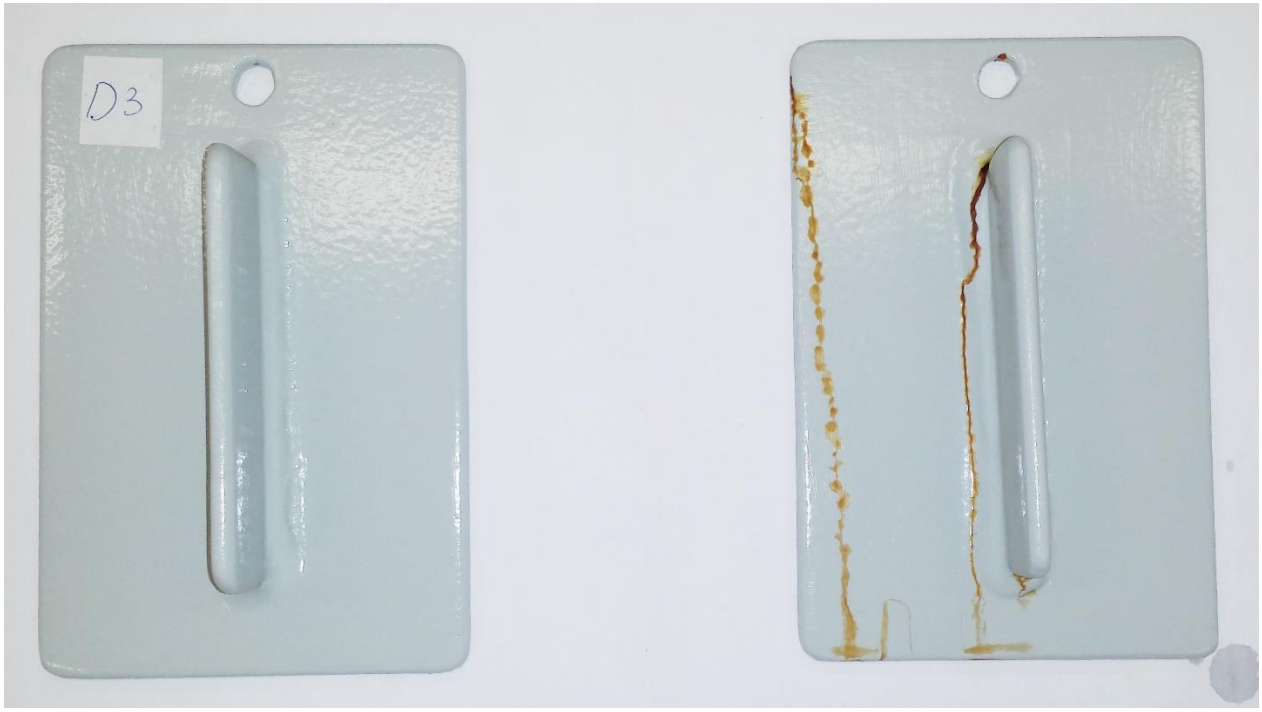
Slika 76. Izgled testnih pločica C9 i C10



Slika 77. Izgled testnih pločica C11 i C12



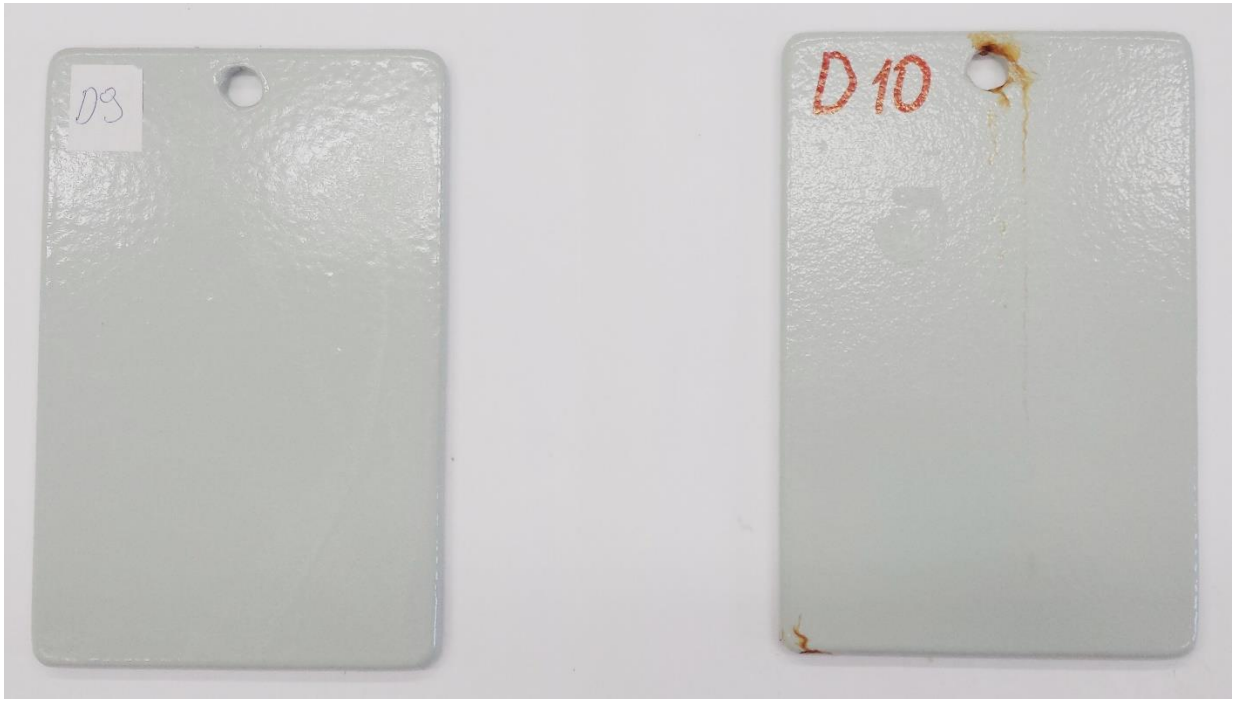
Slika 78. Izgled testnih pločica D1 i D2



