



ZELENI PREMAZ ZA DIREKTNU ZAŠTITU METALA: PRIJATELJSKA BORBA PROTIV KOROZIJE

GREEN COATING FOR DTM PROTECTION: A FRIENDLY FIGHT AGAINST CORROSION

Šejla Zukić¹, Ante Norac-Kljajo², Vesna Alar², Marin Kurtela², Ivan Stojanović², Boris Mikšić³

¹*Cortec Corporation Zagreb/HR*, ²*Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilište u Zagrebu, Zagreb/HR*, ³*Cortec Corporation, St Paul/SAD*

Stručni rad – Professional paper

Sažetak

U skladu s rastućom potražnjom za ekološki prihvatljivim alternativama u industriji premaza, razvijen je vodorazrjedivi akrilatni premaz na bioosnovi za direktnu zaštitu metalnih površina. U radu su evaluirane karakteristike razvijenog bio-premaza uspoređujući tri vrste inhibitora korozije: hlapljivi inhibitor korozije, inhibitor korozije na bazi metalnog kompleksa te inhibitor korozije na bazi aminokarboksilata. U eksperimentalnom dijelu određena su fizikalna i mehanička svojstva ispitnih premaza s fokusom na usporedbu zaštitnih svojstava inhibitora korozije koristeći ispitivanje u vlažnoj i slanoj komori, te elektrokemijsku impedancijsku spektroskopiju (EIS). Rezultati ovog rada doprinose kontinuiranim naporima u razvoju održivih premaza s poboljšanim svojstvima zaštite od korozije te pruža vrijedne informacije o performansama ekoloških alternativa u usporedbi s tradicionalnim premazima.

Ključne riječi: korozija, premazi na bioosnovi, inhibitori korozije, elektrokemijska impedancijska spektroskopija

Abstract

In response to the growing demand for environmentally friendly alternatives in the coating industry, a water-dilutable bio-based acrylic coating for DTM protection has been developed. The characteristics of the developed bio-coating were evaluated by comparing three types of corrosion inhibitors: volatile corrosion inhibitor, metal complex-based corrosion inhibitor, and amino carboxylate-based corrosion inhibitor. In the experimental section, the physical and mechanical properties of the test samples were determined, with a focus on comparing the protective properties of corrosion inhibitors using humidity testing, salt spray testing, and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The results of this study contribute to ongoing efforts in the development of sustainable coatings with improved corrosion protection properties and provide valuable information on the performance of environmental alternatives compared to traditional coatings.

Keywords: corrosion, bio-based coatings, corrosion inhibitors, electrochemical impedance spectroscopy



1. UVOD

Korozija, proces postupnog propadanja materijala pod utjecajem kemijskih ili elektrokemijskih reakcija s okolišem, predstavlja ozbiljan izazov za očuvanje strukturnog integriteta metala. U zaštiti metalnih konstrukcija od nepoželjnih utjecaja okoline, poput korozije, premazi igraju ključnu ulogu [1].

Tradicionalno najčešće korišteni premazi bili su na bazi otapala, no u skladu s rastućom sviješću o ekološkim izazovima i potrebom za održivim rješenjima, istraživanja se sve više usmjeravaju prema razvoju ekološki prihvatljivih alternativa.

Vodorazrjedivi premazi nastali su kao odgovor na strože zakone o hlapivim organskim spojevima, a u cilju im je zamjena štetnih otapala vodom. Novi iskorak u razvoju obnovljivih i ekoloških rješenja je korištenje sirovina na biosnovi u formulacijama premaza.

Premazi na biološkoj osnovi mogu se formulirati od raznih bio-materijala, kao što su prirodna ulja, smole, škrob, celuloza, proteini i druge komponente biljnog ili životinjskog podrijetla. Proizvodnja premaza na biološkoj osnovi često uključuje procese koji su ekološki prihvatljiviji u usporedbi s proizvodnjom klasičnih premaza [2].

U skladu s trendom industrije premaza razvijen je vodorazrjedivi bio-akrilatni premaz za direktnu zaštitu metalnih površina, te su evaluirane karakteristike razvijenog bio-premaza uspoređujući tri vrste inhibitora korozije: hlapljivi inhibitor korozije (VCI), inhibitor korozije na bazi metalnog kompleksa cink sulfonata te inhibitor korozije na bazi aminokarboksilata.

