

Antikorozivna zaštita čeličnih konstrukcija

Marić, Zvonimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:685832>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Zvonimir Marić

**ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA ČELIČNIH
KONSTRUKCIJA**

ZAVRŠNI ISPIT

Mentor: prof.dr.sc. Davor Skejić

Zagreb, 2024. godina



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Zvonimir Marić

**ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA ČELIČNIH
KONSTRUKCIJA**

ZAVRŠNI ISPIT

Mentor: prof.dr.sc. Davor Skejić

Zagreb, 2024. godina



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Zvonimir Marić

**CORROSION PROTECTION OF STEEL
STRUCTURES**

FINAL EXAM

Supervisor: prof.dr.sc. Davor Skejić

Zagreb, 2024

SAŽETAK

Glavna tema završnog rada je antikorozivna zaštita čeličnih konstrukcija. Rad obuhvaća obradu teme antikorozivne zaštite kroz metodologiju nanošenja uobičajenih antikorozivnih sustava zaštite te kontrolu kvalitete njihovog izvođenja. Uz opis i obradu osnovnih premisa rada predstavljen je proces nastajanja korozije te čimbenici koji će utjecati na njezin razvoj na čeličnim konstrukcijama. Također, prikazan je i utjecaj samog okoliša u kojem se nalazi konstrukcija na odabir i način nanošenja antikorozivne zaštite. Princip zaštite opisan je kroz dva osnovna načina zaštite tj. pasivnog i aktivnog antikorozivnog sustava. Poglavlja koja se bave obradom pasivne zaštite sadrže detaljan prikaz pripreme površine za pojedini sustav zaštite bez čijeg pravilnog i propisanog izvođenja ne bi bila moguća ni primjena adekvatne zaštite. Osnovni fokus stavljen je na obradu važnih i najčešće primjenjivanih sustava zaštite: bojanja, cinčanja te njihove kombinacije odnosno duplex sustava. Sustavi zaštite te njihovo nanošenje primarno su sagledani iz aspekta oblikovanja i trajnosti obzirom da štetno djelovanje korozije najviše posljedica ostavlja upravo na trajnosti koja je usko povezana s oblikovanjem konstrukcije. Na posljetku se daje zaključak da korozija može biti izuzetno štetna i opasna po čelične konstrukcije te da se moraju temeljno proučiti sve stavke koje utječu na njezin razvoj. Također, vrlo je bitna kvalitetna i temeljita izvedba antikorozivne zaštite jer se na taj način može direktno utjecati na estetiku, trajnost i uporabni vijek čeličnih konstrukcija.

Ključne riječi: čelik, korozija, antikorozivna zaštita, pasivni i aktivni sustav, trajnost

SUMMARY

The main topic of the final exam is the corrosion protection of steel structures. The thesis will cover corrosion protection through the methodology of applying common corrosion protection systems and monitoring the quality of their implementation. In addition to the description and elaboration of the basic premises of the thesis, the process of corrosion formation and the factors influencing its development on steel structures are presented. The influence of the environment in which the structure is located on the selection and application method of corrosion protection is also presented. The principle of protection is described using two main approaches: passive and active corrosion protection systems. The chapters dealing with passive protection contain a detailed description of the surface preparation for each protection system, without which proper and prescribed implementation of adequate protection would not be possible. The focus is on the most important and most frequently used protection systems: painting, galvanising and duplex system. The protection systems and their application are considered primarily from the point of view of design and durability, since the harmful effects of corrosion have the greatest impact on durability, which is closely related to the structural design. In conclusion, it is recognised that corrosion can be extremely harmful and dangerous to steel structures and that all factors affecting its development must be thoroughly investigated. Furthermore, high quality and thoroughly executed corrosion protection is crucial as it has a direct impact on the aesthetics, durability and service life of steel structures.

Key words: steel, corrosion, corrosion protection, active and passive systems, durability

SADRŽAJ

SAŽETAK	i
SUMMARY	ii
SADRŽAJ	iii
1. UVOD.....	1
2. UVJETI OKOLIŠA I PRIPREMA POVRŠINE ZA NANOŠENJE ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE	6
2.1. Definiranje uvjeta okoliša za nanošenje antikorozivne zaštite	6
2.2. Priprema površine za antikorozivnu zaštitu	10
2.2.1. Čišćenje ručnim i električnim alatom	10
2.2.2. Abrazivno pjeskarenje	11
2.2.3. Mokro pjeskarenje	13
2.2.4. Čišćenje vodenim mlazom.....	13
3. PASIVNA ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA.....	14
3.1. Antikorozivna zaštita bojanjem	14
3.1.1. Klasifikacija sustava bojanja	15
3.1.2. Primeri	16
3.1.3. Sustavi i podjela boja	16
3.1.4. Metode nanošenja sustava boja	18
3.2. Antikorozivna zaštita cinčanjem.....	21
3.2.1. Općenito o metalnim presvlakama i proces cinčanja	21
3.2.2. Svojstva cinčanja iz aspekta svojstva trajnosti i oblikovanja.....	23
3.2.3. Obrada spojnih elemenata i svojstva čelika u cinčanju	25
3.3. Duplex sustav	26
3.3.1. Općenito u dupleksnom sustavu zaštite.....	26
3.3.2. Priprema površine za nanošenje dvostrukog premaza.....	28
3.3.3. Nanošenje zaštitnih boja za postizanje dvostrukog sustava	31
4. AKTIVNI SUSTAV ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE.....	32
4.1. Općenito o aktivnoj zaštiti i načini pristupa nepovoljnim površinama	32
4.2. Izbjegavanje vlage, prašine i krhotina	33
4.3. Udubine (nepravilnosti, neravnine).....	36
4.4. Kontakt sa drugim materijalima	37
4.5. Drenaža i ventilacija	39
4.6. Navoji i zavari	40
4.6.1. Navoji	40
4.6.2. Zavari	41

