



KONTROLA KVALITETE ZAŠTITNOG SLOJA APLICIRANOG POSTUPKOM KATAFOREZE

T. Šolić^{1,*}, I. Peko², S. Radojičić¹, M. Samardžić³, P. Matoš⁴, I. Samardžić¹

¹Mechanical Engineering Faculty in Slavonki Brod, University of Slavonki Brod, Croatia

²Faculty of Science, University of Split, Split, Croatia

³Industroremont d.o.o., Slavonki Brod, Croatia

⁴SAME DEUTZ-FAHR Žetelice d.o.o., Županja, Croatia

* Corresponding Author. E-mail: tsolic@unisb.hr

Sažetak

U radu su prikazani postupci laboratorijskih ispitivanja koji se koriste u kontroli kvalitete zaštitnog sloja apliciranog postupkom kataforeze. Zbog problematike uzrokovane razvojem korozivskih mehanizama potrebno je osigurati kvalitetnu i pouzdanu zaštitu osnovnog materijala. Jedna od tehnologija zaštite koja se temelji na načelu stvaranja barijere između konstrukcijskog elementa i agresivne eksploatacijske okoline je i aplikacija premaza kataforezom. Zbog samih karakteristika upravljanja postupkom aplikacije i složenosti postrojenja, potrebno je konstantno vršiti kontrolu izlaznih elemenata. Na osnovu dobivenih rezultata moguće je potvrditi zadovoljavajuća svojstva zaštitnog sloja ili provesti optimizaciju radnih parametara ukoliko rezultati odstupaju od zahtjevanih.

Ključne riječi: kataforeza, premaz, zaštita metala, korozija, kontrola kvalitete

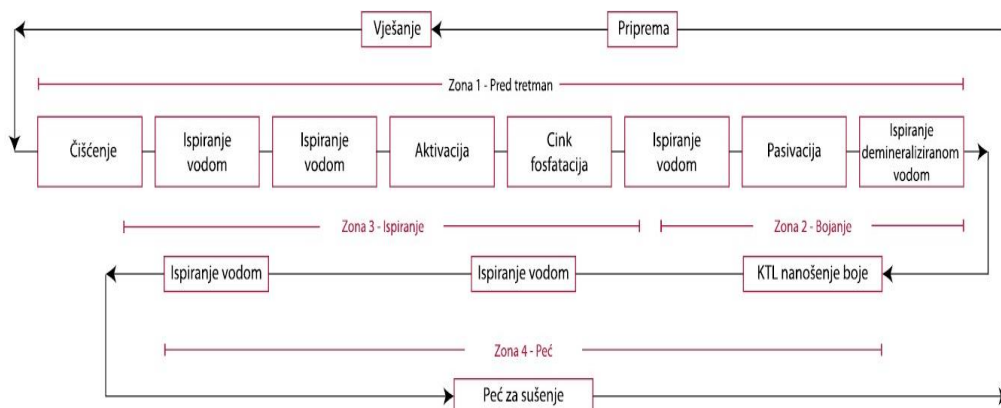
Abstract

The article presents the laboratory testing procedures used in the quality control of the protective coating applied by the cathoresis process. Due to the problems caused by the development of corrosion mechanisms, it is necessary to ensure high-quality and reliable protection of the base material. One of the protection technologies based on the principle of creating a barrier between the structural element and the aggressive operating environment is the application of the coating by cathoresis. Due to the specifics of controlling the application process and the complexity of the plant, it is necessary to constantly control the output elements. Based on the results obtained, it is then possible to confirm the satisfactory properties of the protective coating or to optimise the operating parameters if the test results differ from those desired.