Slika 79. Izgled testnih pločica D3 i D4



Slika 80. Izgled testnih pločica D5 i D6



Slika 81. Izgled testnih pločica D9 i D10



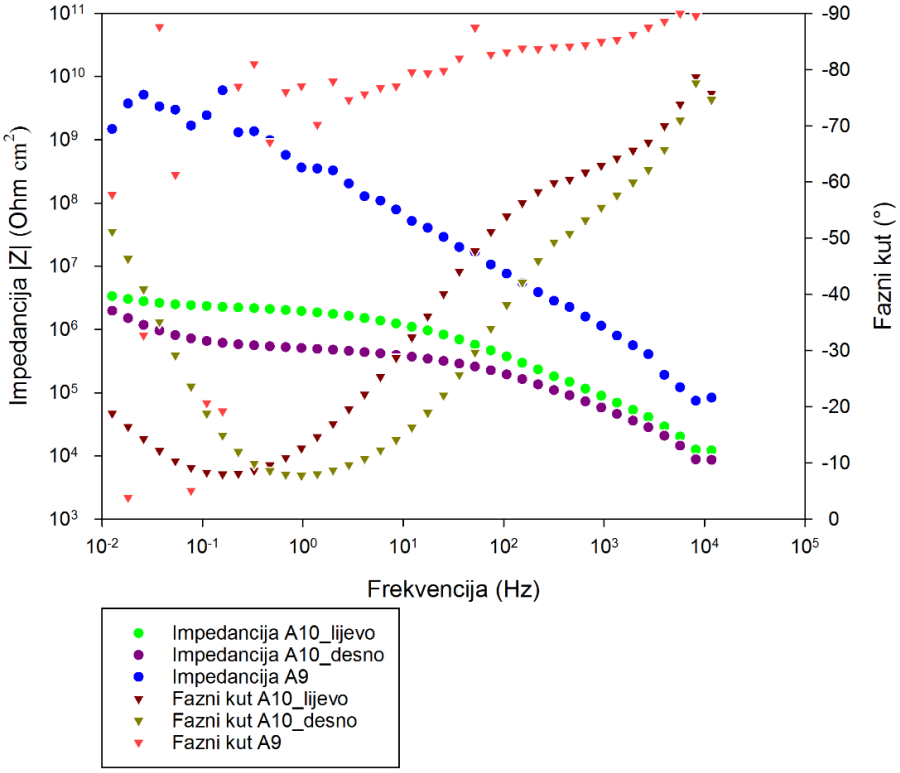
Slika 82. Izgled testnih pločica D11 i D12

3.3. Rezultati elektrokemijske impedancijske spektroskopije

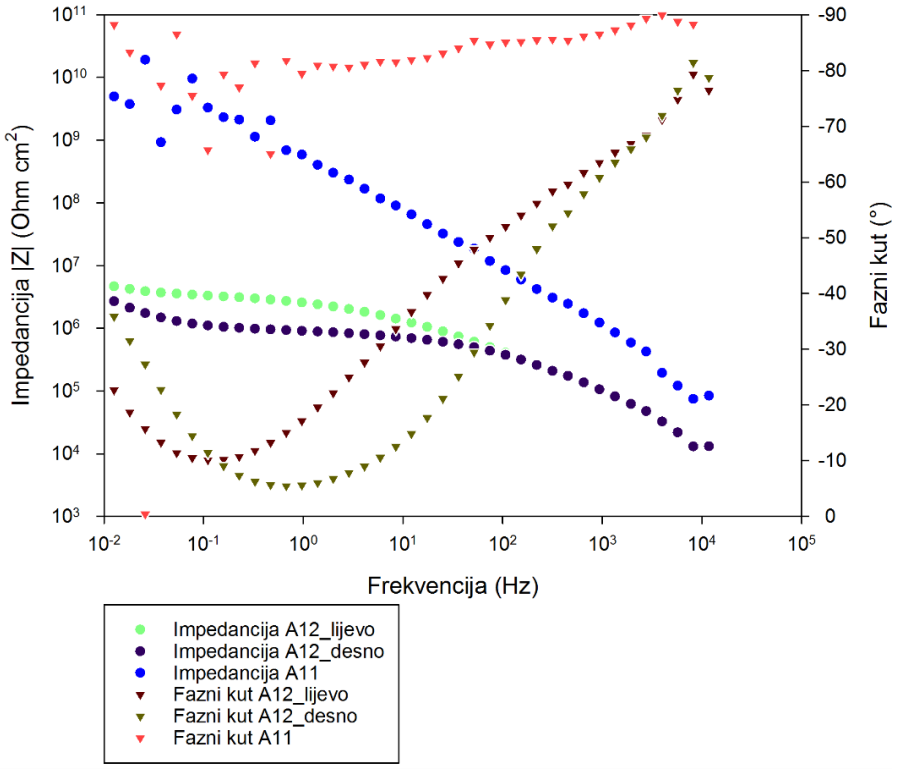
Rezultati elektrokemijske impedancijske spektroskopije prikazani su Bodeovim grafičkim prikazima (slike 83-90). Usporedno su prikazani Bodeovi grafički prikazi testnih pločica jednakih debljina i tipova premaza koje su bile u slanoj komori i koje nisu bile u slanoj komori.

Također, iz Bodeovih prikaza za svaku testnu pločicu određena je vrijednost impedancije kod frekvencije 0,1 Hz. Na temelju dobivenih vrijednosti može se zaključiti kolika je korozijska otpornost ispitivanih premaznih sustava.