U eksperimentalnom dijelu određena su fizikalna i mehanička svojstva ispitnih premaza s fokusom na usporedbu zaštitnih svojstava inhibitora korozije koristeći ispitivanje u vlažnoj i slanoj komori, te elektrokemijsku impedancijsku spektroskopiju (EIS). Rezultati ovog rada pružaju vrijedne informacije o svojstvima ekoloških alternativa u zaštiti od korozije u usporedbi s tradicionalnim premazima.

2. INHIBITORI KOROZIJE U PREMAZIMA

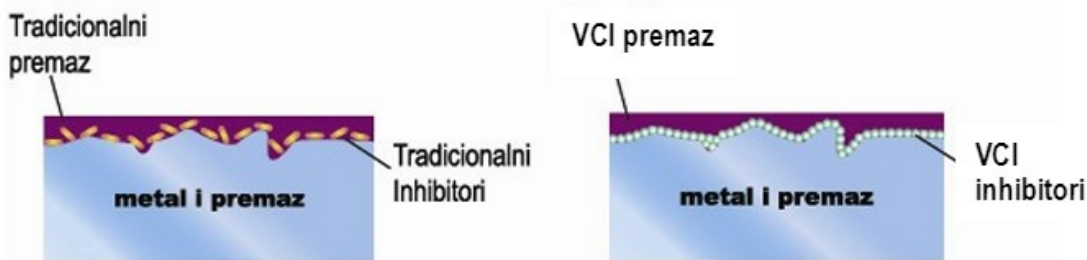
Inhibitori se upotrebljavaju za zaštitu metala od korozijskih učinaka, uključujući i privremenu zaštitu tijekom skladištenja ili transporta, kao i zaštitu lokalnog karaktera koja je potrebna da bi se spriječila korozija koja nastaje radi skupljanja manje količine agresivnog okruženja. Učinkoviti inhibitor kompatibilan je s okolinom, ekonomičan u svojoj primjeni, daje traženu zaštitu te je prisutan u prihvatljivim koncentracijama.

Jedna od podjela inhibitora korozije je prema aktivnoj fazi zaštite na inhibitore parne faze (hlapljivi inhibitori korozije) te inhibitori tekuće faze [3].

Hlapljivi inhibitor korozije (VCI, engl. *vapor phase corrosion inhibitor*) je molekula koja ima sposobnost isparavanja i kondenzacije na metalnoj površini te na taj način štite od korozivnih napada. Glavna prednost VCI-ja u usporedbi s konvencionalnim metodama kontrole korozije proizlazi iz njihovog prijenosa u plinskoj fazi, što im omogućuje da dosegnu metalnu površinu bez potrebe da se molekule VCI-a direktno dodiruju s površinom. VCI premazi su općenito prozirni lakovi koji nakon sušenja stvaraju proziran film. Prilikom nanošenja, VCI se difuzira kroz premaz kako bi dosegnuo ciljanu metalnu površinu [4].

Inhibitori tekuće faze podijeljeni su na anorganske (anodni, katodni) i organske (mješoviti) inhibitore, ovisno o tome odvija li se inhibicija na anodnom dijelu, katodnom dijelu ili na oba dijela površine metala istovremeno [3].

Razlika u mehanizmu djelovanja hlapljivih inhibitora korozije (VCI) i tradicionalnih inhibitora korozije tekuće faze prikazani su na slici 1.



Slika 1. Inhibirajući učinak tradicionalnih premaza i premaza s hlapljivim inhibitorom korozije [5].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Materijali