Keywords: cathoresis, coating, metal protection, corrosion, quality control

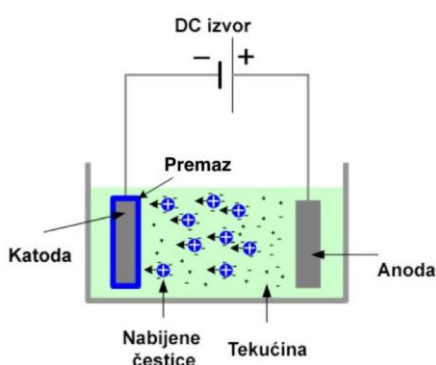
1. Uvod

Propadanje konstrukcijskih materijala u svim fazama, od skladištenja do eksploatacije, uvjetovano je razvojem korozivskih mehanizama [1, 2]. Rezultati istraživanja koje je provela NACE International organizacija pokazali su koliko je ta problematika prisutna i koliko se ozbiljno treba shvatiti, obzirom da na sanaciju troškova korozije odlazi 3,4% svjetskog BDP-a. Isto tako, analizom prethodno provedenih studija u kojima su prikazani podaci o štetama uzrokovanim korozijom u sektorima poljoprivrede, industrije i usluga, utvrđeno je da bi se primjenom primjerene tehnologije površinske zaštite ti troškovi mogli smanjiti u rasponu od 15 do 35% [3]. Kako bi se to postiglo, tri su načela na kojima se temeljiti površinska zaštita materijala izloženog agresivnim reaktantima iz okoline. Uz promjenu vanjskih i unutarnjih faktora oštećivanja, projektantima na raspolaganju stoji i mehanizam zaštite koji se temelji na stvaranju barijere između štice materijala i agresivne okoline [4]. Jedna od tehnologija koja se temelji na posljednje spomenutom načelu je i aplikacija premaza. Premazi prema namjeni imaju različite uloge, ali sa strane površinske zaštite i antikorozivnog učinka svakako su najznačajniji temeljni premazi. Osim sadržaja antikorozivnih pigmentata, značajna je i uloga u osiguravanju postojanosti cijelog sustava, tj. dobrih adhezijskih svojstava [5, 6]. Upravo zbog toga, predmet ovog rada su laboratorijska ispitivanja koja se provode na temeljnim premazima i to apliciranim postupkom kateforeze. Navedeni postupak služi za bojanje metala u vodenim otopinama ili disperzijama lakova i boja, u kojima postoje pozitivno ili negativno nabijene čestice polimernog veziva s pigmentom ili bez njega, dok je voda nabijena suprotno. U istosmjernom električnom polju čestice premaza putuju prema suprotnom nabijenom obratku, dok voda ima suprotan smjer. Zbog neravnomjerne razdiobe struje najprije se prekrivaju izbočeni dijelovi obratka, a zatim ravni i udubljeni dijelovi zbog izolacijskog učinka premaza. Tako se postiže visoka raspodjela i prevlaka jednolične debljine za 1 do 5 minuta uz gustoće struje od 0,1 do 1 A·dm⁻². Kateforeza nastupa ako su čestice premaza pozitivno nabijene, dok se proizvodi spajaju s negativnim polom izvora struje [7]. Slika 1 prikazuje proizvodnu liniju sa svim fazama od pripreme do zaštite materijala.



Slika 1. Shematski prikaz proizvodne linije [8]

Prilikom procesa nanošenja boje na predmet obrade potrebno je voditi brigu o parametrima temperature pri kojima se provodi postupak apliciranja boje. Temperatura pri bojanju treba biti između 15 °C i 30 °C, i to barem 4 °C iznad rosišta zraka, kako bi se osigurala relativna vlažnost ispod 80 % i spriječila kondenzacija vode pri hlađenju otapala/razrjeđivača, a sve s ciljem uspješnosti i dovoljne brzine prirodne konvencije. Ako se ne pridržava preporučenih vrijednosti temperature, vrijeme sušenja se produžuje, odnosno produžuje se stvrdnjavanje dvokomponentnih premazanih sredstva [9]. Na Slici 2 shematski je prikazan mehanizam aplikacije premaza kataforezom.



Slika 2. Shematski prikaz kataforeze [8]

Izgled pozicija prije zaštite te nakon aplikacije temeljnog premaza primjenom postupka kataforeze prikazan je Slikom 3.



Slika 3. Prikaz pozicije prije (a) i nakon (b) aplikacije zaštitnog premaza postupkom kataforeze

2. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu rada prikazani su postupci kontrole kvalitete apliciranog sloja boje. Isti se u proizvodnom pogonu koriste kako bi se utvrdilo jesu li zadovoljeni svi propisani zahtjevi ili se moraju izvršiti određene korekcije radnih parametara. Ukoliko su potrebne korekcije, provodi se optimizacija parametara dok rezultati ne budu u toleriranih granicama. Za sva provedena ispitivanja



korišteni su ispitni uzorci izrađeni od tri različite debljine osnovnog materijala (0,8 mm, 1,5 mm te od 3 mm). Na sve ispitne uzorke apliciran je temeljni premaz istih karakteristika. Vizualna kontrola, mjerenje debljine suhog filma premaza, mjerenje sjaja te ispitivanje adhezijskih svojstava provode se na istim ispitnim uzorcima. Preostala ispitivanja (kontrola na udar, kontrola elastičnosti i ispitivanje korozije na zarezu) provode se na zasebnim uzorcima.