5.	KONTROLA KVALITETE	42
5.1.	Općenito o kontroli, njezinoj važnosti i osobi zaduženoj za provođenje kontrole..	42
5.2.	Priprema površine	44
5.3.	Kontrola i ispitivanje metalnih presvlaka	46
5.4.	Kontrola i ispitivanje zaštitnih boja	47
5.4.1.	Mjerenje mokrog filma (sloja)	47
5.4.2.	Mjerenje suhog filma (sloja).....	49
5.5.	Sigurnost	50
6.	ZAKLJUČAK	51
7.	POPIS LITERATURE	53
8.	POPIS SLIKA	56
9.	POPIS TABLICA	57

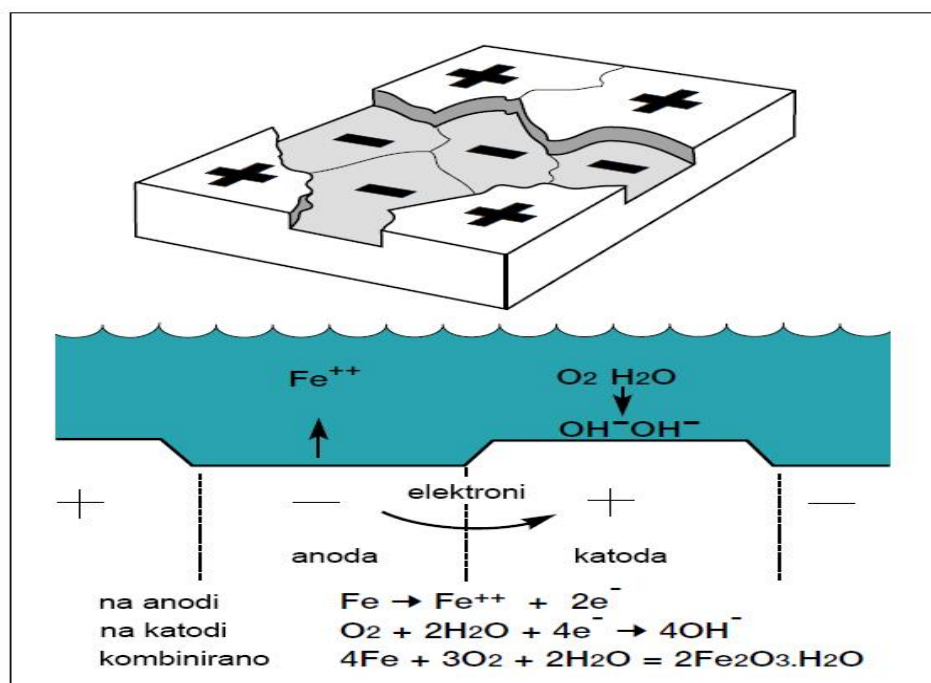
1. UVOD

Sama korozija kao pojava je vrlo česta u raznim građevnih materijalima , naročito čeliku. Ona može biti opasna iz više aspekata te na taj način ugroziti kvalitetu same konstrukcije i u nekim slučajevima dovesti ljudske živote u opasnost. Obzirom da je čelik nezaobilazan materijal današnje građevine moramo ga adekvatno osigurati i zaštititi od negativnih kemijskih i mehaničkih utjecaja kako bi zadržali njegovu kvalitetu i sigurnost. Upravo zbog toga vrlo je bitno u potpunosti razumjeti proces korozije, njegovo razvijanje kao i adekvatno i kvalitetno izvođenje antikorozivne zaštite u svrhu napretka u samoj gradnji sa čelikom. [1]

Koroziju čeličnih konstrukcija najtočnije možemo definirati kao elektrokemijski proces koji zahtjeva istovremenu prisutnost glavnih korozijskih čimbenika vlage i kisika. Definirali smo ih kao takve jer bez prisutnosti samo jednog od njih ne može doći do korozije odnosno oba faktora su jednako važna i potrebna u procesu nastajanja korozije. Elektrokemijski proces korozije u principu jednak je procesu koji se javlja u jednostavnoj elektrolitičkoj ćeliji .Takva ćelija funkcionira na principu dvije spojene elektrode, anode i katode sa vanjskim vodičem. Sam korijen nastanka korozije u čeliku možemo potražiti u njegovoj nestabilnoj termodinamičkoj prirodi. