

Primljen / Received: 26.5.2018.

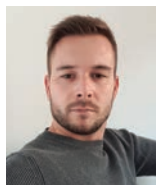
Ispravljen / Corrected: 14.1.2019.

Prihvaćen / Accepted: 22.1.2019.

Dostupno online / Available online: 10.6.2019.

# Prionjivost i zaštitna svojstva DTM premaza u odnosu na premaze s temeljnim slojem

## Autori:



**Mario Kralj**, mag.ing.aedif.  
KRALJ-ING d.o.o.  
[kralj.ing.doo@gmail.com](mailto:kralj.ing.doo@gmail.com)



Dr.sc. **Krunoslav Pavković**, dipl.ing.građ.  
Tehničko veleučilište u Zagrebu  
Graditeljski odjel  
[krunoslav.pavkovic@tvz.hr](mailto:krunoslav.pavkovic@tvz.hr)



Doc.dr.sc. **Ivan Stojanović**, dipl.ing.stroj.  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje  
[ivan.stojanovic@fsb.hr](mailto:ivan.stojanovic@fsb.hr)



**Josipa Anđal**, mag.ing.aedif.  
Tehničko veleučilište u Zagrebu  
Graditeljski odjel  
[josipa.andal@tvz.hr](mailto:josipa.andal@tvz.hr)

Stručni rad

**Mario Kralj, Krunoslav Pavković, Ivan Stojanović, Josipa Anđal**

## Prionjivost i zaštitna svojstva DTM premaza u odnosu na premaze s temeljnim slojem

Velika zastupljenost čelika u izgradnji objekata i infrastrukture danas u svijetu uzrokuje velike troškove zbog osjetljivosti čelika na koroziju. Kako bi se smanjili troškovi zaštite čeličnih konstrukcija od korozije, ulažu se veliki naponi u razvijanje novih tehnologija kojima se želi smanjiti vrijeme rada i produžiti vijek antikorozivne zaštite. Uzimajući u obzir sve češću primjenu "direct to metal" (DTM) sustava za antikorozivnu zaštitu čeličnih konstrukcija, u radu je ispitana i uspoređena prionjivost ovog sustava sa sustavima s temeljnim premazom. Ispitivanja su provedena na tri tipa sustava antikorozivne zaštite.

### Ključne riječi:

korozija, premaz, prionjivost, delaminacija, čelik, DTM, direktno na metal

Professional paper

**Mario Kralj, Krunoslav Pavković, Ivan Stojanović, Josipa Anđal**

## Adhesion and anticorrosive properties of DTM coating as related to primer coating

High worldwide prevalence of steel in the construction of buildings and infrastructure is associated with high costs that are due to the sensitivity of steel to corrosion. To reduce the steel structure corrosion protection costs, great efforts are currently made to develop new technologies that would reduce working time and extend service life of corrosion protection systems. Due to an increasing use of the "direct to metal" (DTM) system for corrosion protection of steel structures, this system was tested in the scope of this study and compared with the systems involving the use of primer coating. The tests were carried out on three types of corrosion protection systems.

### Key words:

corrosion, coating, adhesion, delamination, steel, DTM, direct to metal

Fachbericht

**Mario Kralj, Krunoslav Pavković, Ivan Stojanović, Josipa Anđal**

## Haftung und Schutzeigenschaften von DTM-Beschichtungen im Vergleich zu Beschichtungen mit einer Basisschicht

Die hohe Verbreitung von Stahl im Bau von Anlagen und Infrastrukturen verursacht in der heutigen Welt hohe Kosten aufgrund der Korrosionsempfindlichkeit des Stahls. Um die Kosten für den Korrosionsschutz der Stahlkonstruktionen zu senken, werden große Anstrengungen unternommen, um neue Technologien zu entwickeln, die die Arbeitszeit verkürzen und die Lebensdauer des Korrosionsschutzes verlängern sollen. Angesichts der zunehmenden Anwendung des Systems „Direct to Metal“ (DTM) zum Korrosionsschutz von Stahlkonstruktionen wurde in der Abhandlung die Haftung dieses Systems für Systeme mit einer Basisbeschichtung untersucht und verglichen. Die Tests wurden an drei Arten von Korrosionsschutzsystemen durchgeführt.

### Schlüsselwörter:

Korrosion, Beschichtung, Haftung, Delamination, Stahl, DTM, direkt auf Metall

## 1. Uvod

Koroziju je najjednostavnije definirati kao nenamjerno trošenje materijala uzrokovano fizikalno-kemijskim, fizikalnim i biološkim agensima. Prema toj općoj definiciji korozije, korodirati mogu materijali kao što su: kamen, drvo, staklo. Međutim, korozija je pojava koja se prije svega veže za kemijsko razaranje metala. Prema mehanizmu, korozijski procesi se dijele u dvije osnovne skupine:

- kemijska korozija ili "suha" korozija javlja se u neelektrolitima na metalima;
- elektrokemijska korozija ili "mokra" korozija javlja se uz prisutnost elektrolita na metalima te predstavlja velik problem za čelične konstrukcije i njihovu postojanost.