2.1. Vizualna kontrola

Vizualna kontrola kvalitete apliciranog sloja boje je prvo ispitivanje koje se provodi nakon sušenja i hlađenja obrađene pozicije (otprilike 1 sat nakon sušenja). Pregledom je potrebno utvrditi ima li nepravilnosti u vidu „narančine kore“, kratera, curaka ili mozaika, a sve s ciljem uštede vremena potrebnog za korektivno djelovanje i sprječavanja daljnjeg gubitak vremena na kontrolu nesukladnih dijelova. Ako je uzorak ispravan i nisu uočene nikakve nepravilnosti, pristupa se daljnjem testiranju uzorka te se u predviđeni obrazac za mjerno izvješće upisuje (+) ako je uzorak ispravan, odnosno (-) ako je uzorak neispravan. U Tablici 1 prikazani su rezultati vizualne kontrole.

Tablica 1. Rezultati vizualne kontrole

Oznaka ispitnog uzorka	Debljina ispitnog uzorka / mm	Vizualna kontrola
1	0,8	+
2	1,5	+
3	3	+

2.2. Kontrola debljine suhog filma premaza

Nakon pozitivne ocjene vizualne kontrole, slijedeći korak je mjerenje debljine suhog filma premaza. Kontrola se vrši otprilike 1 sat nakon završetka sušenja. Provodi se 5 mjerenja na svakom uzorku, a nakon izvršenih mjerenja računa se aritmetička sredina. Zahtjev je da debljina suhog filma premaza bude u rasponu od 20 do 40 μm . Ukoliko je vrijednost unutar tih definiranih granica, uzorak ima prihvatljivu debljinu suhog filma premaza. U Tablici 2 su prikazane debljine suhog filma premaza ispitnih uzoraka iz čijih se vrijednosti može iščitati kako su uzorci zadovoljavajući.

Tablica 2. Izmjerene vrijednosti debljine suhog filma premaza

Oznaka ispitnog uzorka	Debljina ispitnog uzorka / mm	Debljina suhog filma premaza / μm
1	0,8	26,5
2	1,5	27
3	3	29

2.3. Kontrola sjaja premaza

Kao i u prethodnom slučaju, obavlja se pet mjerenja vrijednosti sjaja na svakom ispitnom uzorku, a uzorak je se smatra ispravnim ako se aritmetička sredina izmjerenih vrijednosti nalazi unutar propisanih granica od 35 do 60 GU (eng. *gloss unit*). U Tablici 3 prikazane su vrijednost sjaja za sve ispitne uzorke, iz kojih je vidljivo kako uzorci zadovoljavaju postavljene zahtjeve.

Tablica 3. Aritmetičke sredine sjaja premaza

Oznaka ispitnog uzorka	Debljina ispitnog uzorka / mm	Sjaj / GU
1	0,8	52,3
2	1,5	53,1
3	3	53,4

2.4. Ispitivanje adhezijskih svojstava

Kontrola adhezije ili prionjivosti vrši se otprilike 24 sata nakon sušenja uzoraka i to s ciljem utvrđivanja prionjivosti boje na površinu. Pribor potreban za provedbu navedenog ispitivanja sastoji se od krep trake, povećala, češlja za povlačenje crta odgovarajućih dimenzija te četke. Prvo se pomoću češlja zarezuje jedan rez vertikalno, a onda tri reza horizontalno koji sijeku taj vertikalni rez pod kutom od 90° kako je prikazano na Slici 4. Razmak između urezanih crta definira se prema debljini suhog filma premaza što u ovom slučaju iznosi 1 mm. Nakon urezivanja mrežica uzorci se čiste pomoću četke. Potom se preko mrežica vertikalno lijepi krep traka čijim se naknadnim odljepljivanjem nastoje utvrditi adhezijska svojstva apliciranog premaza. Adhezijska svojstva su bolja što su mrežice, odnosno kvadratići i premaz oko urezanih linija postojaniji. Završna kontrola vrši se pomoću povećala s osvjetljenjem prikazanim na Slici 5.



Slika 4. Zarezivanje ispitnih mrežica



Slika 5. Kontrola adhezijskih svojstava

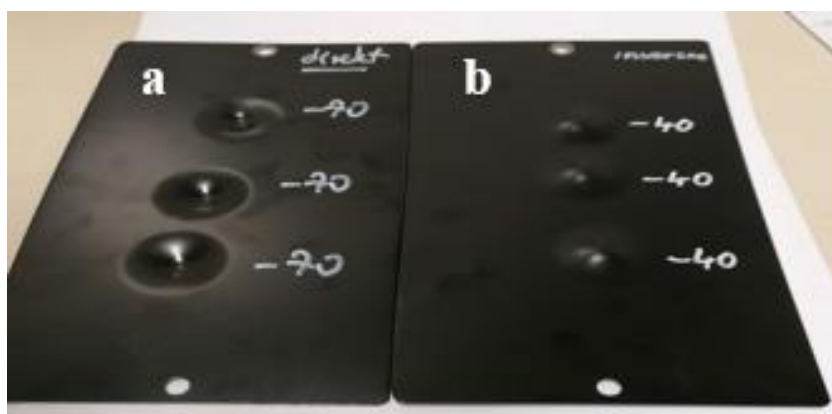
Adhezijska svojstva premaza su zadovoljavajuća samo ako su uzorci ocjenjeni s vrijednostima GT0 (nije došlo do odvajanja apliciranog premaza) ili GT1 (došlo je do odvajanja premaza u vrijednosti manjoj od 5% promatrane površine). Iz Tablice 4 može se uočiti kako su sve testirane pločice unutar zahtijevanih klasa, čime se može utvrditi kako su adhezijska svojstva zadovoljavajuća.

Tablica 4. Rezultati adhezijskih ispitivanja

Oznaka ispitnog uzorka	Debljina ispitnog uzorka / mm	Adhezijska svojstva
1	0,8	GT0
2	1,5	GT0
3	3	GT1

2.5. Kontrola na udar

Kontrola na udar vrši se na dva uzorka od svake debljine osnovnog materijala s obzirom da se na jednoj testnoj pločici vrši izravno, a drugoj inverzno, odnosno obrnuto testiranje. Testiranje se provodi otprilike 24 sata nakon sušenja, a vrši se pomoću Impact testera koji je opremljen kuglom od 1 kg. Za direktno, tj. izravno testiranje kugla se postavlja na visinu od 70 cm, dok za inverzno na visinu od 40 cm. Potom se kugla slobodnim padom spušta na testnu pločicu na kojoj napravi udubljenje. Postupak se na svakoj pločici ponavlja 3 puta kako je prikazano na Slici 6.



Slika 6. Ispitivanje premaza na udar (a - direktno ispitivanje, b - inverzno ispitivanje)

Uzorci su prihvatljivi ako nije došlo do pucanja boje. Kod izravne metode testiranja promatraju se udubljenja, a kod obrnute metode testiranja promatraju se izbočenja na pločici. Rezultati provedenog ispitivanja prikazani su u Tablici 5, a prema njima može se uočiti kako su uzorci ocjenjeni kao prihvatljivi.

Tablica 5. Rezultati ispitivanja na udar

Oznaka ispitnog uzorka	Debljina ispitnog uzorka / mm	Metoda ispitivanja	Kontrola na udar
4	0,8	direktno	bez pucanja premaza
5	0,8	inverzno	bez pucanja premaza
6	1,5	direktno	bez pucanja premaza
7	1,5	inverzno	bez pucanja premaza
8	3	direktno	bez pucanja premaza
9	3	inverzno	bez pucanja premaza

2.6. Ispitivanje elastičnosti

Kontrola elastičnosti se vrši na uzorcima otprilike 24 sata nakon sušenja. Uzorak se postavi u postolje uređaja te se pomoću poluge savija za 180°, što je prikazano na Slici 7. Na taj način se utvrđuje je li nanoseni sloj boje prilikom savijanja dovoljno elastičan, tj. dolazi li do pucanja boje na mjestu gdje je došlo do savijanja. Eventualna oštećenja utvrđuju se vizualnom kontrolom, a uzorak se smatra prihvatljivim ako je pucanje boje manje od 10 mm.



Slika 7. Ispitni uzorak nakon provedenog savijanja

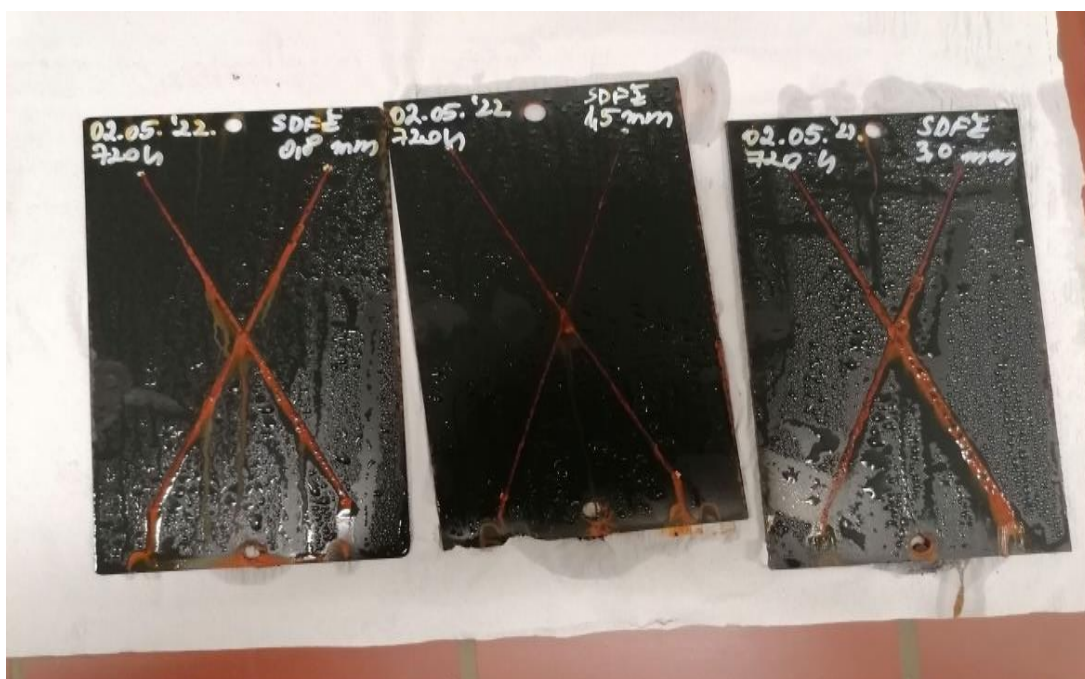
Rezultati provedenog ispitivanja prikazani su u Tablici 6 te je vidljivo kako su isti unutar zadovoljavajućih granica.

Tablica 6. Rezultati ispitivanja elastičnosti apliciranog premaza

Oznaka ispitnog uzorka	Debljina ispitnog uzorka / mm	Ispitivanje elastičnosti
10	0,8	bez pucanja premaza
11	1,5	bez pucanja premaza
12	3	pucanje premaza u vrijednosti od 2 mm

2.7. Ispitivanje korozije na zarezu

Ispitivanje se provodi tako da se na ispitnim uzorcima urežu utori kako bi se ubrzao proces korozije. Vrijeme ispitivanja u slanoj komori definirano je u trajanju od 720 te 1008 sati. Kontrola se vrši na šest uzoraka i to po dvije pločice od prethodno definirane debljine (0,8 mm, 1,5 mm i 3 mm). Prije početka testiranja na ispitnim uzorcima se prave rezovi pomoću olovke za grebanje čija debljina iznosi 0,5 mm. Rezovi se povlače u obliku slova X, a pozicioniraju se na pločici tako da su početak i kraj reza udaljeni po 2 cm od ruba. Uzorci izvađeni iz slane komore nakon 720 sati ispitivanja prikazani su na Slici 8.



Slika 8. Prikaz uzoraka tek izvađenih iz slane komore nakon 720 sati

Nakon vađenja iz slane komore, na rezove se lijepi krep traka koja se potom brzim povlačenjem skida s uzorka u cilju odljepljivanja boje. Postupak se ponavlja više puta. Dodatno čišćenje rezova provodi se ispuhivanjem pomoću pištolja sa stlačenim zrakom od 4 bara. Širenje korozije na zrezu mjeri se pomoću ravnala iz čega se izrazom (1) mogu izračunati konačne vrijednosti stupnja korozije:

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

gdje je: c - stupanj korozije / mm, w_c - izmjerena širina zone korozije / mm, w - širina početnog zareza / mm. Dobiveni rezultati prikazani su u Tablici 7.