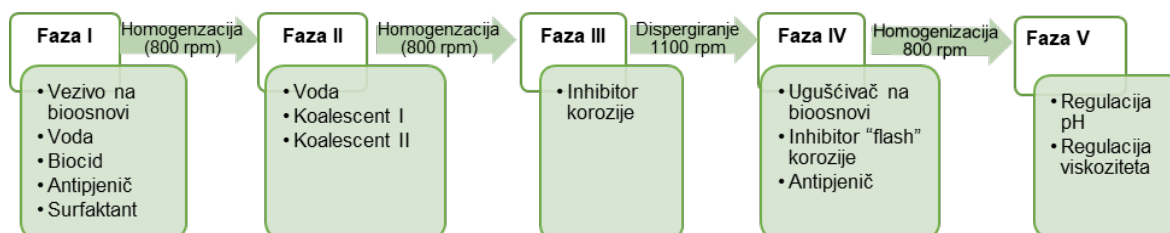
Za pripremu formulacija akrilatnog premaza na bioosnovi korišteno je akrilatno vezivo (multifazna akrilatna disperzija s 32 % biosadržaja), reološki aditiv (asocijativni poliuretanski ugušćivač s 93% biosadržaja), koalescenti, voda, te ostali aditivi (antipjenič, surfaktant, regulator pH, biocid). Pripravljene su 4 formulacije s različitim inhibitorima korozije:

- V0 – formulacija na bioosnovi bez inhibitora korozije
- V1 – formulacija na bioosnovi s hlapljivim inhibitorom korozije na bazi soli aromatske kiseline (Cortec Corporation)
- V2 – formulacija na bioosnovi s inhibitorom korozije na bazi cink sulfonata (King Industries)
- V3 – formulacija na bioosnovi s inhibitorom korozije na bazi aminokarboksilata (Halox/ICL)

Kao kontrolni uzorak koristio se akrilatni premaz za direktnu zaštitu metala komercijalnog naziva VpCI-386, Cortec Corporation.

3.2. Zamješavanje formulacija premaza

Pripravljene su četiri formulacije bio-premaza s jednakim udjelom veziva, reoloških i ostalih aditiva, uz različit tip inhibitora korozije u masenom udjelu od 1% na ukupnu formulaciju. Postupak pripreme se sastoji od naizmjeničnih faza dodavanja komponenata, homogenizacije i dispergiriranja. Za homogenizaciju i dispergiriranje korišten je disperzer IKA ministar 20 digital. Shematski prikaz faza pripreme prikazan je na slici 2.



Slika 2. Shematski prikaz zamješavanja formulacija V0-V3.

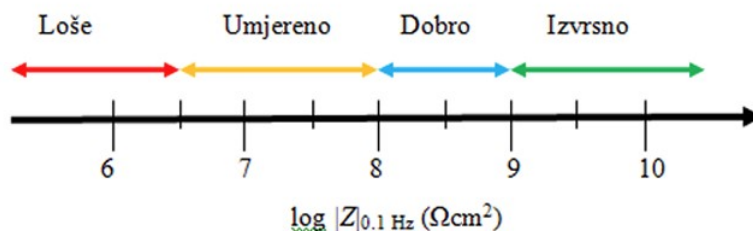
3.3. Karakterizacija pripremljenih formulacija

Za sve formulacije određena su fizikalna svojstva: pH pri 23 ± 2 °C, sadržaj nehlapivih tvari (EN ISO 3251) i sjaj premaza (EN ISO 2813), te mehanička svojstva: određivanje prionjivosti premaza urezivanjem mrežice i ispitivanje tvrdoće premaza olovkama.

Formulacije su nanosene spiralnim aplikatorom na brušene čelične pločice S-35 (Q panel) dimenzija 76 x 127 x 0.81 mm u debljini mokrog filma od 200 μm . Nakon sušenja na sobnoj temperaturi pri standardnim uvjetima tijekom 7 dana, određena je debljina suhog filma (DSF) pomoću digitalnog uređaja Elcometer 456 koji radi na principu nedestruktivne magnetske indukcije.

Naneseni uzorci su nakon 7 dana sušenja izloženi ubrzanom korozivnim ispitivanjima u vlažnoj i slanoj komori. U vlažnoj komori uzorci su ispitivani na 40 ± 3 °C, s relativnom vlažnosti zraka oko 100 % (ISO 6270-1) u trajanju od 504 sati. Uzorci u slanoj komori bili su 168 sati izloženi 5 %-tnoj vodenoj otopini NaCl-a pri temperaturi od 35 ± 2 °C. Degradacija premaza procijenjena je prema ISO 4628.

Zaštitna svojstva premaza procijenjena su EIS mjerenjem s VersaSTAT 3 Potenciostat/Galvanostat. Mjerenja su provedena nakon 380 sati uranjanja u 3,5 %-tnu otopinu NaCl-a pri frekvencijskom rasponu od 10^5 do 10^{-1} Hz. Korištena je ćelija s tri elektrode uključujući premazani uzorak kao radnu elektrodu, ZKE kao referentnu elektrodu i grafitni štapić kao protuelektrodu. Površina radne elektrode iznosila je 19,63 cm^2 . Kvaliteta zaštitnih premaza je procijenjena očitavanjem logaritamske vrijednosti modula impedancije, $\log |Z|$ pri frekvenciji 0,1 Hz te je određena ocjena djelotvornosti ispitivanog premaza koja se očituje na skali prikazanoj na slici 3.



Slika 3. Skala za ocjenu djelotvornosti zaštitnih premaza [6].

Vrijednosti $\log |Z|$ pri frekvenciji 0,1 Hz ispod 6,5 upućuju na loša zaštitna svojstva premaza, a vrijednosti između 6,5 i 8 da premaz pruža umjerenu zaštitu. Premaz ima dobra zaštitna svojstva ako su vrijednosti $\log |Z|$ pri frekvenciji 0,1 Hz između 8 i 9, a najbolju zaštitu pruža premaz s očitanim vrijednostima većima od 9 [6].

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Fizikalna svojstva formulacija i debljine suhog filma premaza

Udio biosadržaja određen je teorijskim izračunom prema specifikacijama tehničkog lista veziva i ugušćivača na bioosnovi. Sadržaj nehlapivih tvari određen je gravimetrijskom metodom, zagrijavanjem 1 ± 0.1 g uzorka tijekom 60 minuta na 125 °C. Rezultati svih određenih fizikalnih svojstava dani su u tablici 1.

Tablica 1. *Fizikalna svojstva formulacija.*

Svojstvo	V0	V1	V2	V3	VpCI-386
Udio biosadržaja, %	24.5				0
pH pri 23 °C	8.681	8.656	8.707	8.717	9.279
Sadržaj nehlapivih tvari, % (ISO 3251)	37.29	37.30	37.19	37.09	37.23
Sjaj pri 60°, GU (ISO 2813)	85+	85+	85+	85+	85+
DSF, μm (EN ISO 2808:2019)	85-90	75-85	75-85	75-85	85-90

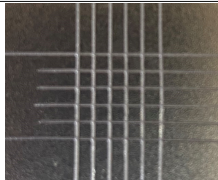
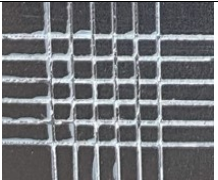
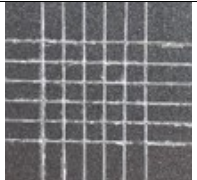
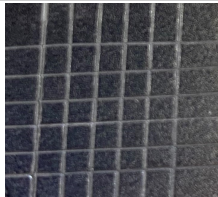
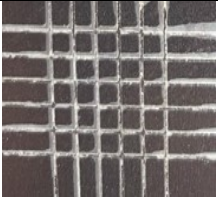
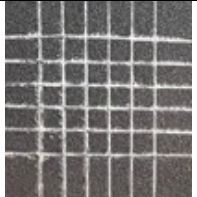
Iz dobivenih rezultata, može se zaključiti da sve formulacije pokazuju približno slične vrijednosti sadržaja nehlapivih tvari, sjaja pri 60° i debljine suhog filma. Uzorci na bioosnovi V0, V1, V2 i V3 imaju u svojim formulacijama 24,5 % biosadržaja. Za formulaciju VpCI-386 pH vrijednost je viša nego za formulacije na bioosnovi.

4.2. Ispitivanje prionjivosti premaza urezivanjem mrežice

Ispitivanje prionjivosti premaza urezivanjem mrežice (engl. *Cross-cut test*) provedeno je u skladu s normom ISO 2409.

