Kontrola kvalitete antikorozivne zaštite strojarskih konstrukcija

Arih, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:738136

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University North Digital Repository

Sveučilište Sjever

STRUČNI STUDIJ PROIZVODNO STROJARSTVO



Završni rad br. 357/PS/2021

Kontrola kvalitete antikorozivne zaštite strojarskih konstrukcija

Student

Antonio Arih, 5862/336

Mentor

Živko Kondić, prof. dr. sc.

Varaždin, lipanj 2021. godine

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Koprivnica
Trg dr. Žarka Dolinara 1, HR-48000 Koprivnica

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PRISTUPNIK ANTONIO ARIH | MATIČNI BROJ 5862/336

DATUM 07.07.2020. | KOLEGIJ Kontrola kvalitete

NASLOV RADA Kontrola kvalitete antikorozivne zaštite strojarskih konstrukcija

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Quality Control of Corrosion Protection for Mechanical Constructions

MENTOR Prof.dr.sc. Živko Kondić | ZVANJE Redoviti profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. ZLATKO BOTAK, predsjednik povjerenstva
2. doc.dr.sc. TOMISLAV VELIKI, član
3. prof.dr.sc. ŽIVKO KONDIČ, mentor
4. doc.dr.sc. MATIJA BUŠIĆ, rezervni član
5.

Zadatak završnog rada

BROJ 357/PS/2021

OPIS

U završnom radu potrebno je:

- U uvodnom dijelu rada potrebno je ukratko opisati pojam korozije na metalnim konstrukcijama.
- Objasniti podjelu korozije prema geometriji korozijskog razaranja (opća, galvanska, korozija u procjepu, rupičasta, interkristalna, selektivna, erozijska i napetosna).
- Objasniti najčešće korištene metode zaštite materijala od korozije.
- Detaljnije opisati postupke kontrole kvalitete antikorozivne zaštite s naglaskom na: kontroli debljine premaza, ispitivanju prionjivosti, tvrdoće, otpornosti na udar, sjaja, ispitivanje u komorama i sl.
- U praktičnom dijelu završnog rada potrebno je obajsniti pripremu uzoraka i površina, te korištenje premaza kao i opreme za kontrolu kvalitete premaza. Pojasniti detaljnije postupak nanošenja premaza, postupak mjerenja i analizirati rezultate, s naglaskom na kontroli prionjivosti (cross cut test).
-U zaključku se kritički osvrnuti za završni rad i ograničenja tijekom njegove realizacije.

ZADATAK URUČEN 14.07.2021. | POTPIS MENTORA

REPUBLIKA HRVATSKA SVEUČILIŠTE SJEVER KOPRIVNICA

Sveučilište
Sjever

SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, ANTONIO ARIH _____ *(ime i prezime)* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog *(obrisati nepotrebno)* rada pod naslovom KONTROLA KVALITETE ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE STROJARSKIH KONSTRUKCIJA *(upisati naslov)* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

_____
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, ANTONIO ARIH _____ *(ime i prezime)* neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog *(obrisati nepotrebno)* rada pod naslovom KONTROLA KVALITETE ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE STROJARSKIH KONSTRUKCIJA *(upisati naslov)* čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

_____
(vlastoručni potpis)

Predgovor

Ovim putem zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Živku Kondiću na mentorstvu i savjetima prilikom izrade ovog završnog rada. Nadalje, zahvaljujem se tvrtkama „Dekor tvornica rasvjete d.o.o.“ i „Izvor-KA d.o.o.“ na opremi i podršci u izradi praktičnog dijela. Posebno se zahvaljujem obitelji, djevojci i prijateljima na podršci koju su mi do sada pružili kroz studij.

Antonio Arih

Sažetak

U ovom završnom radu predstavljene su neke tehnike kontrole kvalitete antikorozivne zaštite s naglaskom na kontrolu kvalitete organskih i drugih nemetalnih prevlaka. Nakon uvodnog dijela u poglavljima 2 i 3 dane su opće informacije o pojavi korozije. Korozija je opisana kao pojava te je dan pregled najčešćih tipova korozije koji se susreću u prirodi. U poglavlju 4 obrađene su najčešće primjenjivane metode antikorozivne zaštite dok su u poglavlju 5 predstavljene metode kontrole kvalitete s naglaskom na nemetalne prevlake. U praktičnom dijelu ovog rada izvedene su neke od metoda kontrole kvalitete premaza na uzorcima s jednostavnim sustavom premaza uz prikaz i analizu rezultata.

Ključne riječi: korozija, kontrola kvalitete, organska prevlaka, premaz

Summary

In this undergraduate thesis are presented some of the methods for corrosion protection quality control with an accent on organic and other non-metal coatings. After a short introduction to the topic, some basic information about corrosion in general are given in chapters 2 and 3. Corrosion is described as an occurance and is classified by its most common appearances in nature. Chapter 4 covers the most common methods and technologies of corrosion protection, and in chapter 5 are given some of quality control methods for corrosion protection with an accent on non- metal coatings. In the practical part of this thesis some of quality control methods for organic coatings are shown on samples with a basic system of coatings with a short analysis of results.

Keywords: corrosion, quality control, organic coatings, coating

Popis korištenih kratica

BDP – Bruto društveni proizvod

DMF – Debljina mokrog filma

DSF – Debljina suhog filma

HOS – Hlapivi organski spojevi

PREN – Pitting resistance equivalent number

UV – Ultraviolet light

VCI – Volatile corrosion inhibitor

WFT – Wet film thickness

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Korozija 3
2.1. Općenito o koroziji 3
2.2. Brzina korozije 4
3. Podjela korozije prema geometriji korozijskog razaranja 6
3.1. Opća korozija 6
3.2. Galvanska korozija 7
3.3. Korozija u procijepu 9
3.4. Rupičasta korozija (engl. Pitting) 10
3.5. Interkristalna korozija 11
3.6. Selektivna korozija 12
3.7. Erozijska korozija 13
3.8. Napetosna korozija 14
4. Metode zaštite materijala od korozije 15
4.1. Konstrukcijsko – tehnološke mjere 15
4.2. Upotreba materijala otpornih na koroziju 16
4.3. Elektrokemijska zaštita 17
4.3.1. Katodna zaštita 17
4.3.2. Anodna zaštita 18
4.4. Zaštita inhibitorima 18
4.5. Zaštita metalnim prevlakama 19
4.6. Anorganske prevlake 21
4.7. Organske prevlake 22
4.7.1. Veziva 22
4.7.2. Otapala 24
4.7.3. Pigmenti 24

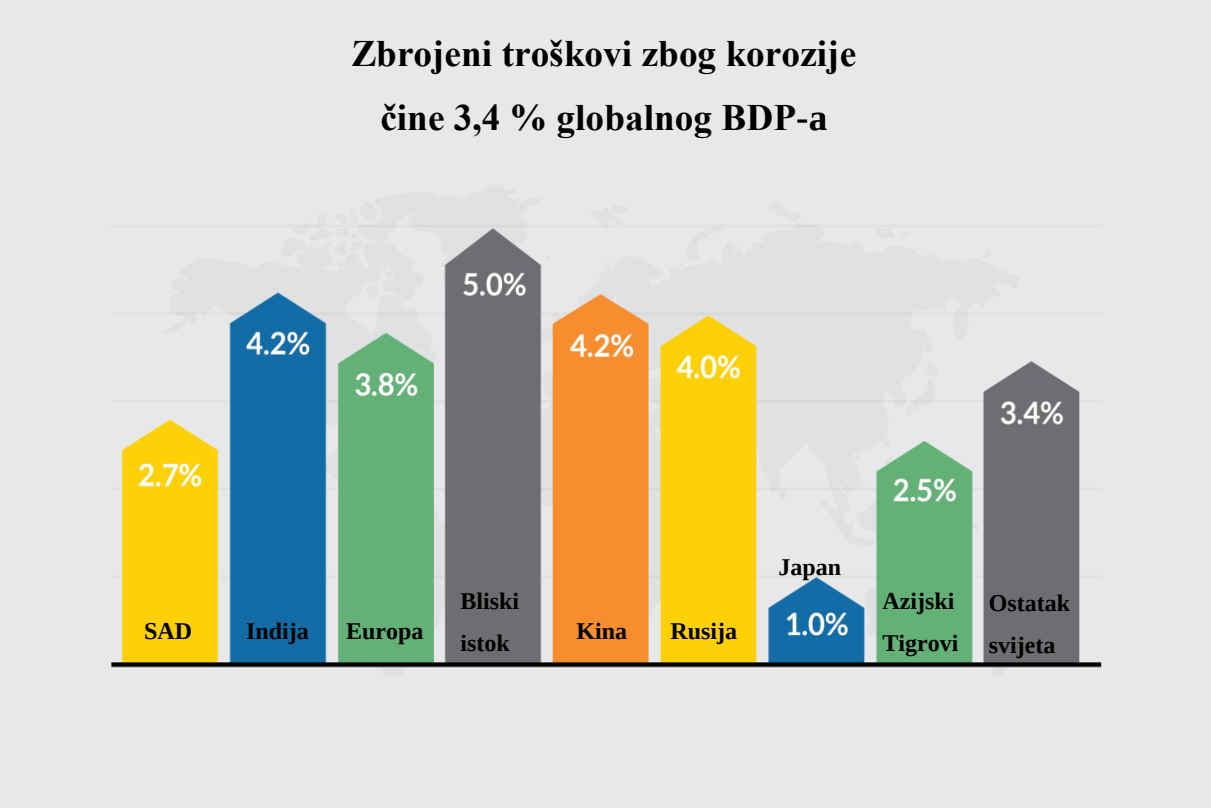
4.7.4. Punila i aditivi 24
4.7.5. Podjela i primjena organskih prevlaka 25
4.8. Vodorazrjedivi premazi 27
5. Kontrola kvalitete antikorozivne zaštite 28
5.1 Kontrola debljine premaza 30
5.1.1. Mjerenje debljine mokrog filma premaza (DMF) 30
5.1.2. Mjerenje debljine suhog filma premaza 31
5.2. Ispitivanje prionjivosti premaza 32
5.3. Ispitivanje tvrdoće premaza 33
5.4. Ispitivanje otpornosti premaza na udar 34
5.5. Elastičnost premaza 34
5.6. Ispitivanje sjaja premaza 34
5.7. Ispitivanja u komorama 35
5.7.1. Slana komora 35
5.7.2. Vlažna komora 36
5.7.3. QUV komora 36
5.8. Ispitivanja uranjanjem 37
6. Praktični dio završnog rada 38
6.1. Uvod 38
6.2. Uzorci i priprema površine 38
6.3. Korišteni premazi 41
6.3.1. Temeljni premaz 41
6.3.2. Završni premaz 42
6.4. Oprema za kontrolu kvalitete premaza 43
6.5. Nanošenje premaza, postupak mjerenja i rezultati 45
6.6. Kontrola prionjivosti – cross cut test 51
6.6.1. Ispitivanje prionjivosti i rezultati 52

7. Zaključak 55
8. Literatura 56
9. Popis slika 58
10. Popis tablica 60

1. Uvod

Već u dalekoj prošlosti s početkom korištenja sve raznovrsnijih materijala, a posebice raznih metala i legura, ljudi su počeli primjećivati da su materijali više ili manje skloni degradaciji površine i smanjenju kvalitete uslijed izloženosti uvjetima u prirodi. Od tog vremena počinje borba protiv razornog djelovanja korozije. Egipčani su boju za zaštitu trupa brodova koristili još u 15. st. pr. Kr., a neki od prvih zapisa o korištenju premaza za zaštitu površina potječu iz 5. st. pr. Kr.. Feničani i Kartažani koristili su katran te sumpor i arsen pomiješane uljem da bi zaštitili trupove svojih brodova od obraštanja organskim tvarima, molekulama i morskim mikroorganizmima. Obraštanje uronjenih konstrukcija izaziva anaerobnu koroziju koja uništava površinu, a sam obraštaj povećava masu broda i smanjuje njegovu okretnost [1]. S razvojem industrije i porastom potrošnje materijala, a sve strožim zahtjevima za kvalitetom i trajnošću različitih proizvoda i konstrukcija. Sve se više razvijala svijest o razornom djelovanju korozije i njenom direktnom utjecaju na globalnu ekonomiju. Posebice nakon industrijske revolucije, troškovi zbog korozije rasli su sve više i više, a s time i potreba za tehnologijama za njeno suzbijanje ili usporavanje. Studije provedene u SAD-u 1975. godine pokazale su da su troškovi zbog korozije tada iznosili otprilike 4,2% BDP-a [2]. Procjena štete nastale zbog korozije u Republici Hrvatskoj prvi put je provedena 1954. godine. Proveo ju je Savez inženjera i tehničara za zaštitu materijala koji je izračunao koeficijent štete od korozije prema kojem bi 1990. godine šteta od korozije iznosila do dvije milijarde dolara na godinu [1]. Te i ostale provedene studije i analize utjecaja korozije na različitim primjerima pokazale su kako su troškovi korozije enormni, a jedini način da se obuzdaju je korištenje odgovarajuće tehnologije zaštite. Iako je danas svijest o razornom djelovanju korozije velika, globalni troškovi zbog korozije 2013. procijenjeni su na 3,4% globalnog BDP-a što je oko 2,5 bilijuna američkih dolara [3]. Danas poznajemo mnoge metode i tehnologije za suzbijanje korozije. U to spadaju metode kao što je nanošenje prevlaka i premaza na površinu materijala, galvanizacija, katodna ili anodna zaštita, korištenje inhibitora te korištenje materijala koji imaju bolju korozijsku postojanost. Kod same konstrukcije određenog proizvoda važno je od početka brinuti o tome koliko će konstrukcija biti podložna koroziji i kojim metodama je moguće zaštititi površinu. Zaštita od korozije mora biti provedena pravilno i odgovorno jer direktno utječe na kvalitetu proizvoda i njegov životni vijek. Od premaza se očekuje da su dugotrajni i postojani, da dobro prianjaju uz površinu i da

su homogeni. Zbog toga je potrebno provoditi kontrolu kvalitete antikorozivne zaštite kojom se osigurava ispravna uporaba određene tehnologije i konstantna kvaliteta proizvoda. Također, vrlo je važno imati na umu utjecaj korištenih sredstava na okoliš te njihovom zbrinjavanju. U nastavku teksta biti će dana detaljnija analiza korozije kao pojave uz pregled najvažnijih tehnologija dostupnih za zaštitu od korozije. Uz to, biti će obrađene metode kontrole kvalitete antikorozivne zaštite u skladu s vezanim normama. U praktičnom dijelu naglasak će biti na mogućnosti kontrole kvalitete antikorozivnog premaza na uzorcima čeličnog lima.

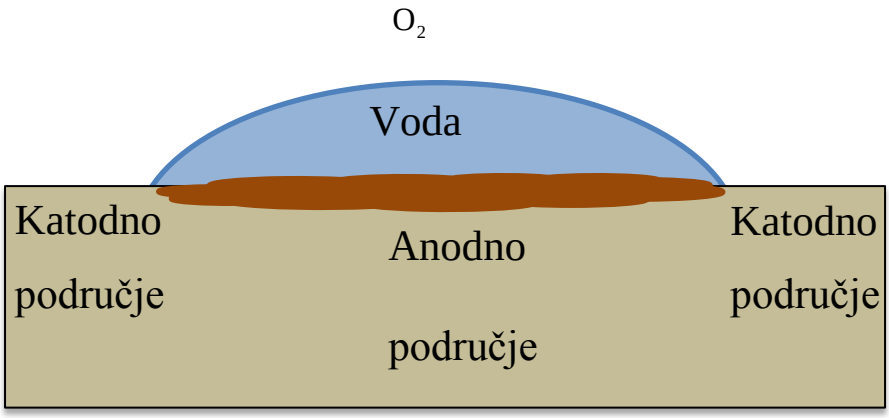


Slika 1: Udio troškova zbog korozije u globalnom BDP-u [4]

2. Korozija

2.1. Općenito o koroziji

Prema definiciji koroziju jednostavno možemo definirati kao nepoželjnu pojavu degradacije konstrukcijskih materijala uzrokovano djelovanjem okoline. Općenito se korozija dijeli na kemijsku i elektrokemijsku. Kemijska korozija javlja se ako dođe do kemijske reakcije između materijala i bilo koje komponente iz okoliša te se pritom stvaraju spojevi kao što su oksidi ili sulfidi. Ona nastaje u vrućim plinovima i organskim tekućinama, drugim riječima, javlja se u neelektrolitnom okolišu. Kemijsku koroziju u praksi susrećemo rjeđe nego elektrokemijsku koroziju koja se javlja u elektrolitnom okolišu. Elektrokemijska korozija javlja se u vodi, kiselim ili lužnatim otopinama te općenito u vlažnoj atmosferi [1]. Metal u takvoj okolini podliježe redoks – procesu (redukcijsko – oksidacijski proces) u kojem pojedini atomi metala gube elektrone te se pretvaraju u slobodne ione (metalni kationi), a istovremeno dolazi do prihvaćanja slobodnih elektrona nekog oksidansa. U praksi na površini metala postoje velike razlike potencijala. Postoje anodne zone koje su sklone oksidaciji i katodne zone sklone redukciji. Zbog toga se u elektrolitu stvara svojevrsni galvanski članak i dolazi do korozije. Do razlike u potencijalu na površini materijala može doći i zbog razlike u pristupačnosti kisiku na određeno područje na površini. Tada nastaje korozija zbog diferencijalne aeracije [5].