Tablica 7. Rezultati ispitivanja korozije na zarezu

Oznaka ispitnog uzorka	Debljina ispitnog uzorka / mm	Trajanje ispitivanja u slanoj komori / h	Širenje korozije na zarezu / mm
13	0,8	720	0
14		1008	0
15	1,5	720	1,25
16		1008	1,75
17	3	720	0,65
18		1008	1,15

Maksimalna definirana, tj. dopuštena vrijednost širenja korozije na zarezu u ovom slučaju iznosi 2 mm. Nakon 720 sati provedenih u slanoj komori utvrđeno je da su rezultati u granicama od 0 do 1,25 mm što je zadovoljavajuće. Isto tako i na uzorcima izvađenima iz slane komore nakon 1008 sati dobiveni rezultati su u granicama prihvatljivosti i kreću se od 0 do 1,75 mm.

3. Zaključak

Zbog velikih financijskih izdataka koji odlaze na sanaciju šteta uzrokovanih razvojem korozivnih mehanizama, potrebno je odabrati adekvatnu tehnologiju zaštite osnovnog materijala. Jedna od tehnologija koja se može razmatrati kao opcija je bazirana na zaštiti materijala aplikacijom premaza. Kod visokoserijske proizvodnje, automatizirana postrojenja svakako imaju prednost. Prije svega zbog velike produktivnosti, ali jednako tako i ponovljivosti, odnosno osiguranja jednako kvalitetne zaštite na svim šticećenim dijelovima. Aplikacija temeljnog premaza postupkom kataforeze jedan je od uspješnih primjera antikoroziivne zaštite. Kako bi se osigurao kontinuitet kvalitete, potrebno je periodički vršiti laboratorijska ispitivanja. Na osnovu provedenih ispitivanja te analize dobivenih rezultata na vrijeme se mogu izvršiti korekcije i optimizacija radnih parametara ukoliko rezultati odstupaju od zahtijeva ili pak dobiti potvrdu kako postupak ide ispravnim tokom. Prikazana ispitivanja pokazala su kako je kvaliteta aplikacije zaštitnog temeljnog sloja premaza ovim postupkom kvalitetna i pouzdana jer su svi rezultati bili su unutar definiranih granica. Dokazano je kako se spomenutim procesom osigurava aplikacija premaza zadovoljavajuće kvalitete i debljine suhog filma premaza, no jednako tako i zadovoljavajućih adhezijskih svojstava. Opće je poznato kako je najveći dio antikoroziivnih svojstava sustava premaza vezan upravo za temeljni sloj pa je jasno zašto je to svojstvo toliko bitno zadovoljiti. Zadovoljavajuća adhezijska svojstva su, uz sve ostale karakteristike apliciranog sloja, u konačnici rezultirala razvojem korozivnih mehanizama u manjoj mjeri. To znači da je propadanje prevlake koje se određuje preko korozije na zarezu u toleriranim granicama. Testiranja su pokazala kako se ispravnim odabirom radnih parametara može aplicirati zaštitni sloj koji će imati dobre karakteristike i kojim se u konačnici može postići smanjenje šteta uzrokovane korozijom kao i samih financijskih izdataka potrebnih za sanaciju istih.



4. Literatura

- [1] Montoya, L. F.; Contreras, D.; Jaramillo, A. F.; Carrasco, C.; Fernández, K.; Schwederski, B.; Rojas, D.; Melendrez, M.F. (2019). Study of anticorrosive coatings based on high and low molecular weight polyphenols extracted from the Pine radiata bark. *Progress in Organic Coating*, 127, 100-109
- [2] Dariva, C. G.; Galio, A. F. (2014). Corrosion inhibitors - principles, mechanisms and applications, *Developments in Corrosion Protection*. InTech.
- [3] NACE International. (2016). *International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study*, Texas, USA.
- [4] Juraga, Ivan; Alar, Vesna; Stojanović, Ivan. (2014). *Korozija i zaštita premazima*. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- [5] Mariappan, T.; Kamble, A.; Naik, S. M. (2019). An investigation of primer adhesion and topcoat compatibility on the waterborne intumescent coating to structural steel. *Progress in Organic Coatings*, 131, 371-377
- [6] Puspitasari, W. C.; Ahmad, F.; Ullah, S.; Hussain, P.; Megat-Yusoff, P. S. M.; Masset, P. J. (2019) The study of adhesion between steel substrate, primer, and char of intumescent fire retardant coating. *Progress in Organic Coatings*, 127, 181-193
- [7] Esih, Ivan. (2010). *Osnove površinske zaštite*. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- [8] Piljac, Ivan. (2006). *Elektroforeza*. Zagreb: Mediaprint tiskara Hrastić d.o.o.
- [9] Same Deutz-fahr Žetelice d.o.o., Županja. *KTL-Postupak elektrostatskog bojanja (interna dokumentacija)*.