Ispitivanje je provedeno na uzorcima prije te nakon ispitivanja u slanoj i vlažnoj komori. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. *Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza prema normi ISO 2409.*

Uzorak	Prije ispitivanja		Nakon 504 h u vlažnoj komori		Nakon 168 h u slanoj komori	
V0		Ocjena 0		Ocjena 1		Ocjena 1
V1		Ocjena 0		Ocjena 1		Ocjena 1



V2		Ocjena 0		Ocjena 5		Ocjena 1
V3		Ocjena 0		Ocjena 1		Ocjena 1
VpCI-386		Ocjena 0		Ocjena 4		Ocjena 0

Prije ispitivanja svi uzorci pokazuju odličnu ocjenu prionjivosti i nije vidljiva razlika ovisno o vrsti formulacije. Nakon 504 sata u vlažnoj komori, uzorci V0, V1 i V3 imaju ocjenu 1 što i dalje zadovoljava performanse. Uzorak VpCI-386 ima ocjenu 4, a uzorak V2 ocjenu 5 te kao takvi ne zadovoljavaju zahtjeve prionjivosti. Nakon 168 sati u slanoj komori, VpCI-386 ima odličnu prionjivost, dok uzorci V0, V1, V2 i V3, imaju neznatno nižu ocjenu prionjivosti.

4.3. Ispitivanje tvrdoće premaza olovkama

Ispitivanje tvrdoće premaza provedeno je u skladu s normom ISO 15184 pomoću uređaja Simex. Rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza prema normi ISO 15184.

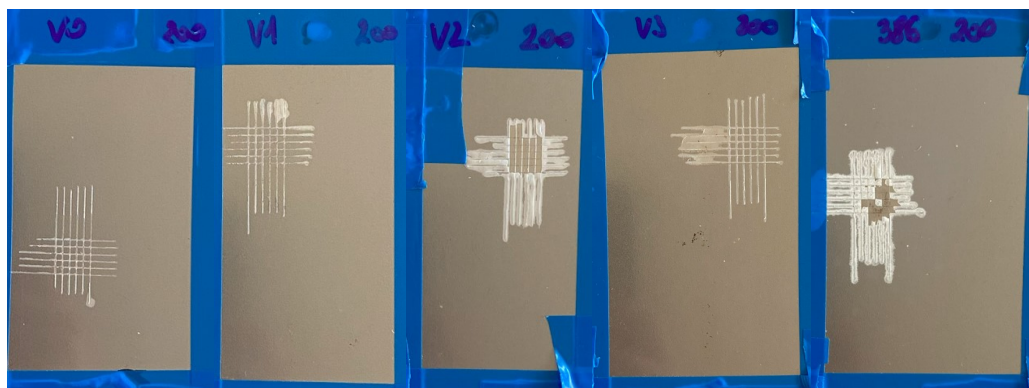
Uzorak	Prije ispitivanja	Nakon 504 h u vlažnoj komori	Nakon 168 h u slanoj komori
V0	HB	HB	B
V1	HB	HB	HB
V2	HB	HB	HB
V3	HB	6B	B
VpCI-386	HB	HB	HB

Prije ispitivanja, svi uzorci imaju podjednaku tvrdoću. Nakon 504 sati u vlažnoj komori, svi uzorci osim V3 imaju jednaku tvrdoću kao i prije ispitivanja. Uzorak V3 nakon ispitivanja u vlažnoj komori ima značajno nižu tvrdoću. Nakon 168 sati u slanoj komori, uzorci V1, V2 i VpCI-386 imaju istu tvrdoću kao prije ispitivanja, a uzorci V0 i V3 imaju za jedan stupanj nižu tvrdoću.

4.4. Ispitivanje u vlažnoj komori

Ispitivanje je provedeno u vlažnoj komori u Laboratoriju za zaštitu materijala, sukladno normi HRN EN ISO 6270-2:2007. Vrijeme ispitivanja trajalo je 21 dan (504 sata). Nakon završetka ispitivanja, analizirano je stanje premaza, te je određen stupanj mjehuranja prema HRN EN ISO

4628-2:2016 i stupanj hrđanja, prema normi HRN EN ISO 4628-3:2016. Uzorci nakon izlaganja prikazani su na slici 4.



Slika 4. Izgled uzoraka nakon ispitivanja u vlažnoj komori.

Rezultati određivanja stupnja mjehuranja i stupnja hrđanja prikazani su u tablici 4.