Slika 2: Shematski prikaz razlike potencijala zbog diferencijalne aeracije

Na pojavu elektrokemijske korozije utječe više faktora. Najvažniji su struktura, sastav i hrapavost površine materijala, zatim temperatura te količina vodikovih iona i kisika u okolišu. Na hrapavijim dijelovima površine obično dolazi do ionizacije te nastaju korozijski članci u kojima su katode glađi dijelovi površine. Toplije zone obično su anode u termokorozijskim člancima koji nastaju zbog različite temperature po površini, a niži pH i veća koncentracija kisika utječu na rast brzine korozije [1].

2.2. Brzina korozije

Najčešći način praćenja utjecaja korozije na materijal je pomoću gubitka mase u određenom vremenu. Uzorak se važe prije i nakon izlaganja agresivnom mediju. Prosječna brzina korozije tada se definira kao gubitak mase materijala po jediničnoj površini u nekom vremenu. Tako je definirana prosječna brzina korozije [1]:

$$\overline{v} = \frac{|\Delta m|}{S \cdot t}, \left[\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{d}}\right] \quad (1)$$

$|\Delta m|$ - gubitak mase konstrukcijskog materijala
S - veličina površine
t - vrijeme izlaganja agresivnom mediju

Često se umjesto prosječne brzine korozije koristi brzina prodiranja korozije u materijal [1]:

$$\overline{v}_p = \frac{\overline{h}}{t} = \frac{|\Delta V|}{S \cdot t} = \frac{|\Delta m|}{\rho \cdot S \cdot t} = \frac{\overline{v}}{\rho}, \left[\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{god}}\right] \quad (2)$$

$\overline{h}$ - dubina prodiranja
ρ - gustoća materijala
ΔV - gubitak volumena materijala

Iz toga proizlazi tablica upotrebljivosti materijala s obzirom na prosječnu brzinu prodiranja opće korozije [1][6]:

Postojanost materijala	Upotrebljivost materijala	Prosječna brzina prodiranja $\overline{v}_p$ korozije $\left[\text{mm/god}\right]$
Potpuno postojan	Uvijek upotrebljiv	< 0,001
Vrlo postojan	Uglavnom upotrebljiv	0,001 do 0,01
Postojan	Obično upotrebljiv	0.01 do 0,1
Smanjeno postojan	Katkad upotrebljiv	0,1 do 1
Slabo postojan	Iznimno upotrebljiv	1 do 10
nepostojan	Neupotrebljiv	> 10

Tabela 1:Upotrebljivost materijala s obzirom na prosječnu brzinu prodiranja opće korozije [1][5]

Važno je napomenuti da položaj na kojem se materijal nalazi u prethodnoj tablici nije najvažniji kriterij za izbor materijala jer ponekad neki dijelovi imaju manju važnosti i lako su zamjenjivi pa se prednost daje materijalu manje otpornom na koroziju koji ima neko drugo poželjno svojstvo, npr. jeftiniji je.

3. Podjela korozije prema geometriji korozijskog razaranja

Osim klasifikacije prema mehanizmu korozijskog procesa, korozija se klasificira prema geometriji razaranja, odnosno prema obliku u kojem se pojavljuje i načinu na koji je raspoređena po površini materijala. Iz toga proizlazi podjela na 8 najvažnijih tipova [7][1]:

1. opća korozija
2. galvanska korozija
3. korozija u procijepu
4. rupičasta korozija
5. interkristalna korozija
6. selektivna korozija
7. erozijska korozija
8. napetosna korozija

Svaki od ovih tipova moguće je lako vizualno identificirati i brzo prepoznati uzrok eventualnog kvara [7].

3.1. Opća korozija

Opća korozija (eng. uniform attack) je najčešći i najmanje opasan pojavni oblik korozije. Materijal gubi na debljini relativno ravnomjerno po površini te eventualno dolazi do kvara [7]. Može biti ravnomjerna ili neravnomjerna. Ravnomjerna opća korozija je najbezopasnija jer je lako pratiti njezinu pojavu i procijeniti kada je vrijeme za popravak ili eventualnu zamjena korodiranih dijelova. Puno opasnija je neravnomjerna korozija koju ne možemo pratiti preko brzine prodiranja jer ne dobivamo ispravnu sliku o stanju konstrukcije. Opasna je za cjevovode (smanjenje unutarnjeg promjera) i spremnike (nastanak pukotina). Kod izbora konstrukcijskog materijala važno je poznavati kako se on ponaša u određenim uvjetima okoline. Na primjer, opći konstrukcijski čelik u gradskim uvjetima korodira brzinom do 0,2 mm/god dok isti u razrijeđenoj sumpornoj kiselini korodira brzinom do 10 mm/god. Aluminij u gradskim uvjetima korodira brzinom do 0,013 mm/god. Prema tablici 1 materijal je upotrebljiv dok korodira brzinom ispod 0,1 mm/god. U protivnom je potrebno upotrijebiti

neku od metoda antikorozivne zaštite kao što su legiranje (dodavanje Cu niskougljičnim čelicima), izbor postojanijeg materijala, prevlačenje organskim prevlakama ili galvansko prevlačenje, dodavanje inhibitora ili neka od elektrokemijskih metoda zaštite. [1]

3.2. Galvanska korozija

Naziva se još i bimetalnom korozijom. Javlja se između dva materijala različitog potencijala u nekom elektrolitu pri čemu korodira onaj s nižim električnim potencijalom. Ako su dva metala različitog potencijala u dodiru ili se nalaze u elektrolitnom okruženju formira se galvanski članak. Elektronegativniji metal postaje anoda, a pozitivniji katoda te počinje teći struja od anode prema katodi kod čega anoda korodira, dok katoda korodira malo ili nimalo [7]. Svaki metal može biti anoda ili katoda ovisno o tome s kojim metalom je u kontaktu. Metale se može svrstati u tzv. galvanski niz gdje su oni poredani prema svom elektrodnom potencijalu izmjerenom prema nekoj karakterističnoj elektrodi. Važno je napomenuti da galvanski niz nije najpouzdaniji izvor za odabir konstrukcijskog materijala jer se poredak bitno razlikuje za različite elektrolite, a i ne dobivamo informaciju o brzini pojave korozije. Neki materijali se mogu nalaziti na dva mjesta u nizu jer mogu biti u aktivnom ili pasivnom stanju. Osim razlike potencijala utjecaj na pojavu galvanske korozije imaju i odnos u kojem su materijali, temperatura, protok fluida, sastav elektrolita itd. Kod konstrukcije, uputno je koristiti materijale koji se nalaze bliže u galvanskom nizu, a veću površinu trebao bi imati neplemitiji materijal (anoda) da se smanji gustoća korozije, odnosno, uspori trošenje anode [1].



Slika 3: Galvanska korozija između aluminijskog i čeličnog elementa u dodiru [8]

Materijal	Elektrokemijski potencijal [E°/V]
Magnezij	-1,45 do -1,36
Cink	-0,83 do -0,76
Aluminij (99% Al)	-0,66 do -0,53
Ugljični čelik	-0,48 do -0,21
Olovo	-0,31 do -0,26
Austenitni Cr-Ni čelik u aktivnom stanju	-0,10
Mjed (60% Cu)	0,05 do 0,27
Bakar	0,10 do 0,28
Krom	0,23
Srebro	0,30
Austenitni Cr-Ni čelik u pasivnom stanju	0,60
Grafit	0,7
Zlato	0,7

Tabela 2: Elektrokemijski niz s ravnotežnim potencijalima nekih materijala u morskoj vodi naspram standardnoj vodikovoj elektrodi [1]

3.3. Korozija u procijepu

Javlja se u uskim procijepima na konstrukcijama, loše izvedenim zavarenim spojevima, vijčanim spojevima te sličnim mjestima gdje možemo sresti procijepe. Moguće je da se pojavi ako se unutar procijepa nakupi voda ili nečistoće koje pospješuju smanjenje pH vrijednosti u procijepu i povećavaju korozivnost medija. Također, javlja se zbog diferencijalne aeracije, odnosno različite dostupnosti kisika unutar i izvan procijepa. Na mjestu s manje kisika stvara se anoda (u procijepu), a na mjestima koja su pristupačnija kisiku nastaje katoda. Zbog toga je uputno izbjegavati mjesta na kojima bi se mogao pojaviti ovaj tip korozije kod konstrukcije proizvoda [1][7].



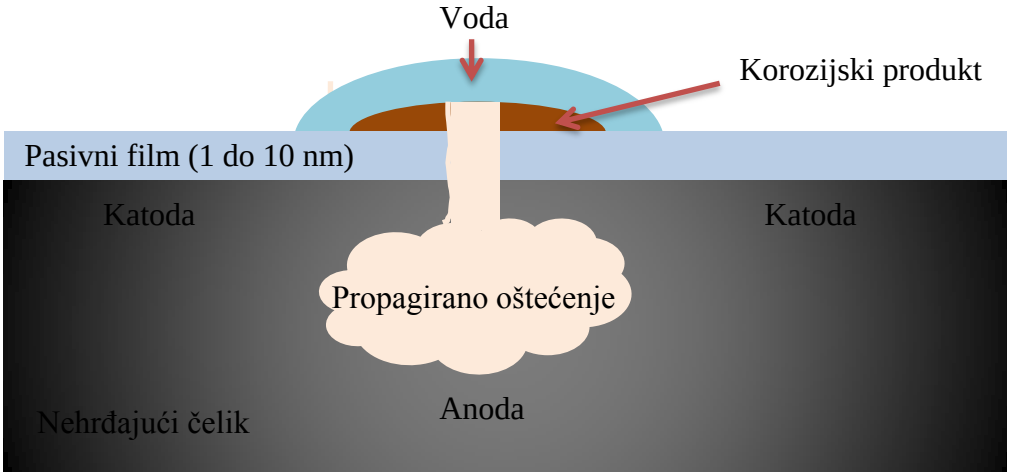
Slika 4: Korozija u procijepu na loše izvedenim zavarima stupa i temeljne ploče [9]

3.4. Rupičasta korozija (engl. Pitting)

Rupičasta korozija je tip lokalne korozije. Korodirana mjesta su približno kružnog oblika i dubine znatno veće od širine. Jedan je od najopasnijih oblika korozije. Naime, nemoguće ju je pratiti promjenom mase materijala jer je gubitak mase zanemarivo malen, rupice mogu biti vrlo mnogobrojne i malene pa ih je teško zamijetiti golim okom. Teško ju je kvantitativno odrediti jer se dubine i broj rupica razlikuju, a mogu biti smještene tako blizu da izgleda kao da je riječ o gruboj površini. Ponekad je potrebno dulje vrijeme da ovaj oblik korozije postane vidljiv na površini, a zbog njegovog lokalnog karaktera djeluje vrlo razorno na konstrukciju i izaziva iznenadne kvarove [7]. Javlja se najčešće zbog lokalnog razaranja pasivnog filma, nehomogenosti strukture metala ili djelovanja mikroorganizama. Vodene otopine s mnogo klora pogodne su za nastanak ovog tipa korozije jer kloridni ioni razaraju pasivni film, a na tim mjestima tada dolazi do dodatnog propagiranja rupice. Najčešće se javlja na nehrđajućim Cr-Ni čelicima. Također se javlja i na zavarenim spojevima kada se oko zavarenog mjesta javlja tzv. pobojenost koja je zapravo oksidni sloj nastao unosom topline koji ima drugačiji kemijski sastav od pasivnog filma koji štiti materijal od korozije. Za procjenu otpornosti materijala na rupičastu koroziju možemo koristiti PREN (PREN – Pitting Resistance Equivalent Number). To je broj dobiven kalkulacijom udjela kroma, molibdena i dušika u nehrđajućem čeliku, odnosno leguri, a definiran je formulom [1][10]:

$$\mathrm{PREN} = \%\mathrm{Cr} + (3{,}0 - 3{,}3) \cdot \%\mathrm{Mo} + (16 - 30) \cdot \%\mathrm{N} \quad (2)$$

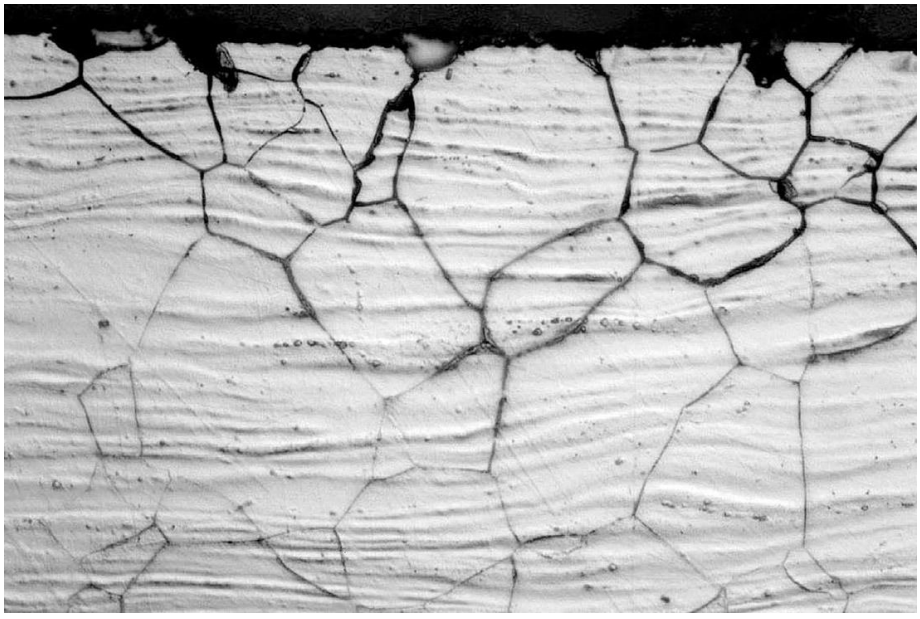
Veća vrijednost PREN-a označava veću otpornost na rupičastu koroziju. Ako je PREN veći od 25 tada možemo reći da materijal ima umjerenu otpornost, dok PREN veći od 35 indicira visoku otpornost [1].



Slika 5: Shematski prikaz rupičaste korozije

3.5. Interkristalna korozija

Interkristalna korozija je vrlo opasan tip korozije jer ju je vrlo teško primijetiti na vrijeme. Javlja se između granica zrna unutar materijala te uništava metalne veze te eventualno izaziva raspad materijala. Negativno utječe na čvrstoću i žilavost, a najčešće se javlja na nehrđajućim čelicima, te niklovim i aluminijskim legurama. Javlja se pri visokim temperaturama zbog nastanka karbida $Cr_{23}C_6$ koji osiromašuju granice zrna kromom i time smanjuju korozijsku postojanost materijala. Između osiromašenih granica zrna i karbida zatvara se galvanski članak koji uzrokuje razaranje granica zrna. Moguće ju je spriječiti žarenjem iznad 1050 °C čime se nastali kromovi karbidi ponovno tope u austenitu ili dodavanjem jačih karbidotvoraca kao što su Ti, Nb, Ta [1].