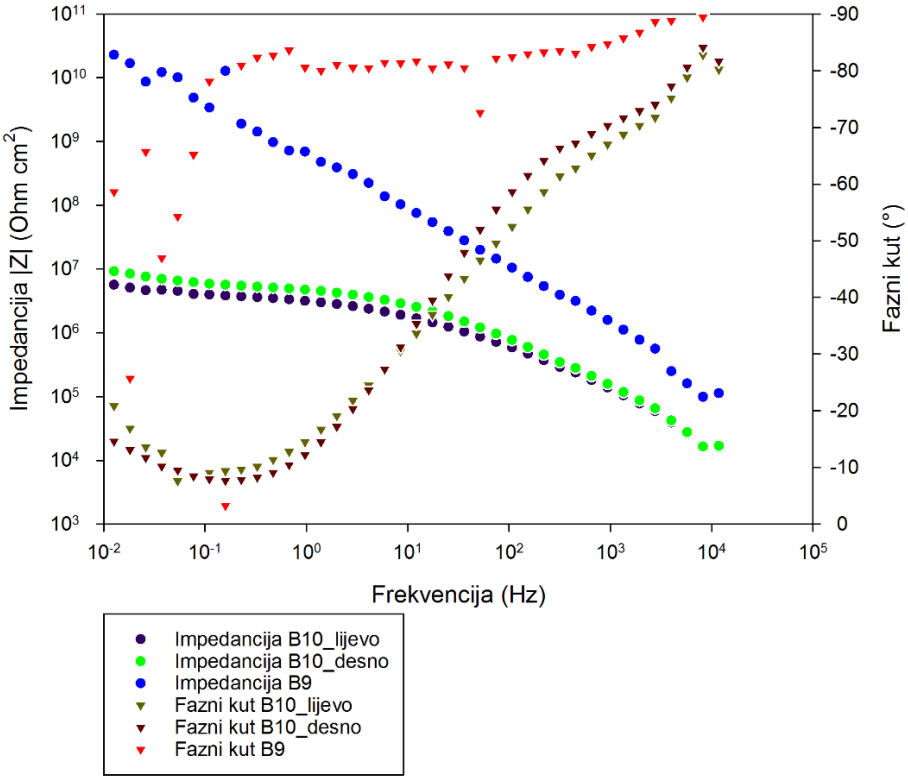
3.3.1. Bodeovi grafički prikazi



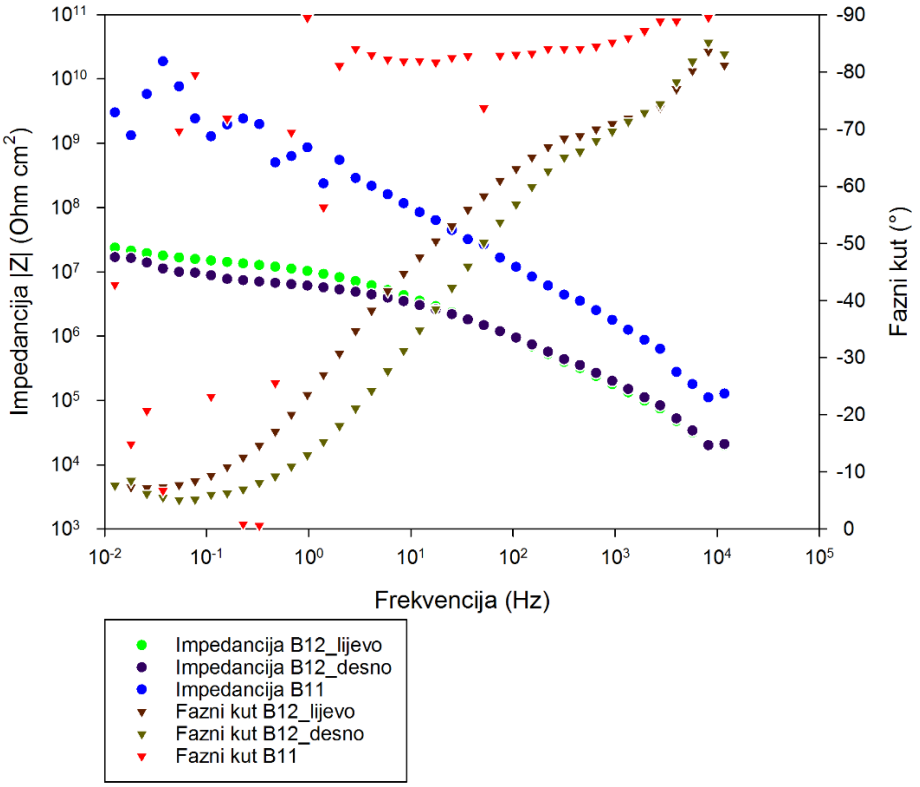
Slika 83. Bodeov grafički prikaz za testne pločice A9 i A10



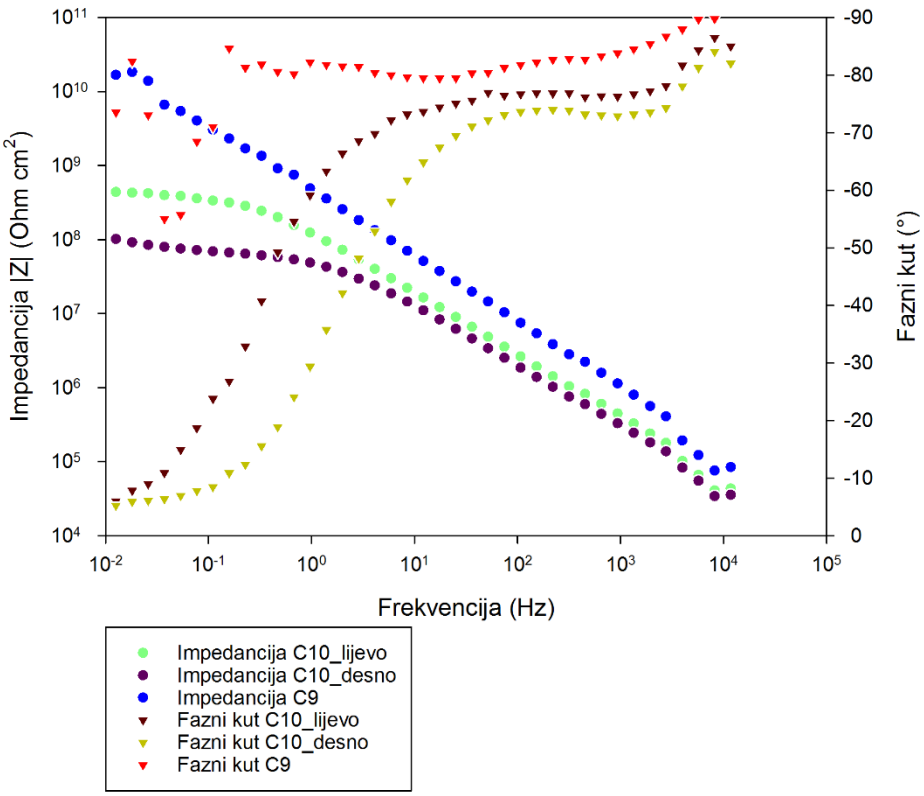
Slika 84. Bodev grafički prikaz za testne pločice A11 i A12