Korozija skraćuje uporabljivost konstrukcije, povećava investicijske troškove i troškove održavanja konstrukcija, uzrokuje zastoje i gubitke u proizvodnim procesima. Neodržavanje i zanemarivanje pojave korozije dovodi do: gubitka stabilnosti i nosivosti konstrukcija, ugrožavanja ljudskih života i ekoloških katastrofa [1].

U današnje je vrijeme potrebno uložiti mnogo više vremena i finansijskih sredstava u zaštitu metala od korozije nego prije, zbog nekoliko faktora [2]:

- povećane zastupljenosti i upotrebe metala u svim područjima
- povećane točnosti prilikom projektiranja i racionalnije upotrebe metala u konstrukcijama što rezultira konstrukcijama osjetljivijim na koroziju
- sve češće upotrebe visokovrijednih metala koji zahtijevaju skupu i specijalnu antikorozivnu zaštitu zbog svoje upotrebe u specifičnim uvjetima
- povećanja korozivnosti okoline uslijed globalnog onečišćenja okoliša.

Najčešće korišteno i najučinkovitije sredstvo antikorozivne zaštite (AKZ) čelika su organski i anorganski premazi koji se u općem žargonu nazivaju bojama. Boje je čovječanstvo oduvijek koristilo, a prva primjena je vidljiva kod pečinskog čovjeka, međutim boje su svoju ulogu u AKZ-u dobile tek razvojem industrijske revolucije. Jedna od zanimljivih činjenica jest ta da se 3,4% ukupnog GDP-a Sjedinjenih Američkih Država koristi za sanaciju direktnih šteta nastalih korozijom metala, prema izvješću NACE Corrosion Costs Study iz 2016. godine [3]. Udio u ovom budžetu ima i održavanje Golden Gate Bridgea u San Franciscu (slika 1.) čije je premazivanje prepoznatljivom «International Orange» bojom neprekidan proces. Budući da je most izložen izuzetnom utjecaju atmosfere korozije (visoka razina saliniteta, magla), grupa radnika most održava svakodnevno kako bi se spriječio propadanje konstrukcijskih elemenata te mu se osigurala dugoročna trajnost [4, 5].

Početakom novog stoljeća i razvojem svijesti o zaštiti okoliša pojavio se novi problem, naime premazi koji su bili dobri za AKZ čelika nisu bili prihvatljivi s ekološkog aspekta. Danas se za AKZ čeličnih konstrukcija koriste novorazvijeni ekološki prihvatljivi vodorazredivi premazi koji su se zasada pokazali kao minimalno štetni za okoliš jer imaju smanjeni udio hlapljivih organskih spojeva (HOP). Razvojem nanotehnologije razvija se nova generacija AKZ premaza koji mogu sami "zatvoriti" mikropukotine i oštećenja nastala prilikom transporta, montaže i uporabe [6, 7].

Uzimajući u obzir navedeno, cilj razvoja AKZ-a u svijetu je smanjivanje finansijskih troškova u smislu skraćivanja rada prilikom izvedbe sustava premaza na konstrukciji te povećavanje intervala održavanja. Pod skraćivanjem rada izvedbe sustava premaza podrazumijeva se vrijeme utrošeno na pripremu površina, vrijeme potrebno za nanošenje slojeva premaza i vremenski period sušenja između slojeva.

Razvojem novih sustava koji ne zahtijevaju temeljni i pokrivni premaz (DTM) moguće je ubrzati proces izvedbe antikorozivne zaštite, te smanjiti cijenu izvođenja i održavanja AKZ-a. S obzirom na to da je funkcija temeljnog premaza osiguravanje prionjivosti antikorozivne zaštite, u radu je ispitana kvaliteta navedenog sustava u odnosu na sustave s temeljnim premazom.

Istraživanja utjecaja kvalitete pripremljene površine i tipovima temeljnog premaza na kvalitetu AKZ-a provedena su u radovima [8, 9]. Ta istraživanja pokazala su da je najkvalitetniji AKZ izveden na pripremljenim površinama sa suhim pjeskarenjem, a od temeljnih premaza najbolje rezultate dali su epoksidno-poliamidni premazi.