Slika 6: Pojava interkristalne korozije na granicama zrna [11]

3.6. Selektivna korozija

Selektivna korozija napada samo jednu komponentu višekomponentnog materijala. Djeluje, npr. na sivi lijev u slanoj vodi, nekim vrstama tla ili razrijeđenim kiselinama. Javlja se grafitizacija, odnosno, otapanje feritne i perlitne faze nakon čega preostaje samo spužvasti grafit. Drugi primjer bila bi decinkacija mjedi s više od 15% cinka, u tom slučaju cink se otapa i ostaje samo porozna bakrena matrica [1].



Slika 7: Decinkacija mjedi - pojava crvenkastog obojenja i bijelog depozita kao pokazatelj decinkacije [12]



Slika 8: Grafitizacija sivog lijeva - često se javlja na ukopanim cijevima [13]

3.7. Erozijska korozija

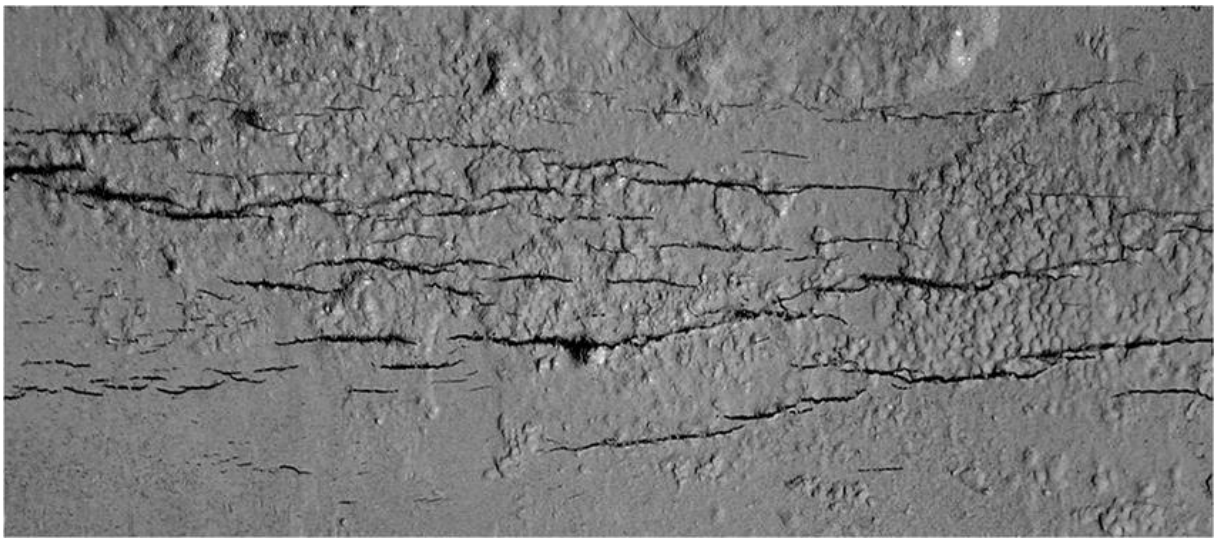
U ovom slučaju korozijsko djelovanje potpomognuto je fizikalnim oštećenjem materijala, odnosno, erozijom. Erozija je po definiciji trošenje materijala s neke površine uslijed mehaničkog djelovanja nekog medija na površinu. Zbog toga, ovaj oblik korozije često se javlja u cjevovodima, pumpama i sličnim konstrukcijama kroz koje postoji protok nekog medija. Zaštitni slojevi na površini materijala skidaju se erozijskim djelovanjem medija te se na tim mjestima javlja korozija. Metali s tanjim zaštitnim slojevima manje su podložni ovom tipu korozije jer ti filmovi bolje prianjaju na površinu (Cr-Ni čelici, titan). Bakar i bakrene legure također su jako podložne erozijskoj koroziji [1].



Slika 9: Oštećenje na cijevi zbog erozijske korozije [14]

3.8. Napetosna korozija

Napetosna korozija javlja se u nekom agresivnom okruženju u kombinaciji s djelovanjem nekog naprezanja na materijal. Može biti riječ o unutarnjim zaostalim naprezanjima uzrokovanim unosom topline ili hladnom deformacijom ili vanjski nametnutim naprezanima konstrukcije. Pukotine koje nastaju šire se okomito na smjer u kojem djeluje vlačno naprezanje te se šire interkristalno i transkristalno. Legure su sklonije napetosnoj koroziji od čistih materijala. Često se javlja kod austenitnih i martenzitnih nehrđajućih čelika, ali može se javiti i kod drugih materijala kao što su staklo, keramika ili polimerni materijali. U njenoj pojavi bitnu ulogu ima i temperatura [1].



Slika 10: Pukotine nastale zbog napetosne korozije na vanjskoj stjenci visokotlačnog plinovoda [15]

4. Metode zaštite materijala od korozije

Kao što je ranije navedeno, troškovi izazvani korozijom su veliki, a kvarovi koje izazovu pojedini oblici korozije mogu izazvati ozbiljne posljedice, kako u ekonomskom smislu tako i obliku ugroze ljudskih života. Da bi se izbjegli kvarovi i nesreće uzrokovane korozijom važno je primjenjivati odgovarajuću antikorozivnu zaštitu. Potrebno je imati na umu od kojih materijala se sastoji konstrukcija i kako se oni ponašaju zajedno. Zatim je bitno voditi računa o okolini u kojoj će se konstrukcija nalaziti i uvjetima u kojima će raditi. Uzevši u obzir te i mnoge druge faktore potrebno je primijeniti neku od dostupnih metoda zaštite. One se mogu podijeliti u nekoliko osnovnih tipova, a to su konstrukcijsko tehnološka rješenja, korištenje korozijski otpornih materijala, elektrokemijska zaštita, korištenje inhibitora korozije te prevlačenje [1].

4.1. Konstrukcijsko – tehnološke mjere

Kod same konstrukcije nekog proizvoda, vrlo je važno voditi računa o korozijski nepovoljnim rješenjima koje je poželjno izbjeći. Osim uzimanja u obzir okruženja i uvjeta u kojima će se konstrukcija nalaziti važno je konstruirati proizvod tako da se izbjegne zadržavanje vode na dijelovima konstrukcije ili osigurati odvodnju na takvim mjestima. Ako su u pitanju cjevovodi i sustavi s protokom fluida, potrebno ih je projektirati tako da se izbjegnu jake turbulencije i da protok ne bude prevelik s ciljem sprječavanja erozije stjenki cjevovoda. To podrazumijeva izbjegavanje oštrih kutova u cjevovodu te uklanjanje eventualnih prepreka strujanju i povećanje promjera cijevi u svrhu smanjenja protoka gdje je to moguće. Kod vijčanih spojeva potrebno je voditi računa o materijalima koji se povezuju i izbjegavati dodir materijala s velikom razlikom elektrokemijskog potencijala. Zavareni spojevi moraju biti pravilno izvedeni da se izbjegnu uski procijepi i pojava korozije u njima. Potrebno je osigurati da su dijelovi koji su jače izloženi koroziji lako i brzo zamjenjivi i dostupni za održavanje te je potrebno izbjegavati velika lokalna zagrijavanja materijala kao i druge vrste velikih lokalnih naprezanja [1].

4.2. Upotreba materijala otpornih na koroziju

Kod odabira konstrukcijskog materijala važno je razmišljati o tome kako će se on ponašati u eksploatacijskim uvjetima. Ipak, nije uvijek moguće upotrijebiti najbolji materijal jer se nameću druga ograničenja kao što su cijena materijala, mogućnost obrade i njegova mehanička svojstva koja direktno uvjetuju njegovu primjenjivost. Svi ti faktori utječu i na krajnju konkurentnost proizvoda na tržištu. S toga je potrebno odabrati optimalno rješenje uz primjenu odgovarajuće antikorozivne zaštite. U slijedećoj tablici je prikazano vrednovanje primjenjivosti nekih konstrukcijskih materijala u nekim eksploatacijskim okruženjima:

Materijal	Industrijska atmosfera	Slatka voda	Morska voda	H_2SO_4 (5% - 15%)	Lužina (8%)
Niskougljični čelik	1	1	1	1	5
Sivi lijev	4	1	1	1	4
18%Cr i 8%Ni čelik	5	5	4	2	5
18%Cr i 35%Ni čelik	5	5	4	4	4
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
Aluminij	4	4	4	3	3

Ocjene: **1 = slaba otpornost, 2 = osrednja otpornost, 3 = dobra otpornost, 4 = vrlo dobra otpornost, 5 = izvrsna otpornost**

Tabela 3: Ocjene korozijske otpornosti nekih materijala [16]

4.3. Elektrokemijska zaštita

Elektrokemijska zaštita dijeli se na katodnu ili anodnu zaštitu, ovisno o vrsti polarizacije. Kod katodne zaštite potencijal materijala se snižava te se materijal time dovodi u imuno stanje. Anodna zaštita podrazumijeva povećanje potencijala materijala kako bi se doveo u pasivno stanje [1].

4.3.1. Katodna zaštita

Jedna od najčešćih metoda zaštite uronjenih i ukopanih konstrukcija, a najučinkovitija je u kombinaciji s premazima. Postupak se bazira na dovođenju elektrona materijalu pomoću protektorske elektrode napravljene od neplemenitijeg metala ili spajanjem na negativan pol istosmjerne struje. Važno je da potencijal materijala kojeg štitimo ne padne ispod vrijednosti potencijala anode u korozijskom članku. U slučaju protektorske zaštite, anoda od neplemenitijeg materijala korodira umjesto objekta te daje elektrone koji prelaze na njega. Protektor se pri tome troši te mu s vremenom pada učinkovitost. Za zaštitu čelika najčešće se koriste protektori od rafiniranog cinka i njegovih legura, magnezijevih legura i aluminijevih legura. Kod zaštite narinutom strujom objekt se spaja na negativan pol istosmjernog izvora dok se anoda koja može biti potrošna (najčešće ugljični čelik) ili trajna (ferosilicij, ugljen, grafit, nikal, olovo, magnetit, itd.) spaja na pozitivan pol. Zaštita je učinkovita ako je potencijal objekta unutar intervala zaštitnog potencijala [1].



Slika 11: Katodna zaštita na trupu broda - na trup broda su pričvršćene žrtvene anode [18]

4.3.2. Anodna zaštita

Postupak anodne zaštite također se provodi pomoću istosmjernog izvora, ali u ovom slučaju elektroda je katoda. Potencijal metala se u ovom slučaju podiže iznad granične vrijednosti na kojoj u nekom elektrolitu jako pada gustoća korozijske struje. Tada se na metalu stvara pasivni film koji usporava koroziju, odnosno metal se pasivira [1].

4.4. Zaštita inhibitorima

Inhibitori korozije su organske ili anorganske tvari koje već u malim količinama značajno smanjuju brzinu korozije. Dijele se na četiri vrste, a to su anodni, katodni, mješoviti i hlapivi inhibitori (VCI, engl. Volatile Corrosion Inhibitor).

Anodni inhibitori djeluju tako da povećanjem potencijala dovode materijal u pasivno stanje. Za njih je važno da pasiviraju čitavu površinu da se izbjegne pojava rupičaste korozije.

Katodni inhibitori direktno zaustavljaju reakciju na katodi ili na lokalni katodama stvaraju netopive produkte. Za razliku od anodnih, katodni inhibitori su manje opasni i djeluju u bilo kojoj količini.

Mješoviti inhibitori usporavaju i katodnu i anodnu reakciju. Najčešće su organskog podrijetla, adsorbiraju se na površinu te tvore zaštitne filmove. Hlapivi inhibitori su pak čvrste organske tvari koje sublimiraju. Kod isparavanja se adsorbiraju na metalnu površinu na kojoj kondenziraju te stvaraju monomolekulski film koji je dipolan pa se pozitivnim dijelom veže uz metal, a negativan pol je usmjeren prema okolišu te je hidrofoban (odbija vodu i kisik). Inhibitori imaju širok spektar primjene u koji spadaju zaštita sustava grijanja i hlađenja, kotlova, cjevovoda u kemijskoj industriji, u brodogradnji za teško dostupne dijelove brodova, u električnoj industriji te za zaštitu uskladištenog naoružanja [17][1].

4.5. Zaštita metalnim prevlakama

Metalne se prevlake mogu na površinu nanositi kemijskim ili fizikalnim putem. U osnovi, prevlake stvaraju barijeru između predmeta i okoline. Osim antikorozivne zaštite, prevlake mogu imati i druga svojstva kao što su estetska, povećanje tvrdoće i otpornosti površine na trošenje ili električne vodljivosti. Najčešće primjenjivani postupci nanošenja metalnih prevlaka su galvanizacija, vruće uranjanje i prevlačenje prskanjem rastaljenog metala [1]. Galvanizacija je najčešći postupak nanošenja metalnih prevlaka. Komad koji štitimo je katoda, spaja se na negativan pol istosmjernog izvora dok je anoda koja je spojena na pozitivan pol načinjena od metala kojim se komad prevlači. To su najčešće krom, cink, nikal, bakar i drugi metali. Elektrode su spojene na izvor struje i uronjene u elektrolitnu otopinu soli koja sadrži metalne ione (sulfati ili kloridi). Anoda se topi i metal se taloži na površini katode (obradak). Debljina prevlaka je između 0,1 μm i 1 mm [1].

.



Slika 12: Pogon za galvanizaciju tvrtke Dekor tvornica rasvjete, Zabok

Najčešći primjer prevlačenja vrućim uranjanjem je vruće cinčanje. Predmeti se uranjaju u kadu koja sadrži talinu cinka temperature oko 460 °C u kojoj se drži oko dvije minute. Debljina prevlake je oko 80 μm. Prednosti postupka su velika proizvodnost, dobra antikorozivna zaštita i mehanička svojstva. Nedostaci su relativno veliki gubitak rastaljenog materijala te opasnost od toplinske deformacije obratka zbog visoke temperature.

Vruće prskanje je postupak kojim se rastaljeni metal nanosi na površinu obratka prskanjem. Metal obično dolazi u obliku praška ili žice koja prolazi kroz pištolj za vruće prskanje te se tali u plamenu smjese plinova i raspršuje u kapljičnom obliku pomoću komprimiranog zraka. Kapljice rastaljenog metala prianjaju za površinu obratka te nastaje metalna prevlaka. Postupak se koristi za antikorozivnu zaštitu od atmosferske korozije, reparaciju oštećenih dijelova te u estetske svrhe [1].



Slika 13: Postupak nanošenja metalne prevlake vrućim prskanjem [19]

4.6. Anorganske prevlake

Anorganske prevlake također se mogu nanositi kemijskim ili fizikalnim putem, neki od najčešćih postupaka su emajliranje, fosfatiranje, nanošenje oksidnih prevlaka kao što su postupci bruniranja i anodizacije aluminija odnosno eloksiranja, fosfatiranje i nanošenje kromatiranih prevlaka.

Emajliranje je postupak nanošenja alkalijsko – borosilikatnog stakla na površinu obratka. Dobiva se glatka, estetski privlačna površina koja ima vrlo dobra antikorozivna svojstva. Koristi se za zaštitu posuđa, kada, sudopera, u opreme u kemijskoj i prehrambenoj industriji, itd.. Nedostatak je krhkost površine.

Kod bruniranja se na površinu čelika nanosi sloj magnetita. Površina je porozna pa ju je potrebno dodatno impregnirati. Pruža dobru antikorozivnu zaštitu i dobra antireflektivna svojstva zbog čega se često koristi u vojnoj industriji za zaštitu oružja.

Eloksiranje je elektrokemijski postupak kojim se dobiva oksidni sloj na aluminiju. Nastali sloj je porozan što ga čini pogodnim za bojanje, a osim dobre antikorozivne zaštite daje i dobru otpornost na abraziju.

Fosfatiranje je postupak koji se najčešće koristi za zaštitu čelika. Osim antikorozivne zaštite služi kao predobrada za bojanje. Elektrokemijsko fosfatiranje je skupo i ne daje dobre prevlake pa se češće koristi kemijski postupak koji može biti vruć ili hladan.

Kromatirane prevlake pasiviraju površinu obratka jer sadrže ion CrO_4^{2-}. Postupak je jeftin i brz, ali štetan za okoliš. Prevlake nisu otporne na abraziju [1].

4.7. Organske prevlake

Najčešće primjenjivana vrsta prevlaka kod strojarskih konstrukcija su organske prevlake. U tu kategoriju spadaju boje i lakovi koji kao bazu imaju vezivo organskog podrijetla. Ta organska tvar sušenjem stvara opnu koja ima funkciju zaštite od korozije te estetsku funkciju. Osnovne komponente svakog organskog premaza su neko organsko vezivo i otapalo. Uz to premazi mogu sadržavati pigmente, punila te različite aditive [1].