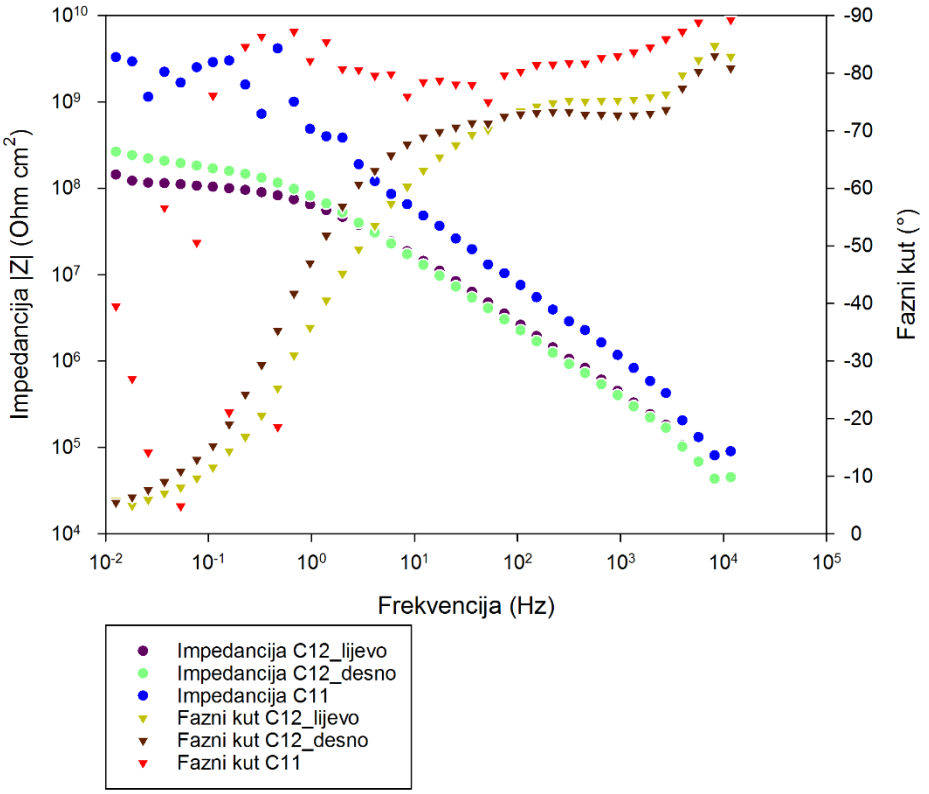
Slika 85. Bodeov grafički prikaz za testne pločice B9 i B10



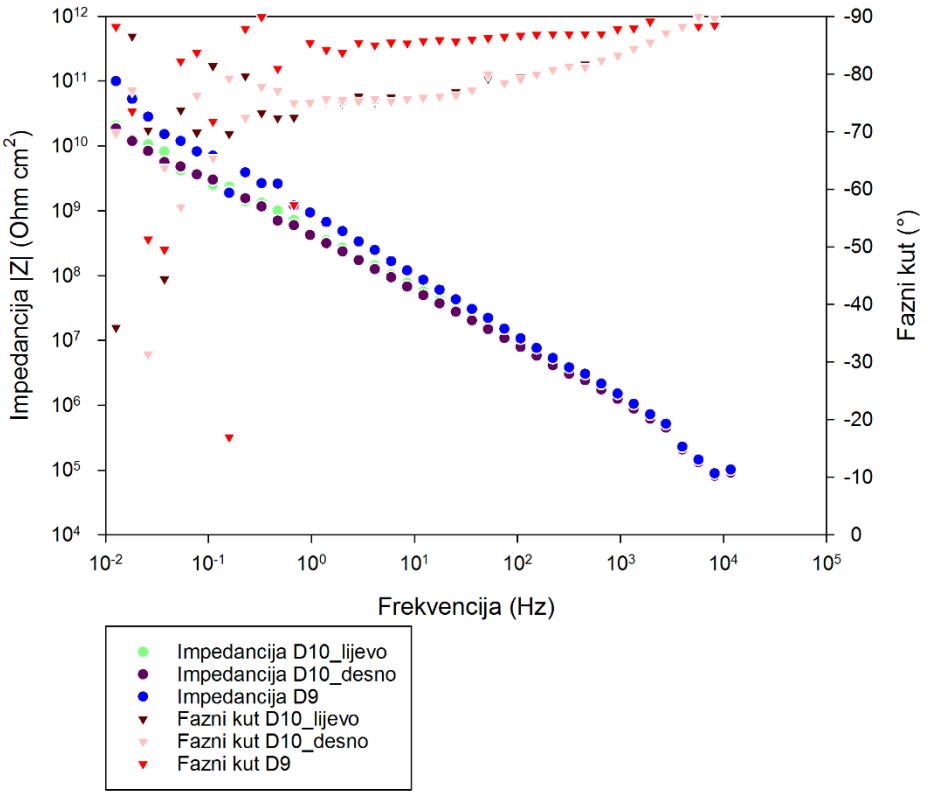
Slika 86. Bodeov grafički prikaz za testne pločice B11 i B12