Slika 1. Golden Gate Bridge čije održavanje antikorozivnom zaštitom (AKZ) nikada ne prestaje

## 1.1. Općenito o DTM premazima

DTM premazi kako je ranije spomenuto, nanose se u jednom ili iznimno u više slojeva ako se želi postići AKZ za veće razrede korozivnosti okoliša. Dakle, ovi sustavi zaštite čelika od korozije moraju u jednom premazu pružiti sve što i premazi u dva ili više slojeva, a to su: dobra adhezijska svojstva na metalnu podlogu, otpornost na koroziju, otpornost na UV zračenje, tvrdoću te estetska svojstva koja uključuju sjaj i trajnost. Budući da sva navedena svojstva moraju biti zadovoljena u jednom premazu, ova tehnologija predstavlja velik izazov za kemičare kako bi ispunili sve zahtjeve koje tržište očekuje od njih. Osnovna podjela DTM premaza je prema vrsti otapala: premazi na vodenoj bazi i na bazi otapala. Ovisno o vrsti veziva premazi mogu biti: epoksidni, poliuretanski, akrilni i alkidni. Najzastupljeniji DTM sustavi zaštite su akrilni na vodenoj bazi s vezivima od epoksidnih smola ili poliuretana, što je ujedno i rezultat Direktive Europske unije 2004/42/EZ i Direktive Komisije 2010/79/EU za smanjenje HOS-a u premazima za AKZ [10, 11]. Budući razvoj zaštitnih premaza bit će usmjereni prema potpunom uklanjanju prisutnosti HOS-a u premazima [12].

Jedan od bitnih nedostataka zaštitnih premaza je to što su još uvijek u fazi razvoja i nije pronađena formula kojom bi oni zadovoljili sve tražene zahtjeve. Jedan od takvih zahtjeva za građevne konstrukcije je dobra adhezija premaza i što niži razred delaminacije uslijed oštećenja koja nastaju prilikom montaže. Upravo poboljšanje adhezijskih svojstava uz zadržavanje ostalih

dobrih svojstava istražuje se podešavanjem kemijskog sastava [11, 13, 14]. Najčešću primjenu su pronašli kao premazi za cijevi, spremnike, rukohvate, čelična vrata, željezničke vagoni, a koriste se i u automobilskoj industriji, graditeljstvu te transportu. Dokaz da DTM premazi pronalaze svoje mjesto na globalnom tržištu metalnih premaza jest i procjena godišnjeg rasta od 10%, dok se za cijelo tržište očekuje rast od 4,5% [15].

## 1.2. Način odabira antikorozivne zaštite premazima

Odabir ispravnog premaza za zaštitu od korozije zahtijeva definiranje ispravnog razreda korozivnosti okoliša u kojem se konstrukcija nalazi. Norma ISO 12944-2 [16] definira razrede okoliša prema njihovom utjecaju na razaranje metala, kako je prikazano u tablici 1.

Prilikom odabira razreda korozivnosti okoliša ključno je definirati uvjete u kojima će se konstrukcija nalaziti tijekom uporabe. Uvjeti koji utječu na razred korozivnosti okoliša su: vlažnost i temperatura zraka, prisutnost UV zračenja, kemijska izloženost objekta i rizik od mehaničkih oštećenja. Uzimanjem navedenih uvjeta promatrana konstrukcija svrstava se u jedan od šest ponuđenih razreda korozivnosti koje propisuje norma ISO 12944-2.

Navedenih šest razreda korozivnosti okoliša definirano je za atmosferski izložene konstrukcije, a za konstrukcije koje su uronjene u vodu ili ukopane u tlo norma ISO 12944-2 definira četiri klase korozivnosti okoliša prikazane u tablici 2. Određivanje

Tablica 1. Razredi korozivnosti za atmosferski izložene konstrukcije

Razred korozivnosti	Primjeri okoliša	
	Vanjski	Unutarnji
C1 jako niska	-	Grijane zgrade sa čistom atmosferom, poput ureda, trgovina, škola, hotela.
C2 niska	Lagano onečišćena atmosfera, uglavnom ruralna područja.	Negrijane zgrade u kojima može doći do pojave kondenzacije, npr. spremišta, sportske dvorane.
C3 srednja	Industrijska i urbana atmosfera s prosječnom razinom onečišćenja sumpornim oksidom (IV). Priobalna područja niskog saliniteta.	Proizvodni objekti s visokom vlažnošću i određenim stupnjem onečišćenja zraka, npr. tvornice hrane, praonice, pivovare, mljekare.
C4 visoka	Industrijska i priobalna područja srednjeg saliniteta.	Kemijske tvornice, bazeni, remontna brodogradilišta.
C5 jako visoka	Industrijska područja s vrlo visokom vlažnosti i agresivnom atmosferom te priobalje s visokom razinom saliniteta.	Zgrade i površine s gotovo konstantnom kondenzacijom i visokom razinom onečišćenja.
CX ekstremna	Pučina s visokom razinom saliniteta, industrijska područja s ekstremno visokom vlažnosti i agresivnom atmosferom te subtropske i tropske atmosfere.	Industrijska postrojenja s ekstremno visokom vlažnosti i agresivnom atmosferom.