4.7.1. Veziva

Veziva su najvažnija komponenta organskih prevlaka. Ona povezuju ostale komponente te sušenjem stvaraju tvrdu zaštitnu opnu, a najčešće su u tekućem ili praškastom stanju. Veziva se otapaju u otapalima, a često se mogu kombinirati s drugim vezivima kako bi se postigla željena svojstva premaza. Danas postoji mnogo vrsta veziva od kojih svaka vrsta ima određena fizikalna i kemijska svojstva. To mogu biti sušiva ulja koja su najstariji oblik veziva u upotrebi. Ona su esteri glicerola i karboksilnih kiselina. Mogu se dobiti iz prirode, a suše se oksidativnom polimerziacijom na zraku. Njihovo sušenje može biti vrlo dugotrajno pa se ponekad dodaju katalizatori kako bi se ubrzalo. Njihovo važna svojstva su žilavost i otpornost na nagle promjene vlažnosti zraka i temperature te postojanost u atmosferi. Ipak, nisu postojani u velikom broju kapljevina uključujući organska otapala i lužine te nisu otporni na visoke temperature. Druge vrste veziva su alkidne smole, nezasićene poliesterske smole, epoksidne smole, poliuretani, vinilne smole, akrilatna veziva, fenoplasti i aminoplasti, silikonske smole, etilsilikati, klorokaučuk, bitumeni i katranske smole.

Veziva na bazi epoksidnih smola mogu biti sadržana u jednokomponentnim premazima koji se suše pečenjem, te dvokomponentnim premazima koji se suše uz pomoć katalizatora ili pečenjem. Najčešće je riječ o dvokomponentnim premazima u kojima je jedna komponenta epoksidna smola s dodatkom drugih komponenti (pigment, punila, aditivi), a druga komponenta su otvrdnjivači na polimernoj bazi. Epoksidni premazi imaju dobru prionjivost na površinu i dobru čvrstoću. Imaju postojanost u atmosferi, tekućinama, tlu i organskim otapalima te podnose više temperature (do 120°C). Nisu otporni na UV zračenje [1].

Silikonske smole imaju organsko – anorgansku strukturu koja im daje vrlo dobra svojstva. Premazi na njihovoj bazi su hidrofobni, paropropusni te imaju dobru trajnost. Dobro podnose sunčevu svjetlost, a zbog svoje otpornosti na visoke temperature, pronalaze primjenu i u građevini, npr. za zaštitu dimnjaka. U tablici 4 prikazana su neka fizikalna i kemijska svojstva nekih vrsta veziva [1].

	Svojstva							
						Kemijska postojanost		
Vezivo sredstvo	Postojanost u atmosferi	Mehanička postojanost	Toplinska postojanost	Vodootpornost	Otpornost na sol	Kiseline	Lužine	Pare otapala
Alkid	±	±	-	±	-	±	-	±
Epoksidester	±	±	±	±	±	-	-	±
Uretanalkid	±	±	±	±	-	±	±	±
Poliakrilat	+	±	-	±	-	-	-	-
Polivinil	±	±	-	+	+	+	+	-
Klorokaučuk	+	±	+	+	-	-	-	-
Silikon	+	±	+	+	-	-	-	-
Silikat	±	+	+	+	+	-	-	+
Legenda: + = visoka postojanost, - = niska postojanost, ± = srednja postojanost								

Tabela 4: Fizikalna i kemijska svojstva nekih organskih veziva [1]

4.7.2. Otapala

Otapala u premazima služe za otapanje veziva i regulaciju viskoznosti premaza. To su spojevi koji lagano hlape, a prilikom otapanja veziva ne mijenjaju njihov kemijski sastav. Ona se u premaze dodaju pri njihovoj proizvodnji, a otapala koja služe za dodatnu regulaciju viskoznosti neposredno prije korištenja sredstva nazivaju se razrjeđivači. Budući da otapala hlape, njihova uporaba strogo je regulirana zbog zagađenja zraka i štetnosti po zdravlje. Neke od vrsta otapala su alifatski ugljikovodici, aromatski ugljikovodici, alkoholi, ketoni i esteri [1].

4.7.3. Pigmenti

Pigmenti su komponenta organskih premaza organskog ili anorganskog podrijetla. To su netopive čestice koje mogu biti obojene ili neobojene. Najčešće su prilikom proizvodnje disperzirane u sredstvu premaza te mu daju neku boju, a mogu posjedovati i druga svojstva. Funkcija im može biti zaštita od korozije, estetska ili kombinacija obje. Njihovo djelovanje može biti aktivno ili inertno. To se odnosi na njihova svojstva inhibitorskog djelovanja, pasivacije i neutralizacije kiselog okoliša, dok se inertnost odnosi na njihov barijerni učinak. Inertno djeluju svi premazi dok se aktivnost obično veže uz temeljne premaze. Neki od pigmenata su olovni minij, olovni sulfat, olovni kromat, olovni gleđ, cinkovi kromati, željezov oksid, titanov dioksid, silicijev karbid, ugljen (čađa) i drugi [1].

4.7.4. Punila i aditivi

Punila su netopive anorganske tvari koje se u premaze dodaju da poboljšaju njihova mehanička svojstva kao što su mazivost, tečenje, sjaj, barijerna svojstva filma te otpornost na difuziju vode i štetnih plinova. Aditivi se dodaju da se ponište neki nedostaci koje premaz može imati. Oni poboljšavaju raspršenost pigmenta, poboljšavaju reološka svojstva, sprječavaju pjenjenje kod miješanja, djeluju kao katalizatori i sušila, konzervansi ili inhibitori [1].

4.7.5. Podjela i primjena organskih prevlaka

Organske prevlake mogu se podijeliti na više različitih načina, to može biti podjela prema vrsti veziva, pigmenta ili otapala. Mogu se dijeliti prema namjeni, izgledu, vrsti podloge za koju se koriste, prema broju sastojaka na jednokomponentne, dvokomponentne i višekomponentne. Ako se dijele prema ulozi mogu biti temeljni, međuslojni, pokrivni ili kitovi, a prema mehanizmu sušenja mogu se sušiti fizikalnim ili kemijskim putem.

Premazi se koriste u dekorativnu, ali prije svega antikorozivnu svrhu. Efikasnost premaza ovisi između ostaloga o njegovoj debljini i poroznosti. Debljina premaza osigurava učinkovitu zaštitu. Zaštitno svojstvo opada ako je prevlaka previše porozna, odnosno ako ima previše pora. Poroznost prevlake je neizbježna, a u praksi je nemoguće postići da debljina premaza bude potpuno ujednačena zbog geometrije konstrukcija. Ipak, ujednačenosti debljine sloja treba težiti. Osim toga vrlo je važno kako premaz prianja za površinu, odnosno njegova prionjivost. Premaz može za površinu prianjati mehaničkim putem, odnosno adhezijom i sidrenjem u mikropore na površini materijala. Tada se prionjivost može postići površinskom obradom materijala u svrhu povećanja mikrohrapavosti. Drugi način prianjanja premaza je kemijski. U tom slučaju prianjanje premaza na površinu temelji se na kemijskim vezama između materijala i premaza. Tada se prionjivost može povećati kromiranjem ili fosfatiranjem površine.

U svrhu osiguranja dobre prionjivosti, površinu na koju se nanosi premaz je potrebno dobro pripremiti. Priprema površine sastoji se od odmašćivanja, mehaničkog skidanja nepoželjnih naslaga na površini materijala kao što su korozijski produkti, kamenac i slično te kemijskog čišćenja površine koje također služi za otklanjanje korozijskih produkata. Najvažnija metoda kemijskog čišćenja je dekapiranje. Kiselinsko dekapiranje je otapanje površinskog sloja korozijskih produkata u 3 do 20 postotnoj otopini sumporne ili klorovodične kiseline. Postupak je jako osjetljiv jer ako kiselina dođe u dodir sa željezom može imati negativno djelovanje (nagrizanje površine, vodikova krhkost, itd.). Osim kiselinskog, postoji i lužnato dekapiranje.

Sustav premaza može imati više slojeva s premazima različite namjene. Postoje temeljni premazi koji moraju jako prianjati uz površinu te sadrže aktivne pigmente koji imaju antikorozivno djelovanje. Zatim postoje međupremazi koji povećavaju debljinu sustava te pojačavaju zaštitno djelovanje. Imaju povećanu otpornost na kemijsko i atmosfersko djelovanje te pružaju zaštitu inertnim pigmentima. Završni premazi imaju barijernu i

dekorativnu ulogu. Oni daju željenu nijansu boje, sjaj, otpornost na abraziju te druge estetske i zaštitne zahtjeve.

Postoje premazi specijalnih namjena kao što su shopprimeri, odnosno radionički temeljni premazi koji se koriste za zaštitu konstrukcije dok je u fazi izrade te antivegetativni i neobraštajući premazi koji sprječavaju obrastanje konstrukcije raznim biološkim naslagama, vegetacijom te prianjanje morskim organizmima. Te vrste naslaga posebno su nepoželjne na trupovima brodova pa se ti premazi najčešće koriste u brodskoj industriji. Također, postoje premazi s protupožarnim i protukliznim svojstvima [1].



Slika 14: Pogon za plastifikaciju (elektrostatsko nanošenje prevlake u praškastom obliku) u tvrtci Dekor tvornica rasvjete d.o.o., Zabok – na slici je vidljiva komora za nanošenje praha, peć te lančani transporter za koji se vješaju obradci

4.8. Vodorazrjedivi premazi

S obzirom na štetnost organskih otapala za okoliš njihova emisija je strogo kontrolirana i propisana normama. Kao ekološki prihvatljivija alternativa postoje vodorazrjedivi premazi, odnosno premazi koji koriste vodu umjesto organskih otapala. Njihov razvoj doživio je uzlet od sredine devedesetih do danas. S obzirom na relativno sporo hlapljenje vode u atmosferi, oni i dalje sadrže vrlo malu količinu organskih otapala, no emisija štetnih tvari u atmosferu je svedena na minimalne vrijednosti. Za njihovo dobro prianjanje potrebno je da je površina dobro odmašćena i očišćena zbog površinske napetosti koja je veća kod vode nego kod organskih otapala. Važni su i uvjeti u kojima se premaz nanosi. Idealna temperatura je oko 20 °C, a potrebno je osigurati i optimalnu vlažnost koja će omogućiti hlapljenje vode koje nije ni prebrzo ni presporo. Vodorazrjedivi premazi nisu postojani u vlažnim i hladnim uvjetima [1].

Da se osigura topivost veziva koja su obično hidrofobna u vodi, potrebno je dodati aktivatore u premaz koji povećavaju hidrofilnost komponenti i omogućavaju otapanje veziva. Klasifikacija se provodi na osnovi načina otapanja veziva, a postoje vodotopljive smole, vodene disperzije i vodene emulzije. U prednosti vodorazredivih premaza spada njihova ekološka prihvatljivost, a time i manja opasnost za radnike, mogućnost primjene na raznim materijalima, nanošenje svim vrstama tehnologije, lako čišćenje opreme te jeftinije odlaganje opasnog otpada. U nedostatke spadaju visoki zahtjevi za uvjete nanošenja i dobra priprema površine, nepostojanost u vlažnim i hladnim uvjetima te nemogućnost korištenja za potopljene konstrukcije, smanjena antikorozivna svojstva u agresivnim medijima, te skuplja proizvodnja i skladištenje [1].

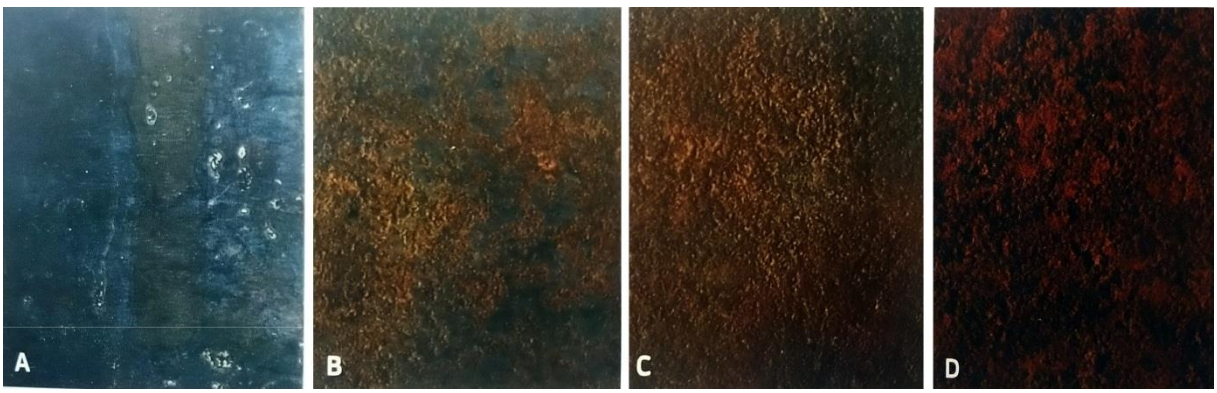
5. Kontrola kvalitete antikorozivne zaštite

Postupke kontrole kvalitete važno je provoditi kontinuirano kroz čitav proces izrade nekog proizvoda. Sukladno tome, potrebno je provesti kontrolu kvalitete antikorozivne zaštite što uključuje i kontrolu kvalitete pripreme površine slijedeći pri tome norme koje standardiziraju te postupke. Priprema površine kontrolira se vizualno uspoređivanjem neke površine s standardiziranim fotografijama u boji u skladu s normom HRN EN ISO 8501-1:2007. Norma se odnosi na pripremu površine prije nanošenja boja i sličnih proizvoda što uključuje stupanj očišćenosti površine od hrđe i eventualnih prethodnih prevlaka. Norma sadrži klasifikaciju na četiri stanja površine prije njene pripreme (A, B, C, D) te četiri stanja površine nakon njene pripreme (Sa 1, Sa 2, Sa 2,5 i Sa 3) [1].

Osim same površine, važno je kontrolirati uvjete u kojima se provodi antikorozivna zaštita, npr. nanošenje premaza. Treba imati na umu temperaturu zraka, relativnu vlažnost zraka, te temperaturu rosišta. Nepovoljni okolišni uvjeti mogu direktno utjecati na kvalitetu premaza i samim time kvalitetu antikorozivne zaštite. Osim toga, važno je kontrolirati i viskoznost premaza [20].

Za uspješnu primjenu neke od tehnologija zaštite od korozije, moraju se provesti i ispitivanja ponašanja neke tehnologije na pojedinom materijalu koji se njome štiti. Testovi se mogu provoditi u laboratoriju, na terenu i u eksploatacijskim uvjetima.

Laboratorijska ispitivanja su najbrža. Provode se u komorama koje imaju kontrolirane uvjete s konstantnom temperaturom, tlakom i vlažnošću. Uzorci se u komorama izlažu uvjetima koji su agresivniji od onih prisutnih u prirodi kako bi se došlo brže do rezultata. Uvjeti se obično izmjenjuju u ciklusima kako bi se simulirale vremenske promjene u prirodi. Najvažnije od tih ispitivanja je ispitivanje u slanoj komori koja simulira morske uvjete [1].