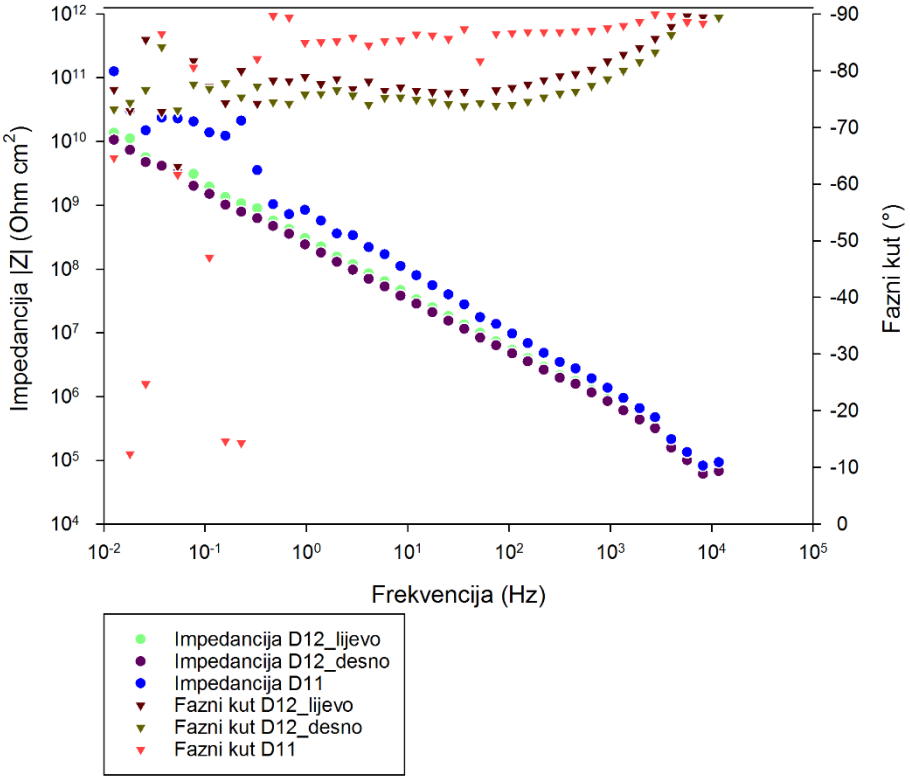
Slika 87. Bodeov grafički prikaz za testne pločice C9 i C10



Slika 88. Bodeov grafički prikaz za testne pločice C11 i C12



Slika 89. Bodeov grafički prikaz za testne pločice D9 i D10



Slika 90. Bodeov grafički prikaz za testne pločice D11 i D12

3.3.2. Izračunavanje impedancije premaznih sustava

$$P = \frac{16\ cm^2}{2} = 8\ cm^2$$

$$\log(|Z|@\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{|Z|} * P)$$

1. A9

   $|Z|_{A9@\ 0{,}1Hz} = 9{,}305\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{9{,}305} * 8) = 10{,}208$

2. A10

   $|Z|_{A10_lijevo@\ 0{,}1Hz} = 6{,}374\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{6{,}374} * 8) = 7{,}277$

   $|Z|_{A10_desno@\ 0{,}1Hz} = 5{,}835\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{5{,}835} * 8) = 6{,}738$

3. A11

   $|Z|_{A11@\ 0{,}1Hz} = 9{,}749\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{9{,}749} * 8) = 10{,}652$

4. A12

   $|Z|_{A12_lijevo@\ 0{,}1Hz} = 6{,}528\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{6{,}528} * 8) = 7{,}431$

   $|Z|_{A12_desno@\ 0{,}1Hz} = 6{,}057\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{6{,}057} * 8) = 6{,}960$

5. B9

   $|Z|_{B9@\ 0{,}1Hz} = 9{,}610\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{9{,}610} * 8) = 10{,}513$

6. B10

   $|Z|_{B10_lijevo@\ 0{,}1Hz} = 6{,}603\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{6{,}603} * 8) = 7{,}506$

   $|Z|_{B10_desno@\ 0{,}1Hz} = 6{,}780\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{6{,}780} * 8) = 7{,}683$

7. B11

   $|Z|_{B11@\ 0{,}1Hz} = 9{,}245\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{9{,}245} * 8) = 10{,}148$

8. B12

   $|Z|_{B12_lijevo@\ 0{,}1Hz} = 7{,}188\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{7{,}188} * 8) = 8{,}091$

   $|Z|_{B12_desno@\ 0{,}1Hz} = 6{,}966\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{6{,}966} * 8) = 7{,}869$

9. C9

   $|Z|_{C9@\ 0{,}1Hz} = 9{,}545\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

   $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{9{,}545} * 8) = 10{,}448$

10. C10

    $|Z|_{C10_lijevo@\ 0{,}1Hz} = 8{,}540\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

    $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{8{,}540} * 8) = 9{,}443$

    $|Z|_{C10_desno@\ 0{,}1Hz} = 7{,}849\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

    $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{7{,}849} * 8) = 8{,}752$

11. C11

    $|Z|_{C11@\ 0{,}1Hz} = 9{,}428\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

    $\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{9{,}428} * 8) = 10{,}331$

12. C12

$|Z|_{C12_lijevo@\ 0{,}1Hz} = 8{,}022\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

$\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{8{,}022} * 8) = 8{,}925$

$|Z|_{C12_desno@\ 0{,}1Hz} = 8{,}244\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

$\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{8{,}244} * 8) = 9{,}147$

13. D9

$|Z|_{D9@\ 0{,}1Hz} = 9{,}882\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

$\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{9{,}882} * 8) = 10{,}785$

14. D10

$|Z|_{D10_lijevo@\ 0{,}1Hz} = 9{,}469\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

$\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{9{,}469} * 8) = 10{,}372$

$|Z|_{D10_desno@\ 0{,}1Hz} = 9{,}519\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

$\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{9{,}519} * 8) = 10{,}422$

15. D11

$|Z|_{D11@\ 0{,}1Hz} = 10{,}229\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

$\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{10{,}229} * 8) = 11{,}132$

16. D12

$|Z|_{D12_lijevo@\ 0{,}1Hz} = 9{,}391\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

$\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{9{,}391} * 8) = 10{,}294$

$|Z|_{D12_desno@\ 0{,}1Hz} = 9{,}243\ \Omega\ \mathrm{cm}^2$

$\log(|Z|\ \Omega\ \mathrm{cm}^2\ @\ 0{,}1\ Hz) = \log(10^{9{,}243} * 8) = 10{,}146$

Konačni rezultati impedancije prikaznanu su u tablici 11.

Tablica 11. Rezultati izračunavanja impedancije premaznih sustava

Premazni sustav	log(|Z| Ω cm^2 @ 0,1 Hz)	
A9	10,208	
A10	7,277	6,738
A11	10,652	
A12	7,431	6,960
B9	10,513	
B10	7,506	7,683
B11	10,148	
B12	8,091	7,869
C9	10,448	
C10	9,443	8,752
C11	10,331	
C12	8,925	9,147
D9	10,785	
D10	10,372	10,422
D11	11,132	
D12	10,294	10,146

4. RASPRAVA:

4.1. Ispitivanje u slanoj komori

Na temelju dobivenih rezultata ispitivanja u slanoj komori može se uočiti da su testne pločice premaznih sustava na bazi vode (A i B) više degradirale nego testne pločice premaznih sustava na bazi otapala(C i D).