Tablica 2. Razredi korozivnosti za konstrukcije uronjene u vodu ili ukopane u tlo

Razred korozivnosti	Okoliš	Primjeri okoliša i konstrukcija
Im1	Slatka voda	Instalacije na rijekama, hidroelektrane
Im2	Morska ili bočata voda	Uronjene konstrukcije bez katodne zaštite, kao što su: vrata ustave, brane, gatovi
Im3	Tlo	Podzemni spremnici, čelični podesti, cjevovodi
Im4	Morska ili bočata voda	Uronjene konstrukcije s katodnom zaštitom, kao što su: konstrukcije na pučini

razreda korozivnosti u kojem se nalazi uronjena konstrukcija ovisi o tipu i kemijskom sastavu vode, a za ukopane konstrukcija u tlo pH vrijednosti, vlažnosti i zastupljenosti bakterija.

Odabir premaza prema vrsti korozivnosti okoliša jedan je od najvažnijih koraka. Međutim, intervali održavanja AKZ-a, kao što je već spomenuto također utječu na cijenu održavanja konstrukcije. Ovisno o intervalima obnavljanja AKZ-a, norma ISO 12944-1 definira četiri razreda trajnosti antikoroziivne zaštite, kako je prikazano u tablici 3.

Tablica 3. Razredi trajnosti antikoroziivne zaštite

Razred i oznaka trajnosti	Vremenski period
Nizak-L	do 7 godina
Srednji-M	7 do 15 godina
Visok-H	15 do 25 godina
Vrlo visok-VH	više od 25 godina

## 2. Priprema i ispitivanje prionjivosti antikoroziivne zaštite

Kako bi se ocijenila prionjivosti i trajnost DTM sustava, provedena su ispitivanja u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Za ispitivanje prionjivosti napravljene su dvije vrste uzoraka; prva grupa uzoraka očišćena je ručno do čistoće St3 prema ISO 8501-1 [17], a druga grupa očišćena je strojno, pjeskarenjem do čistoće Sa 2<sup>1/2</sup> prema istoj normi. Ispitivanja su provedena na uzorcima od čelika S 235JR, dimenzija 100 mm × 150 mm i debljine 5,0 mm. S obzirom na to da je cilj istraživanja odrediti napredovanje u kvaliteti novih proizvoda bez temeljnog premaza, uz sustav DTM provedeno je ispitivanje na još dva sustava koji imaju temeljni premaz. Za ispitivanje su korišteni proizvodi proizvođača Colorificio Damiani [18] pod nazivima redom: za temeljni premaz "Epoprimer FZ", za pokrivni premaz "Neutro 4500 SL", a za DTM premaz "Neutro Fosfacryl".

Tablica 4. Pripremljene grupe uzoraka za laboratorijska ispitivanja

Oznaka grupe	Oznaka pripreme površine	Priprema površine	Sustav premaza
1	A	Ručno čišćenje	Epoksidni temeljni premaz 60 µm + poliuretanski završni premaz 80 µm
	B	Strojno čišćenje	Epoksidni temeljni premaz 60 µm + poliuretanski završni premaz 80 µm
2	A	Ručno čišćenje	Epoksidni temeljni premaz 60 µm + epoksidni međupremaz 100 µm + poliuretanski završni premaz 80 µm
	B	Strojno čišćenje	Epoksidni temeljni premaz 60 µm + epoksidni međupremaz 100 µm + poliuretanski završni premaz 80 µm
3	A	Ručno čišćenje	Fosfakrilni premaz 60 µm + 80 µm
	B	Strojno čišćenje	Fosfakrilni premaz 60 µm + 80 µm

Uzorci su podijeljeni u tri grupe prema sustavu premaza i dvije podgrupe prema tipu pripremljene površine, kako je prikazano u tablici 4. U svakoj podgrupi nalazi se pet uzoraka.

Prvi sustav zaštite (grupa 1) odabran za ispitivanje je standardni sustav koji se primjenjuje za razred izloženosti C3-M. Sustav se sastoji od: temeljnog epoksidnog premaza debljine 60 µm i završnog poliuretanskog premaza debljine 80 µm. Drugi je odabrani sustav zaštite (grupa 2) za razred izloženosti C5-M. Sustav se sastoji od: temeljnog epoksidnog premaza debljine 60 µm, epoksidnog međupremaza debljine 100 µm, te završnog poliuretanskog premaza debljine 80 µm. Treći sustav zaštite (grupa 3) je u dva sloja fosfakrilnog premaza debljine redom 60 µm i 80 µm. Odabrana debljina sustava grupe 3 je za razred izloženosti C3-M. Svaki od sustava premaza ima dvije podgrupe ovisno na koju vrstu površine je nanesen, kako je već prije opisano. Ispitivanje prionjivosti i trajnosti AKZ-a provedeno je ubrzanom korozijskim ispitivanjima u vlažnoj i slanoj komori. Nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori provedeno je ocjenjivanje prionjivosti premaza metodom zarezivanja mrežice (cross-cut) i određivanje razreda delaminacije. Prije početka ispitivanja u komorama na svim uzorcima je izmjerena tvrdoća i debljina premaza.