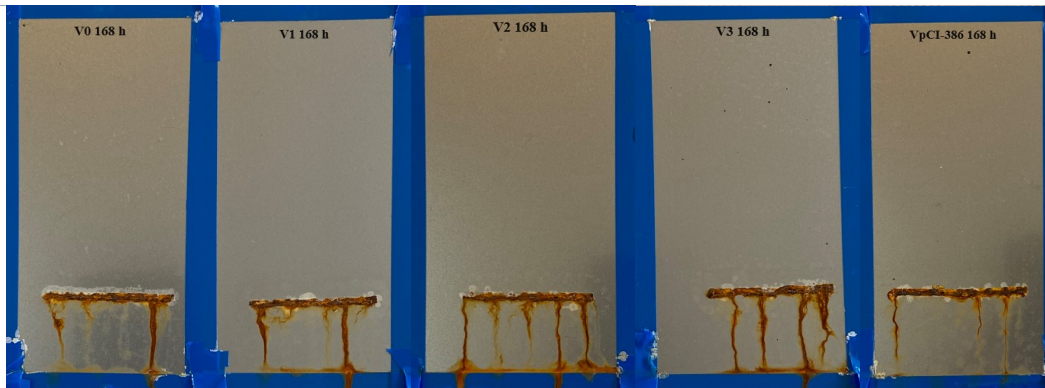
Tablica 4. Ocjena stupnja mjehuranja i hrđanja nakon 504 sata u vlažnoj komori.

Uzorak	ISO 4828-2	ISO 4828-3
	Stupanj mjehuranja	Stupanj hrđanja
V0	0	Ri 1
V1	0	Ri 1
V2	1 (S1)	Ri 1
V3	0	Ri 2
VpCI-386	1 (S1)	Ri 0

Na uzorcima V0, V1 i V3 nije primijećeno mjehuranje, dok uzorci V2 i VpCI-386 pokazuju nisko mjehuranje. Stupanj hrđanja 2 primijećen je kod uzorka V3, zatim manji stupanj imaju uzorci V0, V1 i V2, dok kod uzorka VpCI-386 nije primijećeno hrđanje.

4.5. Ispitivanje u slanoj komori

Ispitivanje je provedeno u slanoj komori u Laboratoriju za zaštitu materijala, sukladno normi HRN EN ISO 9227:2012. Urez na premazima napravljen je prema normi HRN EN ISO 12944-6:2018. Vrijeme ispitivanja trajalo je 7 dana (168 sati). Nakon završetka ispitivanja, analizirano je stanje premaza. Uzorci nakon izlaganja prikazani su na slici 5.



Slika 5. Izgled uzoraka nakon ispitivanja u slanoj komori.

Prema normi HRN EN ISO 4628-2:2016 određen je stupanj mjehuranja, a stupanj hrđanja određen je prema normi HRN EN ISO 4628-3:2016. Stupanj delaminacije i korozije oko ureza određen je prema normi HRN EN ISO 4828-8. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 5.

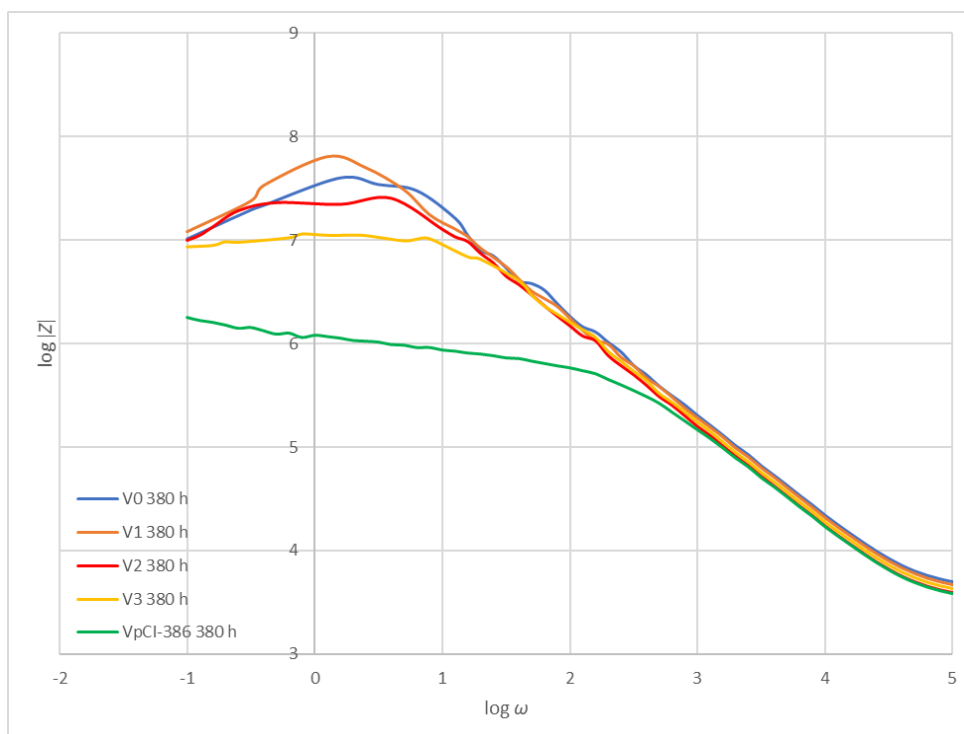
Tablica 5. Rezultati ispitivanja u slanoj komori nakon 168 sati.