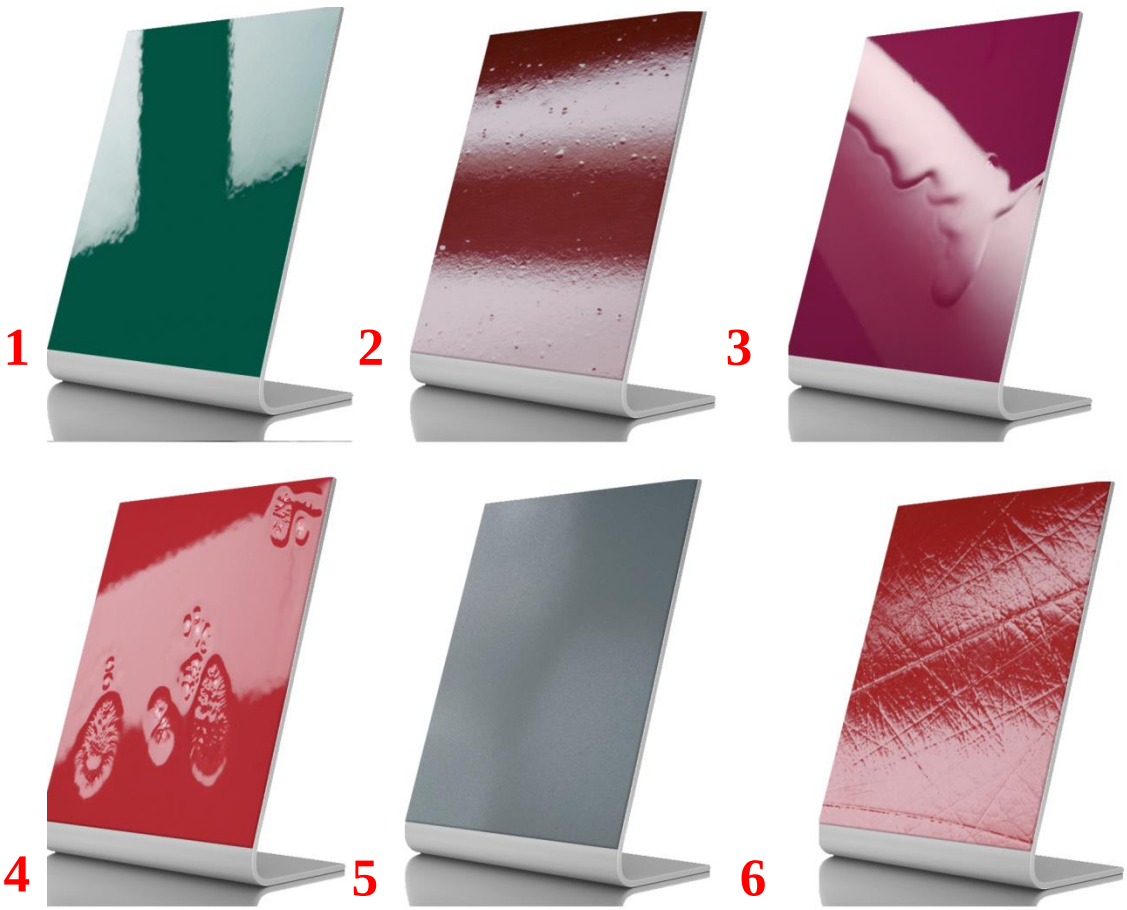


Slika 15: Stanje površine prije pripreme mlazom abraziva prema HRN EN ISO 8501-1:2007[1][21]



Slika 16: Stupnjevi stanja površine B sa slike 15 nakon pripreme mlazom abraziva prema HRN EN ISO 8501-1:2007[1][21]

Vizualna kontrola je također vrlo važan aspekt kontrole kvalitete antikorozivne zaštite. To je najbrži i najlakši način da se uoče greške i nedostaci na obrađenoj površini i da se prepoznaju mjesta na kojima se te greške javljaju češće. Tako je pravovremeno moguće detektirati da postoje nedostaci u tehnologiji antikorozivne zaštite i pronaći odgovarajuće rješenje. Primjeri nekih lako uočljivih nedostataka vidljivi su na slici 17.



Slika 17: Neke od mogućih grešaka premaza: 1 – slabo razlijevanje, 2 – pojava mjehurića, 3 – curenje boje, 4 – krateri, 5 – stvaranje „oblaka“, 6 – risevi zbog loše pripreme površine [22]

5.1 Kontrola debljine premaza

Debljina premaza često je direktno vezana uz kvalitetu antikorozivne zaštite. Deblji filmovi znače bolju zaštitu jer je manja poroznost prevlake, no tada je i cijena veća. Predebeli premazi mogu dovesti do pucanja filma, duljeg vremena sušenja, a ponekad je debljina filma ograničena i nekim konstrukcijskim karakteristikama obratka. Zbog tih razloga je važno kontrolirati debljinu filma. Na nju utječu tehnika nanošenja premaza, vrsta premaza, uvjeti okoline pri nanošenju filma, vještina osobe koja nanosi premaz te kvaliteta pripreme površine i izgled same površine. Kontrola debljine premaza se provodi prema normi HRN EN ISO 2808: 2019. To podrazumijeva kontrolu debljine mokrog filma (DMF) i kontrolu debljine suhog filma (DSF) [1].

5.1.1. Mjerenje debljine mokrog filma premaza (DMF)

To je mjerenje debljine neposredno nanesenog filma premaza. Debljina mokrog filma premaza je preduvjet za postizanje potrebne debljine suhog filma. Može se izračunati omjerom debljine suhog filma i volumenom suhe tvari izraženom u postocima. Tehnika mjerenja je jednostavna, izvodi se mjerkom za debljinu mokrog filma (engl. Wet Film Thickness Gauge, skraćeno WFT Gauge), poznatijom kao „češalj“. Mjerenje debljine mokrog filma također služi kao kontrola tehnike osobi koja nanosi premaz [1].



Slika 18: "češalj" za mjerenje debljine mokrog filma premaza [23]

5.1.2. Mjerenje debljine suhog filma premaza

Debljina suhog filma premaza mjeri se nakon sušenja premaza, najčešće svaka 24 sata nakon nanošenja [20]. Za to se koriste uređaji koji mogu raditi na principu magnetizma ili vrtložnih struja pa se uređaj bira prema magnetičnosti površine. Uređaji koji rade na temelju magnetizma mogu se upotrebljavati za magnetične materijale i koriste privlačne sile između permanentnog magneta i površine koje su obrnuto proporcionalne udaljenosti između njih. Uređaji koji rade na principu vrtložnih struja koriste razliku električne vodljivosti između površine i premaza. Ta metoda se koristi za nemagnetične materijale [1].



Slika 19: "Elcometer 456" uređaj za mjerenje debljine suhog filma premaza [24]

5.2. Ispitivanje prionjivosti premaza

Prionjivost premaza može se ispitivati „cross cut“ testom prema normi HRN EN ISO 2409:2020. Prionjivost je vrlo važna za dobru zaštitu površine kao i na njenu trajnost. Test se provodi urezivanjem dva puta po šest ureza pod pravim kutom pomoću za to namijenjene šablone čime se formira mrežica. Urezi moraju biti jednoliki, povučeni jednolikom brzinom i ne smiju zagrepsti duboko u površinu. Razmak između ureza ovisi o debljini premaza te za debljine do 60 µm iznosi 1 mm, za debljine između 60 i 120 µm iznosi 2 mm. a za iznad 120 µm je razmak između ureza 3 mm. Nakon toga, mrežica se lagano očisti četkom te se na nju zalijepi ljepljiva vrpca koja se zatim naglo odlijepi. Nakon toga se provjerava koliki postotak mrežice se odvojio od površine te se prionjivost vrednuje prema standardiziranoj skali za prionjivost prema ranije spomenutoj normi [1].

5.3. Ispitivanje tvrdoće premaza

Postoji nekoliko metoda za ispitivanje tvrdoće premaza koje se primjenjuju. Metodom prema Buchholzu koje se izvodi prema normi HRN EN ISO 2815. U površinu premaza se utiskuje tijelo tako da djeluje silom od 5 N. Tada se tako zadržava 30 s nakon čega se tvrdoća određuje po duljini otiska. Tvrdoća se može mjeriti i pomoću njihala prema normi HRN EN ISO 1522. Najpoznatije metode mjerenja tvrdoće premaza pomoću njihala su metoda po Persozu i metoda po Königu. U obje metode koriste njihalo koje se oslanja na površinu s premazom i na sebi ima obješene čelične polirane kuglice. Njihanje se prigušuje u dodiru kuglice s površinom, a tvrdoća prevlake ovisi o prigušenju njihanja u nekom vremenu. Metode se razlikuju po veličini njihala, vremenu mjerenja i amplitudi njihanja. Treća metoda kojom se može ispitivati tvrdoća premaza je ispitivanje pomoću olovaka prema normi HRN EN ISO 15184. Za ispitivanje se koristi 20 grafitnih olovaka različitih tvrdoća (od 9H do 9B) te se povlače linije uz pomoć držača koji osigurava kut držanja olovke od 45°. Olovke se koriste od najtvrđe prema najmekšoj, a prva koja ne ostavi trag na površini premaza označava tvrdoću prevlake [1].



Slika 20: Mjerenje tvrdoće premaza olovkama - olovka se povlači po uzorcima pomoću posebnog držača bez dodavanja pritiska [25]

5.4. Ispitivanje otpornosti premaza na udar

Ispitivanje otpornosti na udar vrši se prema normi HRN EN ISO 6272. Kuglica koja ima standardiziranu masu i promjer pušta se s određenih visina i slobodnim padom udara o površinu. Kao granična vrijednost otpornosti premaza na udar uzima se vrijednost kod najviše visine kod koje ne dolazi do oštećenja [1].

5.5. Elastičnost premaza

Jedna od metoda ispitivanja elastičnosti prevlake je utiskivanjem trna. U pločicu se prema normi HRN EN ISO 1520 utiskuje trn dok se ne pojavi pukotina na premazu. Zatim se mjeri dubina utiskivanja izražena u mm kod koje još nije došlo do pojave pukotine te ona označava elastičnost premaza [1].

5.6. Ispitivanje sjaja premaza

Sjajnost površine može se opisati njenom usporedbom sa zrcalnom površinom. Ako bi površina reflektirala svjetlost samo pod jednim kutom ona bi predstavljala idealnu sjajnu površinu dok bi idealna mat površina reflektirala svjetlost jednako u svim smjerovima i kutovima. Sjajnost se mjeri uređajem sjajometrom koji mjeri koliko svjetlosti se reflektira s prevučene površine koja je osvijetljena pod kutovima od 20°, 60°, i 85° stupnjeva [1].

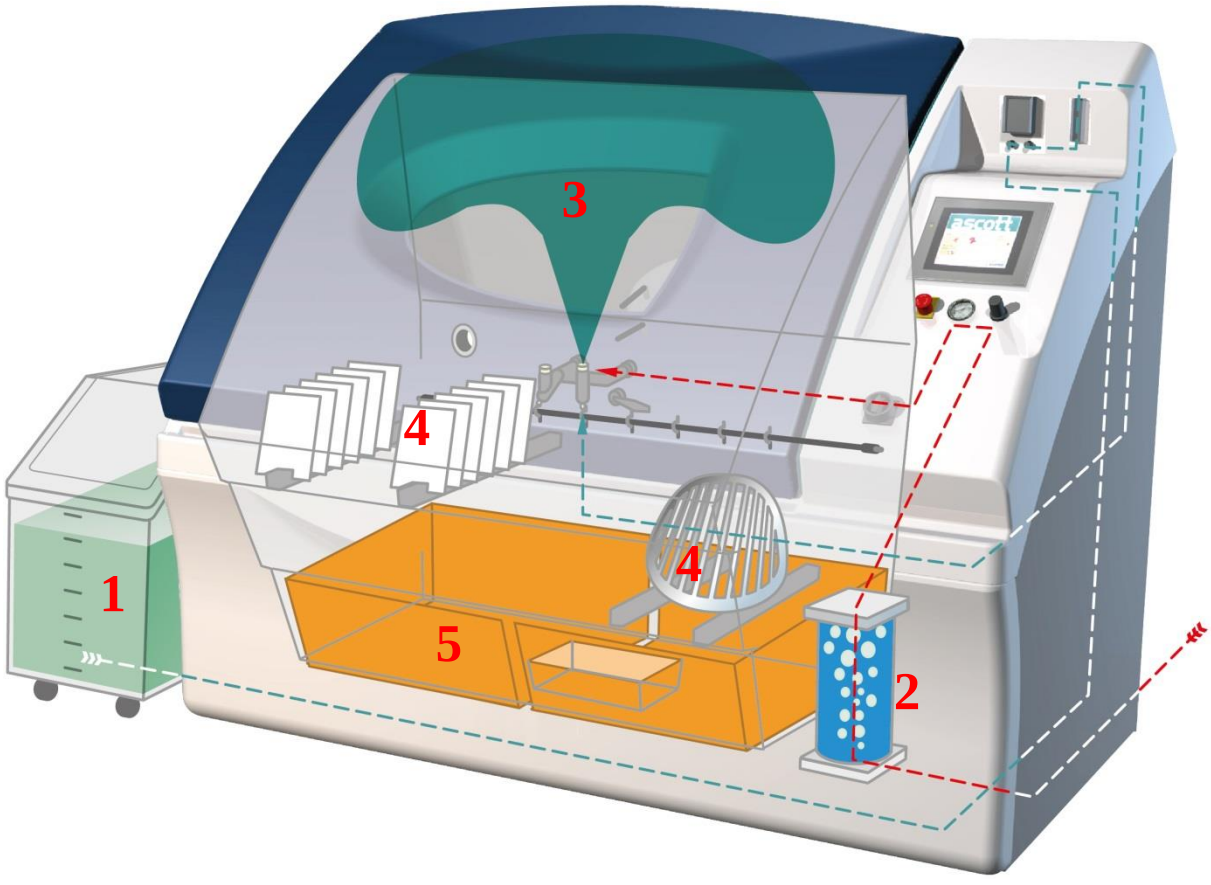


Slika 21: Uređaj za ispitivanje premaza na udar prema normi HRN EN ISO 6272 [26]

5.7. Ispitivanja u komorama

5.7.1. Slana komora

Jedan od najvažnijih načina ispitivanja antikorozivne zaštite je u slanoj komori. Ispitivanja se vrše prema normi HRN EN ISO 9227. U njoj se uzorci izlažu uvjetima koji oponašaju morsku atmosferu, odnosno uzorci su izloženi prskanju maglicom pet postotne otopine NaCl-a. Ispitivanje može trajati prema dogovorenom vremenu. Temperatura ispitivanja je 35 ± 2 °C. Osim toga temperatura na koju se ovlažuje komprimirani zrak je između 45 i 50 °C, a komprimiran je na 0,7 do 1,4 bar. Na slici 22. Vidljiv je shematski prikaz slane komore. Ispitivanja se provode u ciklusima i uvjeti se mijenjaju da bi se bolje simuliralo stvarno stanje u okolišu [1][27].



Slika 22: Shematski prikaz slane komore: 1 – spremnik otopine NaCl-a, 2 – uređaj za zasićivanje zraka (osigurava visoku vlažnost), 3 – maglica otopine NaCl-a, 4 – testni uzorci, 5 – grijači (osiguravaju odgovarajuću temperaturu [27]

5.7.2. Vlažna komora

U vlažnoj komori, slično kao i u slanoj komori, uzorci se testiraju u atmosferi s visokom vlažnošću, temperaturom i uz kondenzaciju vode. Vlažnost zraka u se u ovim komorama održava na oko 100% dok je temperatura oko 40 °C. Norma prema kojoj se provodi test je HRN EN ISO 6270 [1].

5.7.3. QUV komora

Ispitivanje u ovom tipu komora provodi se prema normi HRN EN ISO 16474-3. Uzorci su u njima izloženi vlažnom zraku i kondenzatu vode u kombinaciji s UV svjetlošću koje dolazi iz fluorescentnih UV lampi [1].



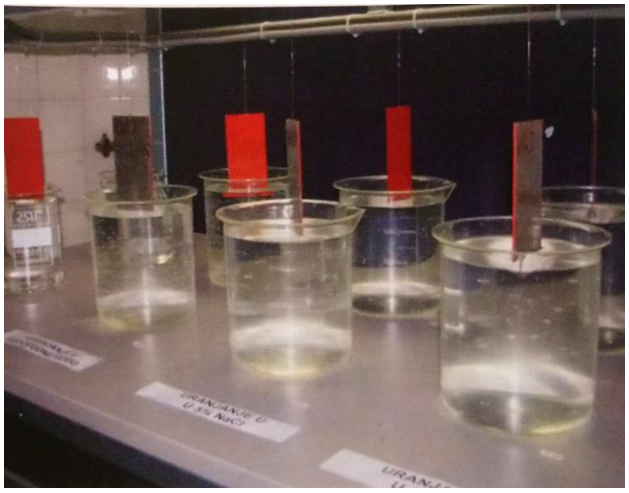
Slika 23: QUV komora [28]

5.8. Ispitivanja uranjanjem

Ova vrsta ispitivanja provodi se prema normi ASTM G44. Uzorci se uranjanju u vodu ili vodenu otopinu NaCl-a u ciklusima od 10 minuta močenja pa 50 minuta sušenja u vremenskom periodu od 24 sata neprekinutog testiranja. Na taj način simuliraju se vrlo promjenjivi okolišni uvjeti te metoda daje dobre rezultate [1].



Slika 24: Uranjanje uzoraka na 10 minuta [1]



Slika 25: Sušenje uzoraka [1]

6. Praktični dio završnog rada

6.1. Uvod

U sklopu praktičnog dijela ovog završnog rada izrađeno je nekoliko uzoraka pomoću kojih su pokazane neke od metoda kontrole kvalitete premaza. Uzorci su izrađeni od čeličnog lima debljine 2 mm čije su tehničke karakteristike prikazane u tablici 5 te se razlikuju po pripremi površine. Na uzorke je tada nanesen jednostavan sustav premaza koji se sastoji od temeljnog premaza, odnosno primera i završnog premaza. Karakteristike korištenih premaza dane su u tablicama 6 i 7. Osim u pripremi površine, pojedini uzorci se razlikuju u tehnici kojom je na njih nanesen premaz. Korištena je tehnika zračnog kista te tehnika nanošenja premaza valjčićem. Sami uzorci izrađeni su u tvrtci „Dekor tvornica rasvjete d.o.o.“ u Zaboku dok su nanošenje premaza i mjerenja izvršeni u tvrtci „Izvor-KA d.o.o.“ u Zlatar Bistrici. U nastavku teksta prikazana je priprema i izrada uzoraka, nanošenje sustava premaza, kontrolna mjerenja te analiza rezultata.

6.2. Uzorci i priprema površine

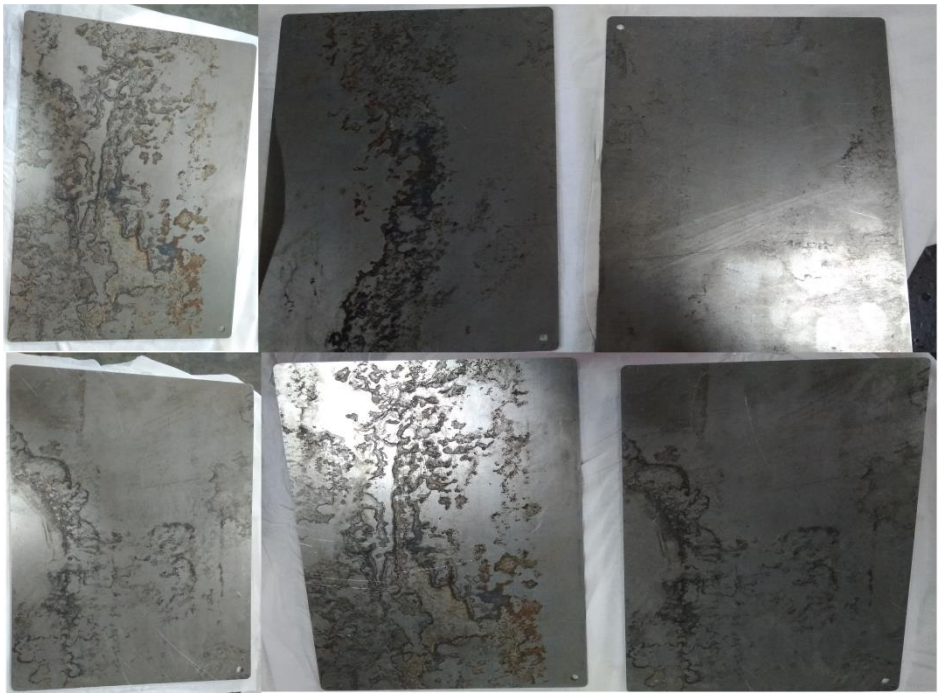
Uzorci su izrezani od dekapiranog hladno valjanog lima DC01. Za rezanje je korišten laser Bystronic Bystar Fiber 3015 – 10 kW u tvrtci „Dekor tvornica rasvjete d.o.o.“ iz Zaboka. Veličina uzoraka je 300 x 200 mm.

Lim (oznaka)	Debljina	Granica tečenja $R_{p0,2}$ [MPa]	Vlačna čvrstoća R_m [MPa]	Kemijski sastav [%]			
				C	Mn	P	S
DC01 (1.0330)	2 mm	≤ 280	270 - 410	0,12	0,60	0,045	0,045

Tabela 5: Tehničke karakteristike lima DC01

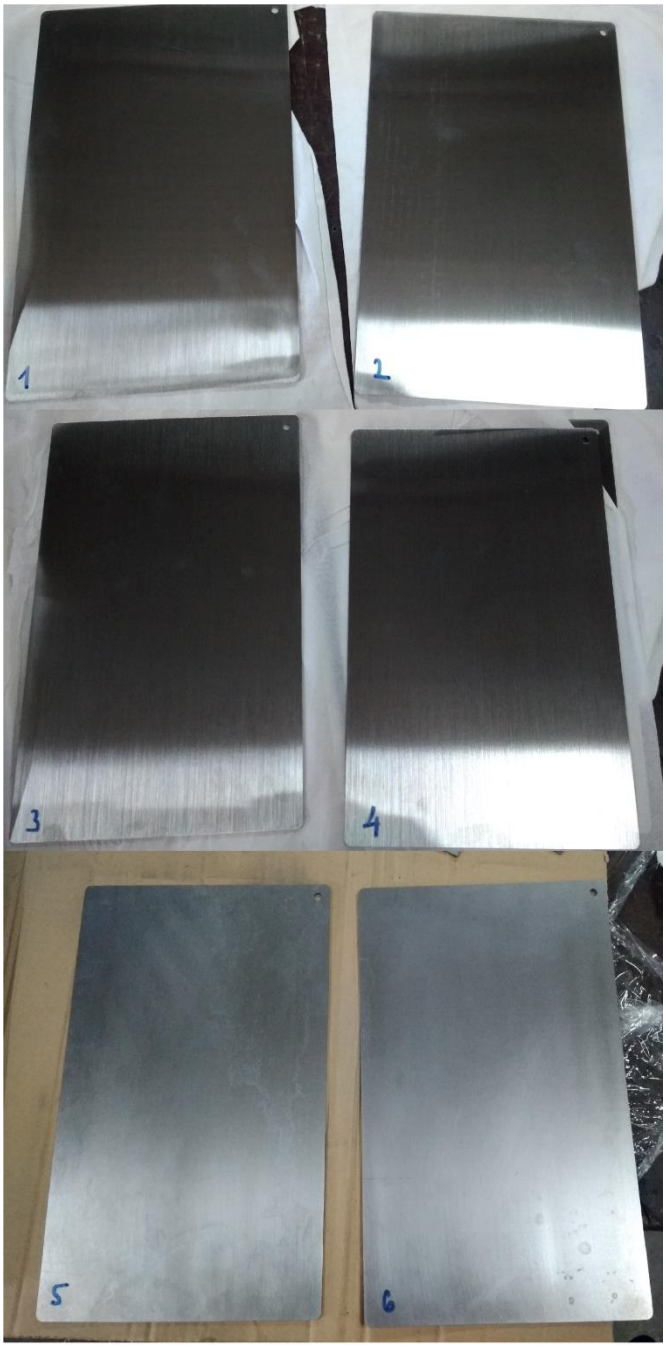


Slika 26: Bystronic Bystar Fiber 3015 – 10 kW u proizvodnom pogonu tvrtke „Dekor tvornica rasvjete d.o.o.“



Slika 27: Izrezani uzorci prije pripreme površine

Na slici 27 vidljivo je stanje površine uzoraka prije pripreme. Površina je blago korodirana te su prisutni produkti opće korozije. Nakon rezanja obavljena je priprema površine i to na način da su dva uzorka fino brušena pomoću tračne brusilice (br.1 i br.2), dva uzorka su brušena brusnom trakom veće granulacije također pomoću tračne brusilice (br.3 i br.4), a dva uzorka su brušena ručno pomoću brusnog papira grublje granulacije (br.5 i br.6). Nakon brušenja, površina uzoraka je odmašćena.



Slika 28: Uzorci nakon pripreme površine: 1, 2 - fino brušena površina; 3, 4 - grubo brušena površina; 5, 6 - ručno brušena površina

6.3. Korišteni premazi

Za uzorke je korišten jednostavan sustav premaza koji se sastoji od jednog sloja temeljnog premaza i jednog sloja završnog premaza. Za razrjeđivanje je korišten univerzalni Nitro razrjeđivač.

6.3.1. Temeljni premaz

Kao temeljni premaz korišten je Ferolin BS čije karakteristike su navedene u tablici 6.

Premaz	Ferolin BS brzosušivi temeljni premaz za čelik
Proizvođač	ISKRA kemijska industrija
Boja	Siva
Karakteristike	- Brzo sušenje - Dobra antikorozivna svojstva - Dobro prianjanje - Pogodan za alkidne, nitro i akrilne završne premaze
Upotreba	Pogodan za nanošenje svim tehnikama, može se razrijediti s 5 do 10 % nitro razrjeđivača po potrebi. Temperatura površine mora biti minimalno 3 °C iznad temperature rošenja.
Sastav	- Teški benzin (hidrodesulfuliziran) - Ugljikovodici C_9 - C_{12} - n – alkani - ciklički izoalkani - aromati (2 – 25%) - ksilen - HOS: 480 – 500 g/l
Sušenje	Na 20°C i relativnoj vlažnosti 65% vrijeme sušenja je 30 min na dodir, odnosno 16 sati potpuno. Međupremazni intervl je 1 sat.

Tabela 6: Informacije o temeljnom premazu Ferolin BS

6.3.2. Završni premaz

Kao završni premaz korišten je Kemocel brzosušivi lak, njegove karakteristike se nalaze u tablici 7.

Premaz	Kemocel BS
Proizvođač	Chromos Svjetlost
Boja	L413 – crna mat
Karakteristike	- Brzo sušenje - Dobra antikorozivna svojstva - Otpornost na atmosferalije, ulje i blage kemikalije - Dobra mehanička čvrstoća - Dekorativnost
Upotreba	Primarno namijenjen za nanošenje prskanjem, ali moguće je nanošenje kistom ili valjkom, po potrebi se može razrijediti do 5% nitro razrjeđivačem. Pogodan je za nanošenje direktno na metal zbog antikorozivnog djelovanja.
Sastav	2-butanon oksim Sadržaj suhe tvari: 48±5% po težini HOS: 500 g/l
Sušenje	Potpuno sušenje za 4 do 6 sati ili prinudno sušenje 1 sat na 60 °C. Međupremazni interval 1 do 2 sata.

Tabela 7: Karakteristike završnog premaza Kemocel BS



Slika 29: Ferolin BS

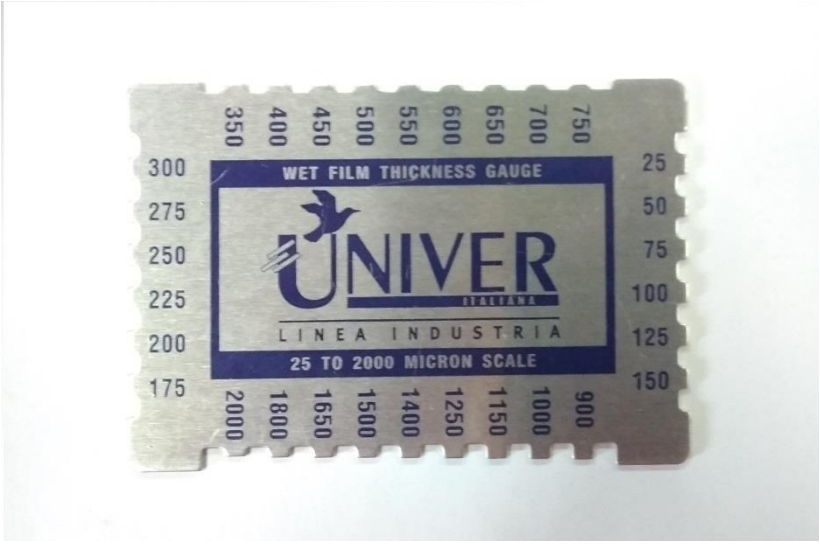


Slika 30: Kemocel BS

6.4. Oprema za kontrolu kvalitete premaza

U svrhu kontrole kvalitete premaza izvršena su mjerenja debljine mokrog sloja neposredno nakon nanošenja premaza. Zatim je izvršeno mjerenje debljine suhog filma premaza te je nakon toga napravljen „Cross cut“ test za provjeru prionjivosti premaza. Mjerenja su napravljena u tvrtci „Izvor-KA d.o.o.“ u Zlatar Bistrici njihovom opremom. Za mjerenja i testiranje korištena je slijedeća oprema:

- MJERENJE DEBLJINE MOKROG SLOJA PREMAZA – mjerni češalj sa mjernom skalom od 25 do 2000 μm



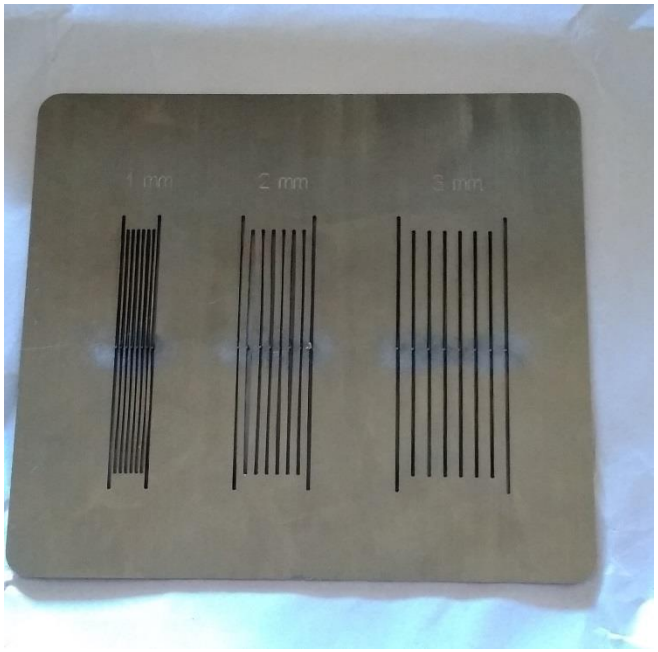
Slika 31: Češalj za mjerenje debljine mokrog filma premaza korišten za mjerenje

- MJERENJE DEBLJINE SUHOG SLOJA PREMAZA – Förch uređaj za mjerenje debljine suhog filma premaza. Mogućnost mjerenja željeznih i neželjeznih materijala. Mjerno područje od 0 do 2000 μm s garantiranom preciznošću od ±3 %. Uz uređaj se u pakiranju nalaze uzorci i folije za kalibraciju.



Slika 32: Förch uređaj za mjerenje debljine suhog filma premaza

- CROSS CUT TEST – KONTROLA PRIONJIVOSTI – šablona za cross cut test za razmacima između linija od 1, 2 i 3 mm



Slika 33: Šablona za cross cut test

6.5. Nanošenje premaza, postupak mjerenja i rezultati

Na ranije pripremljene uzorke kao na slici 28 prvo je nanesen temeljni brzosušeći premaz Ferolin BS u jednom sloju. Premaz je na uzorke 1, 3 i 5 nanesen prskanjem, dok je na uzorke 2, 4 i 6 premaz nanesen valjkom. Za nanošenje premaza prskanjem premaz je razrijeđen malom količinom nitro razrjeđivača za bolju viskoznost dok za nanošenje valjkom premaz nije razrjeđivan. Neposredno nakon nanošenja premaza izvršeno je mjerenje debljine mokrog sloja pomoću mjernog češlja na način da je mjerni češalj prislonjen zupcima okomito na površinu te je očitana vrijednost kod koje dolazi do dodira filma premaza s zupcem. Rezultati mjerenja za pojedine uzorke prikazani su u tablici 8.



Slika 35: Uzorci nakon nanošenja temeljnog premaza – na uzorke 2, 4, 6 premaz je nanesen valjkom, a na uzorke 1, 3 i 5 prskanjem



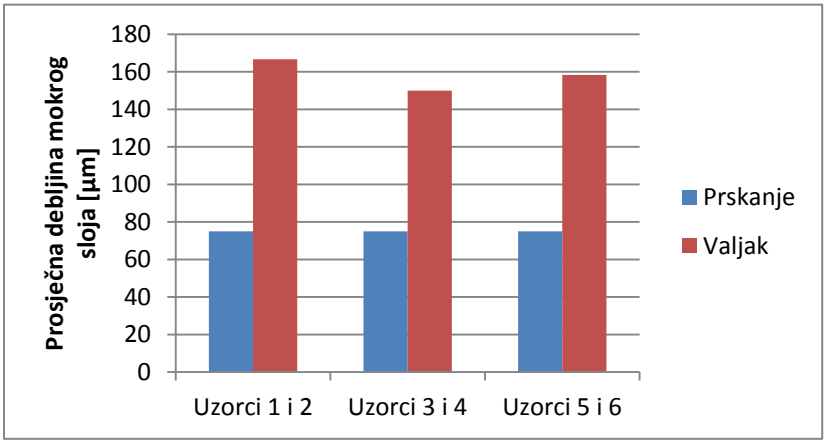
Slika 34: Detalj uzorka 1 i 2, oba uzorka imaju istu kvalitetu pripreme površine, na uzorak dva premaz je nanesen valjčićem i debljina mokrog sloja je vidljivo veća



Slika 36: Postupak mjerenja debljine mokrog fila temeljnog premaza

Uzorak br.	Priprema površine	Tehnika nanošenja premaza	Izmjerene vrijednosti debljine mokrog sloja [µm]		
			Mjerenje		
			1	2	3
1	Fino brušeno	Prskanje	75	75	75
2	Fino brušeno	Valjak	175	150	175
3	Grubo brušeno	Prskanje	75	75	75
4	Grubo brušeno	Valjak	150	150	150
5	Ručno brušeno	Prskanje	75	75	75
6	Ručno brušeno	Valjak	150	175	150

Tabela 8: Izmjerene vrijednosti debljine mokrog filma temeljnog premaza



Graf 1: Usporedba prosječnih izmjerenih vrijednosti iz tablice 8

Mjerenje debljine mokrog sloja temeljnog premaza provedeno je na tri različita mjesta na svakom uzorku, a vrijednosti iz tablice 8 i grafa 1 jasno pokazuju kako je debljina sloja nanesenog valjčićem značajno veća i manje ujednačena. Sukladno tome, uzorci premazani valjčićem bili su suhi na dodir otprilike nakon 1,5 sata, dok su uzorci na koje je premaz nanesen prskanjem bili suhi na dodir već nakon 45 minuta do sat vremena.

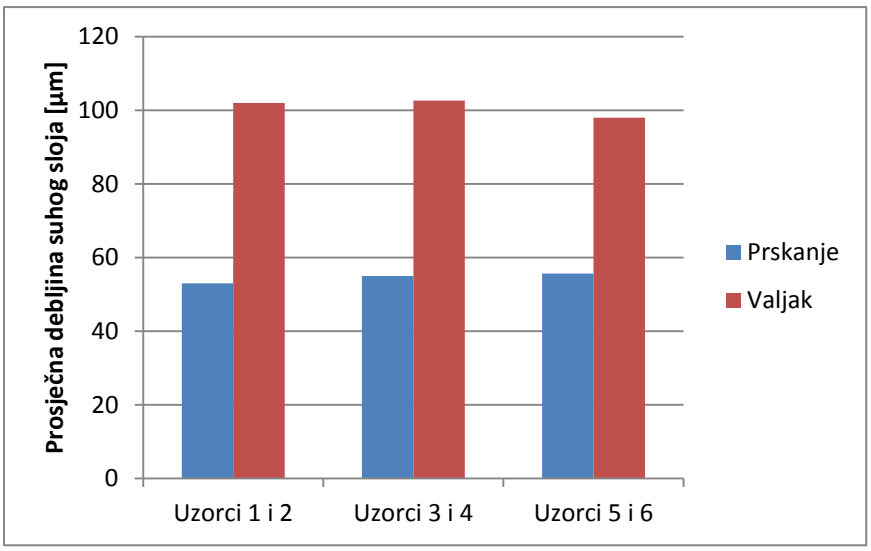
Uzorci su pušteni da se suše 3 sata nakon čega je provedeno mjerenje debljine suhog filma temeljnog premaza također na tri različita mjesta na površini uzorka. Mjerenje se provodi prislanjanjem ticala na dnu uređaja na premaz nakon čega se očitava vrijednost sa zaslona koja je u mikrometrima. Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 9.



Slika 37: Mjerenje debljine suhog sloja temeljnog premaza

Uzorak br.	Priprema površine	Tehnika nanošenja premaza	Izmjerene vrijednosti debljine suhog sloja [µm]		
			Mjerenje		
			1	2	3
1	Fino brušeno	Prskanje	51	55	53
2	Fino brušeno	Valjak	110	105	91
3	Grubo brušeno	Prskanje	53	55	57
4	Grubo brušeno	Valjak	95	103	110
5	Ručno brušeno	Prskanje	56	53	58
6	Ručno brušeno	Valjak	98	95	101

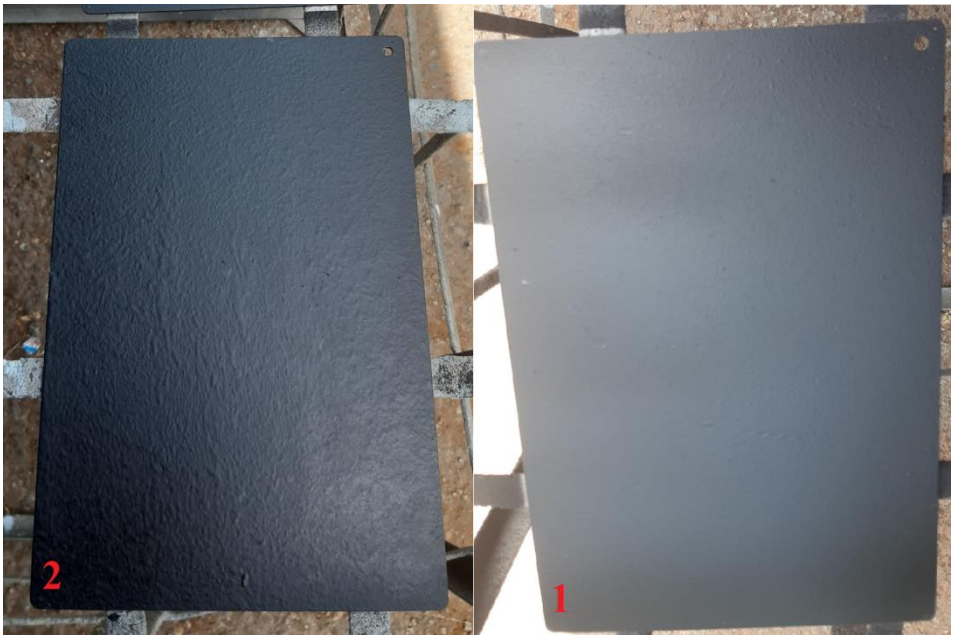
Tabela 9: Izmjerene vrijednosti debljine suhog filma temeljnog premaza



Graf 2: Usporedba prosječnih izmjerenih vrijednosti debljine suhog filma premaza

Iz tablice 9 i grafa 2 je vidljivo da je suhi sloj nanesen valjkom deblji što je logično s obzirom da je mokri sloj bio deblji. Vrijednosti debljine sloja nanesenog prskanjem u ovom slučaju više variraju što se može objasniti značajno manjom robusnošću mjerke za debljinu mokrog sloja pa vrijednosti nisu toliko točne, a treba uzet u obzir i pogrešku mjerenja.

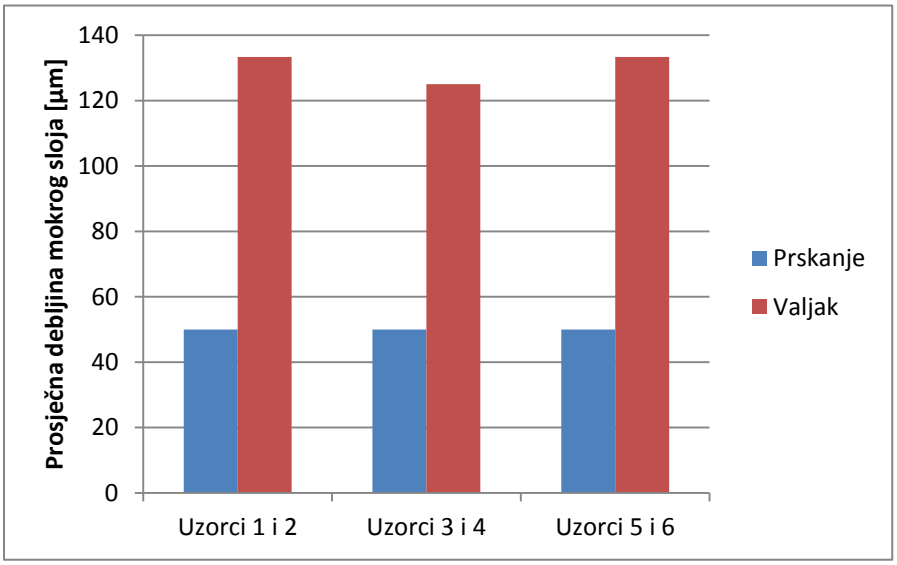
Temeljni sloj je pušten da se suši 24 sata prije nanošenja završnog sloja premazom Kemocel BS. Nanošenje završnog sloja provedeno je istim postupcima na istim uzorcima kao i kod temeljnog sloja. Neposredno nakon nanošenja premaza, izmjerene su debljine mokrog filma završnog premaza, a rezultati mjerenja prikazani su u tablici 10.



Slika 38: Uzorci sa završnim premazom, površina na uzorku 1 gdje je premaz nanesen prskanjem puno je glađa nego na uzorku 2 na koji je boja nanesena valjkom

Uzorak br.	Priprema površine	Tehnika nanošenja premaza	Izmjerene vrijednosti debljine mokrog sloja [µm]		
			Mjerenje		
			1	2	3
1	Fino brušeno	Prskanje	50	50	50
2	Fino brušeno	Valjak	125	125	150
3	Grubo brušeno	Prskanje	50	50	50
4	Grubo brušeno	Valjak	125	125	125
5	Ručno brušeno	Prskanje	50	50	50
6	Ručno brušeno	Valjak	125	150	125

Tabela 10: Izmjeren vrijednosti debljine mokrog filma završnog premaza



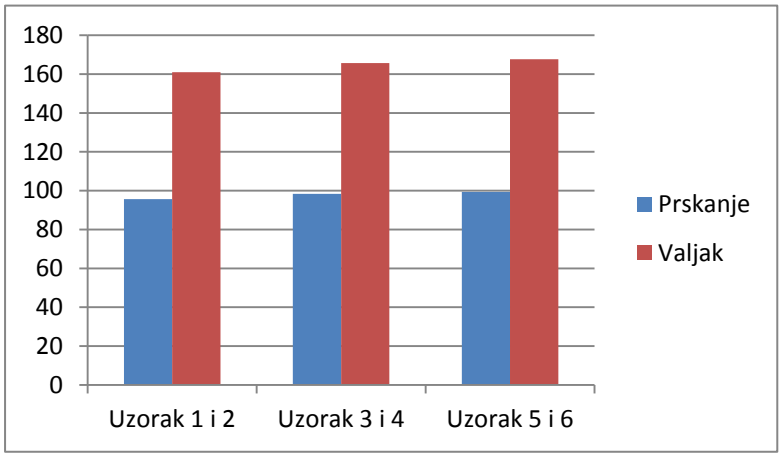
Graf 3: Usporedba prosječnih izmjerenih vrijednosti mokrog filma završnog premaza

Iz tablice 10 i grafa 3 vidljivo je kako je sloj nanesen prskanjem ponovno tanji nego sloj nanesen valjkom, a debljine premaza su relativno ujednačene što pokazuje kvalitetniju tehniku nanošenja završnog sloja premaza, ipak potrebno je ponovno uzeti u obzir pogrešku mjerenja i manju robusnost mjernog instrumenta.

Uzorci su pušteni da se suše oko 6 sati nakon čega je obavljeno mjerenje debljine suhog filma pod istim uvjetima kao i kod temeljnog premaza. Napravljena su po tri mjerenja na tri različita mjesta na svakom pojedimo uzorku. Izmjerene vrijednosti dane su u tablici 11. Važno je imati na umu da su izmjerene vrijednosti sada ukupne vrijednosti debljine suhog sloja koje uključuju i temeljni premaz pa je u tablici izražena i razlika prosječne vrijednosti debljine suhog sloja završnog premaza.

Uzorak br.	Priprema površine	Tehnika nanošenja premaza	Izmjerene vrijednosti debljine mokrog sloja [µm]			Razlika prosječne vrijednosti debljine suhog sloja [µm] *
			Mjerenje			
			1	2	3	
1	Fino brušeno	Prskanje	98	93	96	42,67
2	Fino brušeno	Valjak	161	159	163	59
3	Grubo brušeno	Prskanje	101	98	96	43,33
4	Grubo brušeno	Valjak	166	168	163	63
5	Ručno brušeno	Prskanje	99	98	101	43,67
6	Ručno brušeno	Valjak	167	169	167	69,67

Tabela 11: Izmjerene vrijednosti debljine suhog filma završnog premaza (- vrijednosti su računate kao razlika aritmetičke sredine debljine izmjerene za temeljni i završni premaz)*



Graf 4: Usporedba izmjerenih vrijednosti debljina suhog filma nakon nanošenja završnog premaza izražene u µm

ZAKLJUČAK:

Nakon mjerenja debljine suhog sloja završnog premaza vidljivo je da su debljine premaza po pojedinim uzorcima izjednačene. Prevlake nanesene valjkom imaju veću debljinu čime daju bolju antikorozivnu zaštitu, no prevlake nanesene prskanjem su ujednačenije i estetski bolje te su manje porozne s manje grešaka, a debljina prevlake nije jedini uvjet kvalitetne antikorozivne zaštite i kvalitete prevlake općenito. Također, vrlo važan faktor je i sposobnost osobe koja nanosi prevlaku da to radi ujednačeno i vodi računa o potrebnoj debljini prevlake te izbjegavanju grešaka na premazu koje mogu izazvati lošiju kvalitetu antikorozivne zaštitite.

6.6. Kontrola prionjivosti – cross cut test

Nakon mjerenja debljine slojeva premaza napravljen je cross cut test za kontrolu prionjivosti premaza. Za to je korištena šablona sa slike 33, skalpel za urezivanje mrežice, četkica te ljepljiva vrpca. Postupak se sastoji od urezivanja dva puta po šest zareza koji su međusobno okomiti na propisanoj međusobnoj udaljenosti koja ovisi o debljini prevlake. Zarezi se urezuju jednolikom brzinom. Kada se tako napravi mrežica, ona se oprezno očetka u smjeru zareza te se preko mrežice zalijepi ljepljiva vrpca koja se zatim naglo odlijepi. Vizualnom provjerom tada se ocjenjuje izgled mrežice nakon skidanja vrpce sukladno vrednovanju iz norme HRN EN ISO 2409. Vrednovanje je opisano u tablici 12. Za uzorke na koje je prevlaka nanošena prskanjem zarezi su na razmaku od 2 mm jer je izmjerena debljina prevlake na svim uzorcima između 60 i 120 μm. Na uzorcima na koje je prevlaka nanesena valjkom, korišten je razmak od 3 mm između zareza jer je izmjerena debljina sloja veća od 120 μm [1].