Ispitivanja koja su još provedena na uzorcima su: ispitivanje sjaja premaza i ispitivanje u UV komori [19], međutim zbog opširnosti ovog rada i nevažnosti za ocjenu prionjivosti i trajnosti nisu prikazana u ovom radu.

### 2.1. Mjerenje debljine premaza

Za sve uzorke je provedeno mjerenje debljine premaza prema normi HRN EN ISO 2808 [20]. Mjerenje debljine premaza je provedeno s ciljem kontrole debljine suhog filma, odnosno je li prema uputi proizvođača nanescena potrebna debljina AKZ-a za definirane razrede korozivnosti okoliša. Na svakom uzorku je provedeno po deset mjerenja uređajem Elcometer 456/4 (slika 2.). Deset provedenih mjerenja po uzorku svedeno je na prosječnu vrijednost premaza na uzorku, a rezultati su prikazani grafički (slika 3.).

Za uzorke grupe 1, prema uputi proizvođača potrebno je nanijeti 140  $\mu\text{m}$  suhog filma, te su mjerenjem debljine izmjerene vrijednosti od 124  $\mu\text{m}$  do 160  $\mu\text{m}$ . Za uzorke grupe 2, prema uputi proizvođača potrebno je nanijeti 240  $\mu\text{m}$  suhog filma, a mjerenjem debljine izmjerene su vrijednosti od 227  $\mu\text{m}$  do 275  $\mu\text{m}$ . Za uzorke grupe 3, prema uputi proizvođača potrebno je nanijeti 140  $\mu\text{m}$  suhog filma, a mjerenjem debljine izmjerene su vrijednosti od 122  $\mu\text{m}$  do 157  $\mu\text{m}$ . Manje izmjerene debljine premaza u odnosu na definirane prema uputi proizvođača neće imati velik utjecaj na rezultate jer je cilj istraživanja ponajprije utvrditi kvalitetu prionjivosti sustava grupe 3 u odnosu na prionjivost sustava grupe 1 i 2. Prema tome, svi uzorci s debljinama premaza unutar navedenih debljina zadržani su za daljnja ispitivanja.

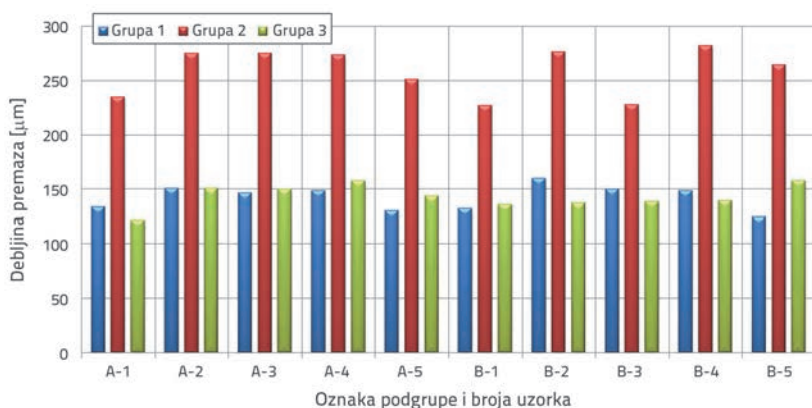


Slika 2. Mjerenje debljine premaza na uzorcima

Ispitivanje tvrdoće provodi se prema normi ISO 15184:2013 [21]. Za ispitivanje se koriste test olovke (Wolff-Wilborn metoda) različitih tvrdoća mina, u rasponu od 6H (najtvrđe) do 6B (najmekše). Oprema za mjerenje se sastoji od: uređaja Simex kojim se osigurava položaj olovke pod kutom od 45° u odnosu na površinu i 14 olovaka različitih debljina (slika 4.). Ispitivanje započinje uporabom olovke najveće tvrdoće i nastavlja se prema mekšoj. Prva olovka koja ne ostavi trag na površini, označava tvrdoću premaza. Klasifikacija tvrdoća premaza prema normi ISO 15184 provodi se na sljedeći način; premazi kod kojih olovke u rasponu od 6H do 3H ne ostavljaju trag su tvrdi, od 2H do 2B su srednje tvrdi, a od 3B do 6B su meki.



Slika 4. Mjerenje tvrdoće premaza na uzorcima



Slika 3. Grafički prikaz izmjerenih debljina AKZ premaza

## 2.2. Ispitivanje tvrdoće premaza

Ispitivanje tvrdoće premaza provedeno je kako bi se utvrdila otpornost na habanje. Otpornost na habanje je jedno od bitnih svojstava koje se nameće premazima kako bi očuvali svoju cjelovitost tijekom uporabe. Ako premaz ima malu tvrdoću, tada je on podložan oštećenjima.

Prilikom ispitivanja tvrdoće, olovka H1 na svim uzorcima prva nije ostavila trag na površini premaza. Rezultati dobiveni ovim ispitivanjem upućuju na to da su svi sustavi AKZ-a jednake tvrdoće te da se mogu svrstati u srednje tvrde.

## 2.3. Ispitivanje u slanoj komori

Ispitivanjima u slanoj komori simulira se izlaganje morskoj atmosferi, pri čemu se razrijeđena 5-postotna otopina NaCl raspršuje u obliku magle na ispitivane uzorke. Ispitivanje je provedeno prema normi HRN EN ISO 9227:2012 [22], a za ispitivanje je korištena slana komora Ascott, model S450.

Uzorci su ispitani u slanoj komori u trajanju od 240 sati, što prema normi ISO 12944-2 odgovara razredu korozivnosti okoliša C3-M. Na sve uzorke prije stavljanja u komoru napravljeni su urezi prema normi EN ISO 7253 [23] koji ubrzavaju proces nastanka korozije (slika 5.).

Tablica 5. Rezultati ispitivanja nakon slane komore

Oznaka uzorka / Ispitivanje	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Razred delaminacije	2	1	1	1	5	3
Ocjena prionjivosti	1	0	1	0	1	0

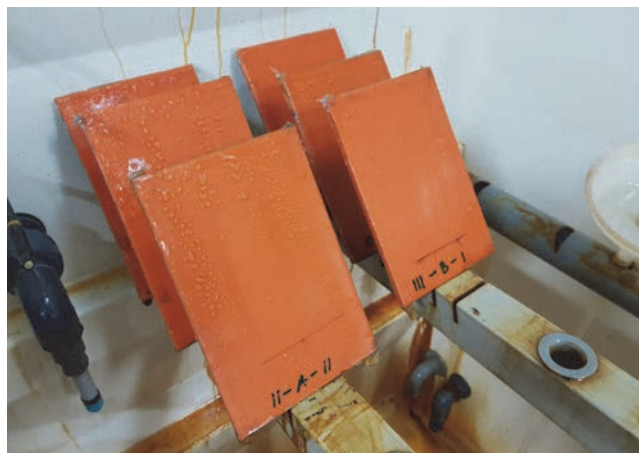
Nakon provedenih ispitivanja uzorci su izvađeni iz komore i vizualno pregledani. Pregledom je utvrđeno da nema pojave korozije na području gdje je premaz cjelovit te da su sva tri sustava AKZ-a postojan i zadovoljavaju razred korozivnosti C3-M. Analizom postojanosti AKZ-a u zoni oko ureza na uzorcima grupe 1 primijećeno je vrlo malo mjehuranje na podgrupi A (uzorci s ručno očišćenom podlogom), a na podgrupi B nije primijećeno mjehuranje. Ispitivanjem uzoraka prema normi EN ISO 4628-8:2005 [24] utvrđeno je da uzorci podgrupe A imaju delaminaciju razreda 2, a uzorci podgrupe B razreda 1 (tablica 5.). Analizom postojanosti AKZ-a na grupi uzoraka 2 u zoni oko ureza za obje podgrupe nije primijećeno mjehuranje ili oštećenje, pa se taj sustav može prema EN ISO 4628-8:2005 svrstati u razred delaminacije 1. Kod sustava premaza 3, koji se na cjelovitom dijelu pokazao postojanim, u zoni oko ureza pojavilo se znatno

mjehuranje na obje podgrupe. Oštećenja na uzorcima podgrupe A prema normi EN ISO 4628-8:2005 razreda su delaminacije 5, a na podgrupi B razreda 3 (slika 6.).

Na svim uzorcima napravljeno je ispitivanje prionjivosti urezivanjem mrežice prema normi HRN EN ISO 2409:2013 [25]. Ispitivanje urezivanjem mrežice na svim uzorcima pokazalo je dobru prionjivost premaza (tablica 5.). Za sve ispitane uzorke podgrupe B, rezultati ispitivanja se mogu svesti na prosječnu ocjenu prionjivosti 0, a za podgrupu A na ocjenu prionjivost 1.

#### 2.4. Ispitivanje u vlažnoj komori

Ispitivanjima u vlažnoj komori (slika 7.) simulirano je ponašanje AKZ-a u vlažnoj i toploj atmosferi uz kondenziranje vode.



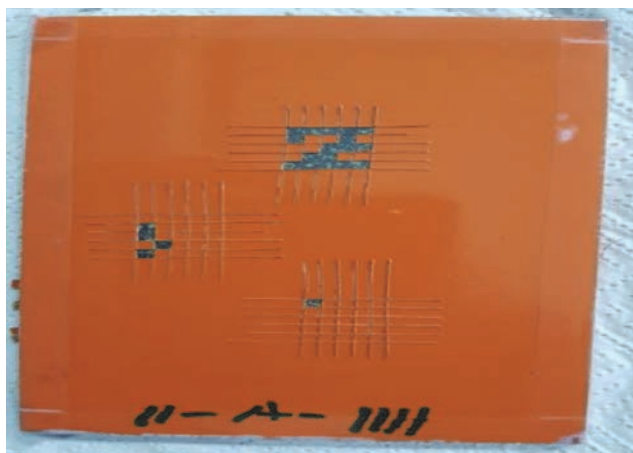
Slika 5. Ispitivanje uzoraka u slanoj komori



Slika 6. Određivanje stupnja delaminacije nakon slane komore



Slika 7. Ispitivanje uzoraka u vlažnoj komori



Slika 8. Ispitivanje uzoraka urezivanjem mrežice nakon vlažne komore

Tablica 6. Rezultati ispitivanja nakon vlažne komore

Oznaka uzorka Ispitivanje	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Ocjena prionjivosti	1	0	4	0	1	0

Ispitivanja su provedena prema normi HRN EN ISO 6270-2:2007 [26]. Temperatura u komori tijekom ispitivanja iznosila je  $40 \pm 3$  °C, a relativna vlažnost zraka oko 100 % s orošavanjem uzoraka.

Ispitivanje je trajalo 240 sati, što prema normi ISO 12944-6 odgovara razredu korozivnosti okoliša C3-M. Nakon provedenih 240 sati u vlažnoj komori, svi uzorci su vizualno pregledani te je utvrđeno da nema vidljivih oštećenja na sustavima AKZ-a. Iz dobivenih rezultata ispitivanja u vlažnoj komori za sva tri sustava može se zaključiti da su postojani na vlažnu i toplu atmosferu te da zadovoljavaju razred korozivnosti C3-M.

Nakon vizualnog pregleda, provedeno je urezivanje mrežice na uzorcima prema normi HRN EN ISO 2409:2013. Ispitivanje prionjivosti urezivanjem mrežice dalo je dobre rezultate za sva tri sustava AKZ-a (tablica 6.). Kao i kod uzoraka koji su ispitani nakon slane komore, urezivanjem mrežice dobivena je prosječna ocjena prionjivosti 0 za uzorke podgrupe B, odnosno ocjena prionjivosti 1 za uzorke podgrupe A. Izuzetak prilikom ispitivanja urezivanjem mrežice bio je uzorak sustava premaza 2 podgrupe A koji je na jednom mjestu imao ocjenu prionjivosti 4, dok su druga dva ispitivanja na istom uzorku dala mnogo bolje rezultate (slika 8.). Najvjerojatniji razlog loše prionjivosti dobiven na ispitivanom uzorku jest zaostala nečistoća na površini koja nije odmašćena prije nanošenja temeljnog premaza. Ova tvrdnja proizlazi iz činjenice da su ostali uzorci podgrupe B pokazali dobru prionjivost. Dobivene rezultate na uzorku 2-A treba shvatiti kao pokazatelje nepouzdanosti izvedbe AKZ-a na prethodno ručno očišćenoj podlozi. Utjecaj kvalitete pripreme površine na kvalitetu izvedene AKZ-a već je prije istraživao u radovima [8].

### 3. Zaključak

Do sada su se sustavi AKZ-a s kombinacijom epoksidnog temeljnog te poliuretanskog završnog premaza pokazali kao odlična zaštita čeličnih konstrukcija od atmosfere korozije u praksi i laboratorijskim ispitivanjima. Ovim ispitivanjem potvrđena je kvaliteta temeljnog epoksidnog premaza i njegova izvanredna adhezijska svojstva na strojno i ručno pripremljenoj površini. Dobiveni rezultati pokazuju da epoksi temeljni premaz sprječava delaminaciju, odnosno širenje korozije ispod premaza u zoni oko oštećenja što je već prije dokazano mnogim ispitivanjima. Rezultati dobiveni za ispitivanje DTM sustav odabranog proizvođača pokazali su da je premaz sklon jakoj delaminaciji u zoni oko oštećenja. Delaminacija sustava DTM je utvrđena neovisno o kvaliteti pripremljene površine, vrlo je izražena te neprihvatljiva u usporedbi sa sustavima s temeljnim premazom. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza na ručno očišćenim površinama upućuju na nepouzdanost tako izvedene zaštite. Na temelju provedenih ispitivanja može se zaključiti da korišteni DTM premaz pruža kvalitetnu korozijsku zaštitu u C3-M okruženju. Međutim, sklon je delaminaciji u zoni oko oštećenja te stoga ne daje pouzdanu zaštitu kao dvoslojni sustav premaza za građevinske čelične konstrukcije koje su prilikom montaže izložene mehaničkim oštećenjima.

### Zahvala

Autori zahvaljuju Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu na provedenim besplatnim ispitivanjima prikazanim u ovom radu, a koja su ujedno dio diplomskog rada napravljenog na Graditeljskom odjelu Tehničkog veleučilišta u Zagrebu.

## LITERATURA

- [1] Esih, I., Dugi, Z.: Tehnologija zaštite od korozije. Zagreb: Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [2] Juraga, I., Alar, V., Stojanović, I.: Korozija i zaštita premazima. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2014.
- [3] Koch, G., Varney, J., Thompson, N., Moghissi, O., Gould, M., Payer, J.: International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study, Houston, Texas, USA, 2016.
- [4] Mohn, D.E.: Fifty years of corrosion on the Golden Gate Bridge, Golden Gate, San Francisco, California: Golden Gate Bridge, Report of the chief engineer, 28 (1989).
- [5] Kei Fung S.K.: The study on San Francisco Golden Gate Bridge, in Proceedings of Bridge Engineering 2 Conference, pp. 10, 2007.
- [6] Zheludkevich, M.L., Shchukin, D.G., Yasakau, K.A., Möhwald, H., Ferreira, M.G.S.: Anticorrosion Coatings with Self-Healing Effect Based on Nanocontainers Impregnated with Corrosion Inhibitor, Chem. Mater., 19 (2007) 3, pp. 402-411, <https://doi.org/10.1021/cm062066k>
- [7] Cho, S.H., White, S.R., Braun, P.V.: Self-Healing Polymer Coatings, Adv. Mater., 21 (2008) 6, pp. 645-649, <https://doi.org/10.1002/adma.200802008>

- [8] Elsner, C.I., Cavalcanti, E., Ferraz, O., Di Sarli, A.: Evaluation of the surface treatment effect on the anticorrosive performance of paint systems on steel, *Prog. Org. Coatings*, 48 (2003) 1, pp. 50-62, [https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(03\)00112-7](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(03)00112-7)
- [9] Santágata, D.M., Seré, P., Elsner, C., Di Sarli, A.: Evaluation of the surface treatment effect on the corrosion performance of paint coated carbon steel, 33 (1998).
- [10] Camp, R., Kharshan, M., Miksic, B.: Water-based coatings powered by NANO-VpCl, *PPCJ Polym. Paint Colour J.*, 205 (2015), pp. 20-22.
- [11] Elizalde, O., Amthor, S., Moore, C.: Closing the Gap between Water and Solvent-borne Anticorrosion Coatings via New Binder Concepts, BASF SE., Florham Park, 2010.
- [12] Donkin, M.: Spanning 25 years of Development in Heavy-Duty Coatings, SAD, 2012.
- [13] Bulick, A.S., LeFever, C.R., Frazee, G.R., Jin, K., Mellott, M.L.: Metal adhesion and corrosion resistance in waterborne, styrenated acrylic direct to metal (DTM) resins, in *European Coatings Show 2017*, 2017.
- [14] Šimunović, V., Juraga, I.: Polimerne prevlake: osvrt na mnogobrojne mogućnosti i načine primjene, *Polim. časopis za Plast. i gumu*, 26 (2005) 1, pp. 12-19.
- [15] Silva, S.: Direct-to-metal coatings: Outstripping the marke, *European Coatings*, Hannover, Germany, Aug-2017.
- [16] HRN EN ISO 12944-1 do 8:2018: Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems, 2018.
- [17] HRN EN ISO 8501-1:2007; Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness - Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates ..., 2007.
- [18] Colorificio Damiani. [Online]. Available: <http://color-damiani.com/>. [Accessed: 02-Jan-2019].
- [19] Kralj, M.: Primjena antikoroziivne zaštite čeličnih konstrukcija bojama i njihovo ispitivanje, Tehničko veleučilište u Zagrebu, 2018.
- [20] HRN EN ISO 2808:2008: Paints and varnishes -- Determination of film thickness, 2008.
- [21] ISO 15184:2012: Paints and varnishes — Determination of film hardness by pencil test, 2012.
- [22] HRN EN ISO 9227:2012: Corrosion tests in artificial atmospheres - Salt spray tests, 2012.
- [23] EN ISO 7253:1996: Paints and varnishes -- Determination of resistance to neutral salt spray (fog), 1996.
- [24] EN ISO 4628-8:2005: Paints and varnishes -- Evaluation of degradation of coatings - Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance - Part 8: Assessment of degree of delamination and corrosion around a scribe, 2005.
- [25] HRN EN ISO 2409:2013: Paints and varnishes -- Cross-cut test, 2013.
- [26] HRN EN ISO 6270-2:2018: Paints and varnishes -- Determination of resistance to humidity - Part 2: Condensation (in-cabinet exposure with heated water reservoir), 2018.