Kod testnih pločica s rebrima i premaznim sustavom A prikazanim na slikama 63, 64 i 65 može se uočiti da je do korozije došlo uz rubove pločica i kod otvora na pločici. Također se može uočiti da je na nekim mjestima došlo do pojave mjehura na premaznom sustavu i da su takva mjesta degradirala. Također uočava se da na mjestu gdje zavar nije kvalitetno završen dolazi do korozije. Na slikama 66 i 67 testnih pločica bez rebra i s premaznim sustavom A, uočava se korozija uz rubove pločice i na otvoru pločice. Također se može uočiti da je na testnim pločicama došlo do izbjeljivana boje u usporedbi s onim koje nisu bile u slanoj komori.

Nadalje, kod testnih pločica s rebrima i premaznim sustavom B, prikazanih slikama 68, 69 i 70, uočava se da je na sličan način kao kod premaznog sustava A došlo do pojave korozije na mjestima nekvalitetnog zavara, uz rubove pločica i kod otvora na pločici. Za razliku od sustava A, kod sustava B nije došlo do pojave mjehura na ispitivanoj površini. Na slikama 71 i 72, testnih pločica bez rebra sa sustavom B, vidljiva je korozija na rubovima pločica i na mjestu otvora pločice. Na testnoj pločici na slici 72 pojavio se mjehur. Nakon izlaganja u komori, došlo je i do izbjeljivanja površine premaznog sustava B, ali u manjoj mjeri nego kod premaznog sustava A.

Kod premaznog sustava C uočava se velika razlika u odnosu na prethodna dva premazna sustava (A i B). Iz slika 73, 74 i 75 testnih pločica s rebrima, vidljiva je korozija samo na mjestu zavara i kod otvora na pločici. Kod testne pločice bez rebra na slici 76 uočena je intenzivnija korozija iz otvora pločice i ruba pločice, nego kod testne pločice na slici 77. Razlog tome leži u debljini suhog premaznog sloja pločice C10 na slici 76 koji se nalazi ispod minimalne debljine što se jasno vidi iz grafikona na slici 57. Na testnim sa sustavom C pločicama nije došlo do pojave mjehura i do izbjeljivanja premaza.

Kod posljednog premaznog sustava D vidljiva je najmanja pojava korozije odnosno najveća je korozijska otpornost. Na testnoj pločice s rebrom na slici 78 vidljivo je da je do korozije došlo samo na rebru usred oštećenja premaza, a na slikama 79 i 80 korozija se

pojavila na mjestu zavara i malo uz rub testne pločice. Može se uočiti da korozije praktički niti nema u otvoru pločice te da nije došlo do promjene nijanse premaza. Na pločici bez rebra na slici 81 vidljiva je minimalna korozija na otvoru i na rubu pločice, a na pločici na slici 82 nema vidljivih tragova korozije.

4.2. Impedancijsko ispitivanje

Na temelju dobivenih Bodeovih grafičkih prikaza i izračunatih impedancija premaznih sustava, vidljiva je razlika u kvaliteti premaznih sustava na bazi vode (A i B) i na bazi otapala (C i D).

Kod premaznog sustava A na slikama 83 i 84 vidljiv je značajan pad impedancije testnih pločica iz slane komore u odnosu na impedanciju testnih pločica koje nisu bile u slanoj komori. Logaritam impedancije je u linearnom odnosu s frekvencijom kod pločica koje nisu bile u slanoj komori uz mala rasipanja pri nižim frekvencijama, a kod pločica iz slane komore to nije slučaj. Također, postoji mala razlika u impedanciji lijeve i desne strane pločice iz slane komore. Kod testnih pločica koje nisu bile u slanoj komori vrijednost faznog kuta je blizu -90 stupnjeva skoro unutar cijelog frekvencijskog raspona uz mala rasipanja pri nižim frekvencijama. Takav slučaj nije kod pločica iz slane komori gdje fazni kut pada prema nižim frekvencijama, te kod vrlo niskih frekvencija (0,01 Hz) opet počinje rasti. Iz izračunatih impedancija koje su prikazane u tablici 11 uočava se visoka vrijednost impedancije testnih pločica koje nisu bile u slanoj komori. Srednja vrijednost log(|Z| Ω cm^2 @ 0,1 Hz) za sustav A iznosi 10,43. Kod testnih pločica s premaznim sustavom A, nakon slane komore, srednja vrijednost impedancije iznosi 7,133.

Kod premaznog sustava B na slikama 85 i 86, logaritam impedancije je u linearnom odnosu s frekvencijom kod pločica koje nisu bile u slanoj komori uz mala rasipanja pri nižim frekvencijama, a kod pločica iz slane komore to nije slučaj. Impedancije ispitivanih lijevih i desnih strana pločica velikim dijelom se preklapaju. Vrijednost faznog kuta je blizu -90 stupnjeva tijekom cijelog frekvencijskog raspona, uz mala rasipanja pri niskim frekvencijama za testne pločice koje nisu bile u slanoj komori, a za pločice iz slane komore vrijednost faznog kuta pada prema nižim frekvencijama. Kao i kod premaznog sustava A srednja vrijednost logaritma impedancije log(|Z| Ω cm^2 @ 0,1 Hz), za testne pločice koje nisu bile u slanoj komori je visoka i iznosi 10,330. Srednja vrijednost iste veličine za testne pločice iz slane komore je znatno manja i iznosi 7,787. Razlika u impedanciji između lijeve i desne strane testne pločice je manje nego kod prethodnog sustava A, a ukupni pad impedancije nešto je manji.