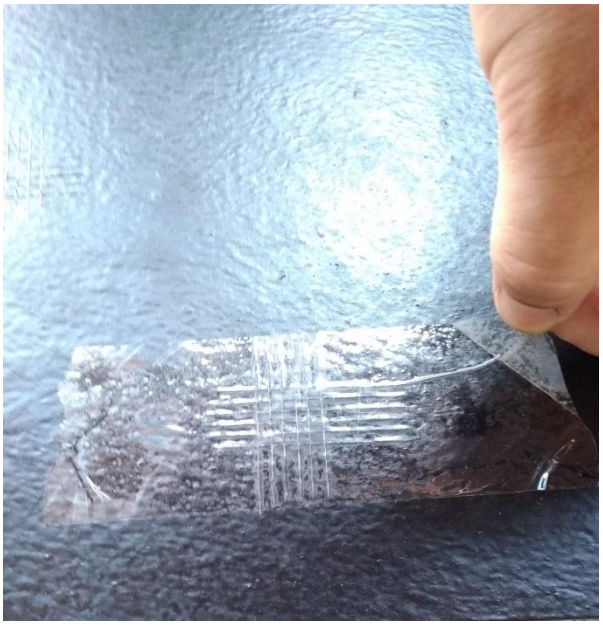
Opis	Vrednovanje prema HRN EN ISO 2409
Glatki tragovi zareza, nije otkinut ni jedan kvadratić	0
Ljuštenje premaza na sjecištima između kvadratića, oštećenja manja od 5 %	1
Ljuštenje premaza duž zareza, oštećenja u mrežici od 5 do 15 %	2
Ljuštenje po rubovima i kvadratićima mrežice, oštećenja od 15 do 35%	3
Ljuštenje duž cijelih rubova u mrežici, otkinuti neki kvadratići, oštećenja od 35 do 65 %	4
Oštećenja iznad 65 %	5

Tabela 12: Vrednovanje prionjivosti prema normi HRN EN ISO 2409 [1]

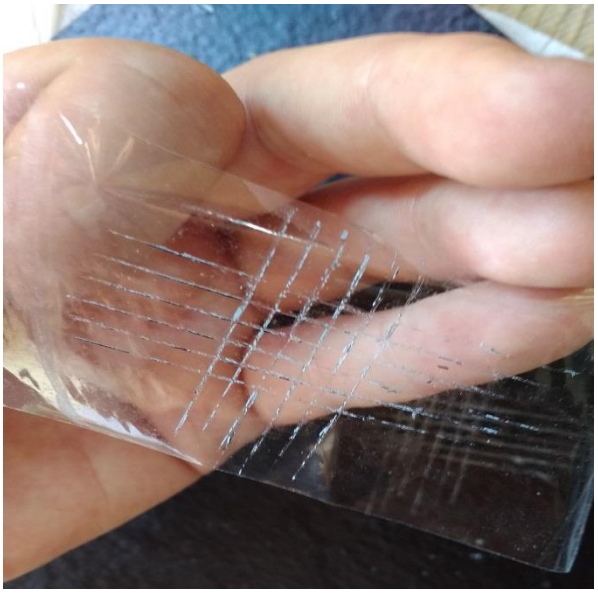
6.6.1. Ispitivanje prionjivosti i rezultati



Slika 39: Urezivanje mrežice na uzorke pomoću šablone



Slika 40: Nakon što je mrežica urezana i očetkana, preko nje se lijepi ljepljiva vrpca koja se tada naglo skida



Slika 41: Na ljepljivoj vrpci ostaju tragovi premaza koji su se oljuštili s rubova ureza



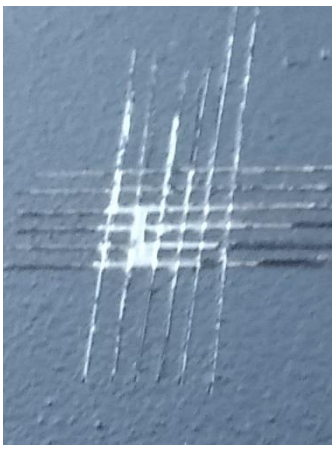
Slika 42: Na svakom od 6 uzoraka test je rađen na tri različita mjesta

Uzorak br.	Priprema površine	Tehnika nanošenja premaza	Vrednovanje prionjivosti prema normi HRN EN ISO 2409		
			Test		
			1.	2.	3.
1	Fino brušeno	Prskanje	1	1	1
2	Fino brušeno	Valjak	1	1	1
3	Grubo brušeno	Prskanje	1	2	3
4	Grubo brušeno	Valjak	2	1	1
5	Ručno brušeno	Prskanje	3	3	2
6	Ručno brušeno	Valjak	2	2	2

Tabela 13: Vrednovanje prionjivosti na 6 uzoraka

ZAKLJUČAK:

Nakon pregleda uzoraka i vrednovanja sukladno opisima iz tablice 12 dane su ocijene prionjivosti koje su prikazane u tablici 13. Vidljivo je da ni kod jednog urezivanja mrežice ne postoji savršena prionjivost, odnosno vrijednost 0. Većina testova vrednovana je s 1 ili 2 jer su rubovi mrežice bili oljušteni na sjecištima i po rubovima. Općenito, malo bolju prionjivost pokazali su uzorci na koje je premaz nanesen valjkom, a prema obradi površine, najbolje rezultate dali su uzorci s fino brušenom površinom dobro očišćenom od masnoća. Ekstremne vrijednosti javljaju se na uzorcima 3 i 5 gdje se javljaju jača oštećenja mrežice što se može pripisati greškama nastalim kod nanošenja boje i mogućoj lošijoj pripremi površine.



Slika 43: Oštećenje površine na uzorku 5

7. Zaključak

Tehnike antikorozivne zaštite koje se primjenjuju u današnje vrijeme uvelike umanjuju probleme koje korozija izaziva u svakodnevnom životu. Ipak, korozija je i dalje prisutna. Kvarovi i oštećenja zbog korozije, gubici nastali zbog njih još uvijek su vrlo raširen i skup problem. Troškovi izazvani korozijom kao i borbom protiv nje i dalje su enormni. S napretkom znanosti svakodnevno se razvijaju nove tehnike antikorozivne zaštite, a dosadašnje se unaprjeđuju te se stječu nove spoznaje koje će omogućiti bolje razumijevanje, prepoznavanje te sprječavanje korozijskih procesa. Jedan od temeljnih zahtjeva za svaki proizvod je adekvatna antikorozivna zaštita. Tehnologija zaštite mora biti odabrana sukladno potrebama, uvjetima u kojima se eksploatira štićena konstrukcija te drugim tehničkim i estetskim zahtjevima. Da bi odabrana zaštita bila učinkovita potrebno je da je tehnologija pravilno primijenjena. Zbog toga je nužno uvijek vršiti kontrolu kvalitete primjene tehnologije zaštite neovisno o kojoj tehnologiji je riječ. Time se osigurava sprječavanje kvarova, izbjegavaju se greške, produljuje se eksploatacijski vijek proizvoda, a smanjuju se ili eliminiraju troškovi koji mogu nastati kao posljedica korozije. Također je potrebno kontrolirati kvalitetu samog izvođenja antikorozivne zaštite. Ona mora biti izvedena savjesno uz izbjegavanje grešaka koje bi mogle smanjiti ili poništiti njenu efektivnost. Prakticiranjem takvog pristupa i daljnjim proučavanjem i razvojem novih tehnologija moguće je postići da korozija u budućnosti više ne predstavlja takav problem u svjetskom gospodarstvu i industriji.

8. Literatura

[1] I. Jaruga, V. Alar, I. Stojanović: Korozija i zaštita premazima, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.

[2] https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/39217 (17.5.2021.)

[3] http://impact.nace.org/economic-impact.aspx (17.5.2021.)

[4] https://www.zerust.com/blog/2019/10/02/the-cost-of-corrosion/ (17.5.2021.)

[5] V. Alar: Kemijska postojanost metala, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.

[6] I. Esih: Osnove površinske zaštite, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2007.

[7] M. G. Fontana: Corrosieon Engineering, McGraw-Hill Book Company, SAD, 1987.

[8] https://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/galvanic_corrosion.htm (25.5. 2021.)

[9] http://spearindustrial.com/crevice-corrosion-what-to-know-and-how-to-stop-it/ (25.5.2021.)

[10] S. Papavinasam: Corrosion Control in the Oil and Gas Industry, Gulf Professional Publishing, SAD, 2014.

[11] https://steelfabservices.com.au/a-guide-to-intergranular-corrosion-how-to-treat-it/ (25.5.2021.)

[12] https://www.werc.com/the-perils-of-brass-dezincification/ (25.5.2021.)

[13] http://www.testing-engineers.com/case1.html (25.5.2021.)

[14] https://www.zelandez.com/blog/casing-corrosion-mitigation-in-brine-production-wells/ (25.5.2021.)

[15] https://www.researchgate.net/figure/Example-of-the-colony-of-stress-corrosion-cracks-on-the-external-surface-of-the_fig1_305623271 (25.5.2021.)

[16] T. Filetin: Izbor materijala pri razvoju proizvoda, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000.

[17] https://www.cor-pro.com/corrosion-protection-services/types-of-corrosion-inhibitors/ (30.5.2021.)

[18] https://cathwell.com/industries/ships/anodes-for-tanks/ (30.5.2021.)

[19] https://www.metallisation.com/how-does-flame-spray-work/ (30.5.2021.)

[20] R. I. Salopek: Zaštita čeličnih konstrukcija primjenom zaštitnih sredstava premaza. Zbornik Radova (Građevinski Fakultet Sveučilišta U Rijeci), Rijeka, 2019.

[21] HRN EN ISO 8501-1:2007, Priprema čeličnih podloga prije nanošenja boja i srodnih proizvoda – Vizualna procjena čistoće površine – 1. dio: Stupnjevi hrđanja i stupnjevi pripreme nezaštićenih čeličnih površina i čeličnih površina nakon potpunog uklanjanja prethodnih prevlaka (ISO 8501-1:2007;EN ISO 8501-1:2007)

[22] https://helcom-trade.hr/savjeti-i-informacije/korisni-savjeti/greske-kod-lakiranja-12/ (10.6.2021.)

[23] https://www.tqcsheen.com/en/product/wet-film-thickness-gauge-stainless-steel-en/ (10.6.2021.)

[24] https://www.elcometer.com/en/coating-inspection/dry-film-thickness/dry-film-thickness-digital/elcometer-456-coating-thickness-gauge.html (10.6.2021.)

[25] M. Kralj, K. Pavković, I. Stojanović, J. Anđal: Prionjivost i zaštitna svojstva DTM premaza u odnosu na premaze s temeljnim slojem, Građevinar 71 (2019) 5, 401 - 408, Zagreb, 2019.

[26] https://www.neurtek.com/en/coating-test-equipment/impact-tester/impact-tester-for-paint (12.6.2021.)

[27] https://www.ascott-analytical.com/how-chambers-work/cct-chambers-salt-spray-mode-how-it-works/#close (12.6.2021.)

[28] https://www.q-lab.com/products/quv-weathering-tester/quv (12.6.2021.)

9. Popis slika

Slika 1: Udio troškova zbog korozije u globalnom BDP-u [4] 2
Slika 2: Shematski prikaz razlike potencijala zbog diferencijalne aeracije 3
Slika 3: Galvanska korozija između aluminijskog i čeličnog elementa u dodiru [8] 8
Slika 4: Korozija u procijepu na loše izvedenim zavarima stupa i temeljne ploče [9] 9
Slika 5: Shematski prikaz rupičaste korozije 10
Slika 6: Pojava interkristalne korozije na granicama zrna [11] 11
Slika 7: Decinkacija mjedi - pojava crvenkastog obojenja i bijelog depozita kao pokazatelj decinkacije [12] 12
Slika 8: Grafitizacija sivog lijeva - često se javlja na ukopanim cijevima [13] 12
Slika 9: Oštećenje na cijevi zbog erozijske korozije 13
Slika 10: Pukotine nastale zbog napetosne korozije na vanjskoj stjenci visokotlačnog plinovoda [15] 14
Slika 11: Katodna zaštita na trupu broda - na trup broda su pričvršćene žrtvene anode [18] .. 17
Slika 12: Pogon za galvanizaciju tvrtke Dekor tvornica rasvjete, Zabok 19
Slika 13: Postupak nanošenja metalne prevlake vrućim prskanjem [19] 20
Slika 14: Pogon za plastifikaciju (elektrostatsko nanošenje prevlake u praškastom obliku) u tvrtci Dekor tvornica rasvjete d.o.o., Zabok – na slici je vidljiva komora za nanošenje praha, peć te lančani transporter za koji se vješaju obrdaci 26
Slika 15: Stanje površine prije pripreme mlazom abraziva prema HRN EN ISO 8501-1:2007[1][21] 28
Slika 16: Stupnjevi stanja površine B sa slike 15 nakon pripreme mlazom abraziva prema HRN EN ISO 8501-1:2007[1][21] 29
Slika 17: Neke od mogućih grešaka premaza: 1 – slabo razlijevanje, 2 – pojava mjehurića, 3 – curenje boje, 4 – krateri, 5 – stvaranje „oblaka“, 6 – risevi zbog loše pripreme površine [22] 29
Slika 18: "češalj" za mjerenje debljine mokrog filma premaza [23] 30
Slika 19: "Elcometer 456" uređaj za mjerenje debljine suhog filma premaza [24] 31
Slika 20: Mjerenje tvrdoće premaza olovkama - olovka se povlači po uzorcima pomoću posebnog držača bez dodavanja pritiska [25] 33
Slika 21: Uređaj za ispitivanje premaza na udar prema normi HRN EN ISO 6272 [26] 34

Slika 22: Shematski prikaz slane komore: 1 – spremnik otopine NaCl-a, 2 – uređaj za zasićivanje zraka (osigurava visoku vlažnost), 3 – maglica otopine NaCl-a, 4 – testni uzorci, 5 – grijači (osiguravaju odgovarajuću temperaturu [27] 35
Slika 23: QUV komora [28] 36
Slika 24: Uranjanje uzoraka na 10 minuta [1] 37
Slika 25: Sušenje uzoraka [1] 37
Slika 26: Bystronic Bystar Fiber 3015 – 10 kW u proizvodnom pogonu tvrtke „Dekor tvornica rasvjete d.o.o.“ 39
Slika 27: Izrezani uzorci prije pripreme površine 39
Slika 28: Uzorci nakon pripreme površine: 1, 2 - fino brušena površina; 3, 4 - grubo brušena površina; 5, 6 - ručno brušena površina 40
Slika 29: Ferolin BS 42
Slika 30: Kemocel BS 42
Slika 31: Češalj za mjerenje debljine mokrog filma premaza korišten za mjerenje 43
Slika 32: Förch uređaj za mjerenje debljine suhog filma premaza 44
Slika 33: Šablona za cross cut test 44
Slika 34: Detalj uzorka 1 i 2, oba uzorka imaju istu kvalitetu pripreme površine, na uzorak dva premaz je nanesen valjčićem i debljina mokrog sloja je vidljivo veća 45
Slika 35: Uzorci nakon nanošenja temeljnog premaza – na uzorke 2, 4, 6 premaz je nanesen valjkom, a na uzorke 1, 3 i 5 prskanjem 45
Slika 36: Postupak mjerenja debljine mokrog fila temeljnog premaza 46
Slika 37: Mjerenje debljine suhog sloja temeljnog premaza 47
Slika 38: Uzorci sa završnim premazom, površina na uzorku 1 gdje je premaz nanesen prskanjem puno je glađa nego na uzorku 2 na koji je boja nanesena valjkom 48
Slika 39: Urezivanje mrežice na uzorke pomoću šablone 52
Slika 40: Nakon što je mrežica urezana i očetkana, preko nje se lijepi ljepljiva vrpca koja se tada naglo skida 53
Slika 41: Na ljepljivoj vrpci ostaju tragovi premaza koji su se oljuštili s rubova ureza 53
Slika 42: Na svakom od 6 uzoraka test je rađen na tri različita mjesta 53
Slika 43: Oštećenje površine na uzorku 5 54

10. Popis tablica

Tabela 1:Upotrebljivost materijala s obzirom na prosječnu brzinu prodiranja opće korozije [1][5] 5
Tabela 2: Elektrokemijski niz s ravnotežnim potencijalima nekih materijala u morskoj vodi naspram standardnoj vodikovoj elektrodi [1] 8
Tabela 3: Ocjene korozijske otpornosti nekih materijala [16] 16
Tabela 4: Fizikalna i kemijska svojstva nekih organskih veziva [1] 23
Tabela 5: Tehničke karakteristike lima DC01 38
Tabela 6: Informacije o temeljnom premazu Ferolin BS 41
Tabela 7: Karakteristike završnog premaza Kemocel BS 42
Tabela 8: Izmjerene vrijednosti debljine mokrog filma temeljnog premaza 46
Tabela 9: Izmjerene vrijednosti debljine suhog filma temeljnog premaza 47
Tabela 10: Izmjeren vrijednosti debljine mokrog filma završnog premaza 49
Tabela 11: Izmjerene vrijednosti debljine suhog filma završnog premaza (*- vrijednosti su računate kao razlika aritmetičke sredine debljine izmjerene za temeljni i završni premaz) 50
Tabela 12: Vrednovanje prionjivosti prema normi HRN EN ISO 2409 [1] 52
Tabela 13: Vrednovanje prionjivosti na 6 uzoraka 54