Uzorak	ISO 4828-2	ISO 4828-3	ISO 4828-8		Izgled ureza
	Stupanj mjehuranja	Stupanj hrđanja	Stupanj korozije	Stupanj delaminacije	
V0	0	R0	0,10 mm	3	
V1	0	R0	0,11 mm	3	
V2	0	R0	0,15 mm	2	
V3	1 (S1)	R2	0,13 mm	4	
VpCI-386	0	R1	0,16 mm	4	

Na svim uzorcima, osim na uzorku V3 nije primijećeno mjehuranje. Nikakvi znakovi hrđanja nisu primijećeni na uzorcima V0, V1 i V2, dok uzorak VpCI-386 pokazuje nizak stupanj hrđanja, a uzorak V3 srednji stupanj hrđanja. Svi uzorci pokazuju sličan stupanj korozije oko ureza, gdje najniži stupanj ima uzorak V0, a najviši uzorak VpCI-386. Uzorak V2 pokazuje neznan stupanj delaminacije, uzorak V0 i V1 umjeren stupanj delaminacije, dok uzorci V2 i VpCI-386 pokazuju znatan stupanj delaminacije.

4.6. EIS ispitivanje

Upotrebom elektrokemijske impedancijske spektroskopije analizirane su formulacije u 3,5 %-noj otopini NaCl-a. Kao rezultat mjerenja dobiven je impedancijski spektar (Bodeov prikaz) nakon 380 sati izlaganja prikazan na slici 6.



Slika 6. Ovisnost impedancije o frekvenciji nakon 380 h izlaganja u 3,5 %-noj otopini NaCl-a.

Iz prikaza ovisnosti logaritma apsolutne vrijednosti impedancije o logaritmu frekvencije, izravno je očitao otpor premaza pri frekvenciji od 0,1 Hz. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 6.

Tablica 6. Ocjena djelotvornosti premaza nakon 380 h izlaganja.

Uzorak	Logaritamska vrijednost otpora premaza pri 0,1 Hz	Ocjena djelotvornosti premaza
V0	7,01	Umjerena
V1	7,08	Umjerena
V2	7,00	Umjerena
V3	6,94	Loše
VpCI-386	6,25	Loše

Nakon 380 sati izlaganja 3,5 %-noj otopini NaCl-a, uzorci V0, V1 i V2 pokazuju umjerenu djelotvornost u zaštiti metala od korozije, dok uzorci V3 i VpCI-386 pokazuju lošu djelotvornost te kao takvi nisu više učinkoviti u antikorozijskoj zaštiti metala.