Kod premaznog sustava C prikazanog na Bodeovim grafičkim prikazima na slikama 87 i 88 vidi se da je logaritam impedancije u linearnom odnosu s frekvencijom kod testnih pločica koje nisu bile u slanoj komori. Kod testnih pločica iz slane komore impedancija je u linearnom odnosu sa frekvencijom kod viših frekvencija, a kod nižih frekvencija nema izražene linearnosti. Razlika između vrijednosti impedancije testnih pločica koje nisu i koje su bile u slanoj komori je manja nego kod prethodna dva premazna sustava. Impedancije ispitivanih lijevih i desnih strana pločica velikim dijelom se preklapaju uz mala odstupanja pri nižim frekvencijama. Kod testnih pločica koje nisu bile u slanoj komori vrijednost faznog kuta je blizu -90 stupnjeva tijekom cijelog frekvencijskog raspona, uz mala rasipanja pri nižim frekvencijama. Za razliku od prethodna dva slučajeva gdje fazni kut kod testnih pločica iz slane komore odmah počinje padati prema nižim frekvencijama, u ovome slučaju je vrijednost faznog kuta je približno konstantna (blizu 90 stupnjeva) do otprilike 10 Hz, a nakon toga vrijednost faznog kuta počinje padati s smanjenjem frekvencije. Srednja vrijednost logaritma impedancije log(|Z| Ω cm^2 @ 0,1 Hz) za testne pločice koje nisu bile u slanoj komori visoka je kao i kod dva prethodna premazna sustava iznosi 10,410. Srednja vrijednost logaritma impedancije testnih pločica iz slane komore viša je nego kod prethodnog premaznog sustava B i iznosi za 9,066.

Kod posljednjeg premaznog sustava D prikazanog na slikama 89 i 90 može se vidjeti da je razlika u impedanciji testnih pločica koje nisu bile i koje su bile u slanoj komori jako mala. Impedancije ispitivanih lijevih i desnih strana testnih pločica iz komore se gotovo savršeno preklapaju. U oba slučaja logaritam impedancije zadržava linearni odnos s frekvencijom. Vrijednost faznog kuta i kod jednih i drugih testnih pločica je blizu -90 stupnjeva u cijelom frekvencijskom rasponu, uz mala rasipanja pri nižim frekvencijama. Iz tablice 11 vide se visoke vrijednosti logaritama impedancije log(|Z| Ω cm^2 @ 0,1 Hz) i za testne pločice koje nisu bile u slanoj komori i koje su bile u slanoj komori. Srednja vrijednost za prve iznosi 10,959, a za druge, 10,314.

5. ZAKLJUČAK:

Zaštita primjenom sustava premaza danas je najzastupljenija i najvažnija metoda zaštite konstrukcija od pojave korozije. Kvalitetna zaštita od pojave korozije vrlo je bitno jer izravni troškovi korozije iznose i do 5% BDP-a razvijenih država. Tehnologija premaza napredovala je i tržište pruža velike mogućnosti u odabiru sustava i vrsta premaza. Uvjeti eksploatacije i namjena konstrukcije imaju veliku ulogu kod odabira sustava i vrste premaza. Također, današnji ekološki propisi imaju ulogu u odabiru sustava premaza zbog ograničenog dozvoljenog sadržaja hlapivih organskih spojeva što dovodi do toga da se tradicionalni premazi na bazi otapala polako zamjenjuju za premaze na bazi vode. Problemi se javljaju u kvalitetnoj zamjeni premaza na bazi otapala s premazima na bazi vode. Usporedbom rezultata ispitivanja, premaznih sustava na bazi vode i na bazi otapala dobivenih u ovome radu, došlo se do više značajnih zaključaka.

Može se zaključiti da su premazni sustavi na bazi otapala (C i D) kvalitetnija zaštita trafokotlova, u kategoriji atmosferske korozivnosti C5-I srednjeg vremena trajnosti, nego premazni sustavi na bazi vode (A i B). Također, iz dobivenih rezultata zaključuje se da je potrebno napraviti kvalitetan zavar od početka do kraja jer loše izrađeni krajevi zavara ostavljaju slobodnima vrlo oštre rubove navarenog rebra koji predstavljaju mjesta na kojima najlakše i izuzetno brzo dolazi do propadanja premaza. To se jako dobro vidi na testnim pločicama gdje zavar nije kvalitetno napravljen. Nedostatak koji je jako vidljiv kod premaza na bazi vode je gubitak sjaja odnosno izbjeljivanje boje tijekom ispitivanja, za razliku od premaza na bazi otapala gdje nije došlo do gubitka sjaja nakon ispitivanja.

Rezultati impedancijskog ispitivanja potvrđuju zaključak ispitivanja u slanoj komori da su premazni sustavi bazi otapala kvalitetnija zaštita nego premazni sustavi na bazi vode. Na temelju Bodeovih grafičkih prikaza zaključuje se da kod premaza na bazi vode (A i B) dolazi do velikog pada faznog kuta prema nižim frekvencijama, što pokazuje gubitak kapacitivnog i pojavu otpornog ponašanja premaza. Također se uočava veliki pad impedancije premaza kod sustava A i B, te manji kod sustava C, što vjerojatno ukazuje na apsorpciju vode u premaz i razvoj pora u premazu. Kod premaznog sustava D nije došlo do značajnog pada impedancije niti faznog kuta izlaganjem u komori, pa tako vjerojatno ni do značajnog razvitka pora u premazu i adsorpcije vode u premaz.

Na kraju iz izračunatih impedancija premaznih sustava ($\log(|Z|\ \Omega\ cm^2$ @ 0,1 Hz) mogu se potvrditi prethodni zaključci da su ispitivani premazni sustavi na bazi otapala kvalitetnija zaštita od korozije nego premazni sustavi na bazi vode. Lošu korozijsku zaštitu

pruža premazni sustav A, a nakon njega slijedi premazni sustav B koji pruža malo bolju korozijsku zaštitu. Premazni sustav C pruža vrlo dobru koroziju zaštitu, a jedino premazni sustav D pruža odličnu zaštitu nakon ispitivanja u slanoj komori.

Na temelju svih dobivenih rezultata zaključuje se da je premazni sustav D na bazi otapala najkvalitetniji premazni sustav, od svih ispitivanih, i može poslužiti za kvalitetnu zaštitu trafokotlova od pojave korozije u kategoriji atmosferske korozivnosti C5-I uz zahtjev srednjeg vremena trajnosti.

6. POPIS SIMBOLA:

P, cm^2 - površina gel elektrode

$|Z|_{@\ 0.1\ Hz}$, $\Omega\ cm^2$ - vrijednost impedancije kod frekvencije 0.1 Hz

7. LITERATURA:

[1] Goić R., Jakus D., Penović I., Distribucija električne energije, interna skripta, FESB, Split, 2008.

[2] http://inkprojekt.hr/wp-content/uploads/2014/05/slide_005.jpg [pristup 1.8.2016.]

[3] http://www.cbsa-asfc.gc.ca/sima-lmsi/i-e/ad1395/Transformer_E.jpg [pristup 1.8.2016.]

[4] http://www.tehnicka-skola-karlovac.hr/maturalna_pitanja/6_11oprema_transformatora.php [pristup 1.8.2016.]

[5] http://www.noviferomont.hr/s/proiz/k2.jpg [pristup 1.8.2016.]

[6] http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=33255 [pristup 5.2.2016.]

[7] Otmačić Ćurković H.,: Konstrukcijski materijali i zaštita, skripta, FKIT, Zagreb, 2015.

[8] Stupnišek-Lisac E.: Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, FKIT, Zagreb, 2007.

[9] Rački-Weihnacht N.: Boje i lakovi - jučer danas sutra, Chromos boje i lakovi d.d., Zagreb, 2004.

[10] Juraga I., Šimunović V., Alar V., Teorijske osnove korozijskih procesa i metode zaštite, skripta, FSB, Zagreb, 2011.

[11] http://www.uredisvojdom.com/pictures/products/756d6eb82a7d58edd46002f04364037d.jpg

[12] Alar V, Stojanović I., Mihalic I., Zaštita ugljičnog čelika vodorazrjedivim premazima, Zaštita materijala 52, 3 (2011.), 201-206

[13] Juraga I., Šimunović V., Stojanović I., Alar V., Mehanizmi zaštite od korozije, skripta, FSB, Zagreb, 2012.

[14] Esih, I.: Osnove površinske zaštite, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.

[15] http://g03.s.alicdn.com/kf/HTB1IMylHXXXXXXKXVXXq6xXFXXXc/200793941/HTB1IMylHXXXXXXKXVXXq6xXFXXXc.jpg [pristup 8.6.2016.]

[16] http://www.dalekovod-proizvodnja.com/EasyEdit/UserFiles/Fotogalerija/naslovnica/tvornica-akz-01_640_480.jpeg [pristup 10.2.2016.]

[17] http://www.spring-coating.com/wp-inside/uploads/2015/09/iStock_000033538458_Medium.jpg [pristup 8.6.2016.]

[18] Bieleman, J.: Additives For Coatings, Wiley – VCH, 2000.
[19] DIN EN ISO 12944-5:2008-01
[20] http://ferroecoblast.com/media/uploads/public/_custom/products/Blast_rooms/Inox_shot_blasting.jpg [pristup 20.2.2016.]
[21] Filetin T., Izbor materijala pri razvoju proizvoda, FSB, Zagreb, 2000.
[22] Martinković, Ž.: Diplomski rad – Zaštita čeličnih konstrukcija vodorazrjedivim premazima, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.
[23] Vaupotić R., Rački-Weihnacht N., Suvremeni trendovi u razvoju premaza za zaštitu premaza, HDZZM, 2007.
[24] Nikolov S., Industrija premaznih sredstava-ekologija i pravci razvoja, XIX Simpozij o koroziji i zaštiti materijala. Tara, 2004.
[25] http://infohouse.p2ric.org/ref/01/00777/alternat.htm [pristup 1.9.2016.]
[26] Juraga I., Alar V., Stojanović I., Korozija i zaštita premazima, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.
[27] http://www.niveta.hr/za-licenje/images-big/3770.jpg [pristup 8.6.2016.]
[28] http://www.niveta.hr/za-licenje/kist-6222.html [pristup 8.6.2016.]
[29] http://www.niveta.hr/za-licenje/images-big/9350.jpg [pristup 8.6.2016.]
[30] http://www.jax.hr/images/product/20130208110942/20130208110942-main.jpg [pristup 8.6.2016.]
[31] http://media.eponuda.com/masine_alati_rucni_alati/beorol/750616_l.jpg [pristup 8.6.2016.]
[32] http://alatimilic.hr/shop/image/cache/data/Fervi/Profesionalni-pi%C5%A1tolj-za-prskanje-Fervi-A601A_slika-250x250.jpg [pristup 8.6.2016.]
[33] http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/16045-3379161.jpg [pristup 8.6.2016]
[34] DIN EN ISO 12944-2:1998
[35] DIN EN ISO 12944-6:1998
[36] Jukić A., Osnove elektrokemijske impedancijske spektroskopije, FKIT, Zagreb, 2001.
[37] Loveday D., Peterson P., Rodgers B., Evaluation of Organic Coatings with Electrochemical Impedance Spectroscopy, Part 2: Application of EIS to Coating
[38] M.O'Donoghue, R.Garrett, V.J.Datta, P.Meli, and L.Meilus. JPCL-PMC, March, 1998.

[39] Bos T., Prediction of coating durability, Chapter 3: Electrochemical techniques for coating characterisation, Nizozemska, 2008.

[40] Loveday D., Peterson P., Rodgers B., Evaluation of Organic Coatings with Electrochemical Impedance Spectroscopy, Part 1: Fundamentals of Electrochemical Impedance Spectroscopy

[41] http://www.diamondliners.com/separatergb.jpg [pristup 10.6.2016.]

[42] http://ayarys.com.pe/web/wp-content/uploads/2015/04/elcometer-319.jpg [pristup 10.6.2016.]

ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI

Ime i prezime: Jurica Žerjav

Datum i mjesto rođenja: 22. 04. 1992. Čakovec

Adresa: Matija Gupca 1, Strahoninec

Telefon: 099/681-1899

E-mail: jura0001@gmail.com

ŠKOLOVANJE

Rujan 2014.-Rujan 2016	Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije,Zagreb Smjer: Kemijsko procesno inženjerstvo, diplomski sveučilišni studij
Rujan 2011.-Rujan 2014.	Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb Smjer: Kemijsko inženjerstvo, preddiplomski sveučilišni studij
Rujan 2007.-Lipanj 2011.	Gimnazija Josipa Slavenskog Čakovec Smjer: Prirodoslovno-matematički
Rujan 1999.-Lipanj 2007.	Osnovna škola Strahoninec

ZNANJE I VJEŠTINE

Strani jezici: Engleski jezik

Rad na računalu: MS Office, Matlab, ChemCad, Internet, Sigma Plot