5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je ispitati učinkovitost akrilatnog premaza na bioosnovi u formulacijama s različitim vrstama inhibitora, kao i u usporedbi s klasičnim komercijalno dostupnim akrilatnim premazom. Iz dobivenih eksperimentalnih rezultata mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- ✓ Svi uzorci pokazuju izvrsnu prionjivost prije ispitivanja. Nakon 504 sata u vlažnoj komori, najbolju prionjivost ima premaz na bioosnovi bez inhibitora, premaz na bioosnovi s VCI inhibitorom, kao i s inhibitorom na bazi aminokarboksilata. Klasični akrilatni premaz, kao i premaz na bioosnovi s inhibitorom na bazi cink sulfonata pokazuju potpuno odvajanje premaza od podloge. Nakon 168 sati u slanoj komori, izvrsnu prionjivost pokazuje klasični akrilatni premaz VpCI-386, dok premazi na bioosnovi pokazuju zadovoljavajuću prionjivost.
- ✓ Tvrdoća klasičnog akrilatnog premaza, premaza na bioosnovi s VCI inhibitorom, kao i s inhibitorom na bazi cink sulfonata ostala je ista nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori. Premaz na bioosnovi bez inhibitora pokazuje stupanj nižu tvrdoću nakon izlaganja u vlažnoj komori. Premaz na bioosnovi s inhibitorom na bazi aminokarboksilata pokazuje značajno smanjenje tvrdoće premaza nakon izlaganja u slanoj komori.
- ✓ Nakon 504 sati ispitivanja u vlažnoj komori, svi premazi imaju zadovoljavajuće karakteristike. Premaz na bioosnovi s inhibitorom na bazi cink sulfonata, kao i klasični akrilatni premaz pokazuju neznatan stupanj mjehuranja. Najveću otpornost na hrđanje ima klasični akrilatni premaz, dok premaz na bioosnovi s inhibitorom korozije na bazi aminokarboksilata pokazuje umjeren stupanj hrđanja.
- ✓ Nakon 168 sati izlaganja u slanoj komori, svi premazi pokazuju nisku sklonost mjehuranju i hrđanju. Stupanj korozije oko umjetno napravljenog ureza je približno isti za premaz na bioosnovi bez inhibitora i s VCI inhibitorom, dok ostali uzorci pokazuju neznatan stupanj korozije. Stupanj delaminacije najniži je za premaz na bioosnovi s cink sulfonatom, umjerenu delaminaciju pokazuje premaz na bioosnovi bez inhibitora, kao i s VCI inhibitorom, dok znatan stupanj delaminacije pokazuje klasični akrilatni premaz i premaz na bioosnovi s inhibitorom na bazi aminokarboksilata.
- ✓ Ocjena djelotvornosti premaza nakon 380 sati izlaganja pokazuje da premazi na bioosnovi s VCI inhibitorom i inhibitorom na bazi cink sulfonata pokazuju umjerenu djelotvornost u zaštiti od korozije, dok premaz na bioosnovi s inhibitorom na bazi aminokarboksilata i klasični akrilatni premaz nakon 380 sati nisu učinkoviti u antikorozijskoj zaštiti metala.

Analizom svih rezultata, može se zaključiti da akrilatni premazi na bioosnovi mogu zadovoljiti sve potrebne karakteristike zaštite metala od korozije, kao i klasični akrilatni premazi. U usporedbi s tradicionalno korištenim inhibitorima korozije, hlapljivi inhibitor korozije dodatno pridonosi očuvanju mehaničkih svojstava nakon ubrzanih ispitivanja, kao i antikorozijskih svojstava premaza.

Nastavak ovog istraživanja bit će usmjeren ka određivanju svojstava bio-premaza s debljinama suhog filma od 30 do 35 μm , te razvoju komercijalno dostupnog bio-akrilatnog premaza s VCI inhibitorom korozije.



LITERATURA

- [1] Jones, D.A. Principles and Prevention of Corrosion. 2nd Edition, *Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey*, **1996**, 1-5.
- [2] A greener future for coatings <https://www.safic-alcan.com/en/hr/greener-future-coatings> (pristupljeno: 03. ožujak 2024)
- [3] Madžar, T. Korozija i zaštita inhibitorima, Parnofazni inhibitori i vojna oprema, *Zagreb*, **2023**, 52-69.
- [4] Miksic, B.A. VpCI Technology Handbook, *Cortec Corporation, USA*, **2014**, 9-12.
- [5] Juraga I., Šimunović V., Stojanović, I., Primjena inhibitora u zaštiti od korozije u brodogradnji, *Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za zavarene konstrukcije, Katedra za zaštitu materijala, Zagreb*, **2006**.
- [6] Švelić P., Zukić Š., Razvoj elektrokemijskog impedancijskog senzora za In situ ocjenu djelotvornosti zaštitnih premaza, *Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za elektrokemiju, Zagreb*, **2016**.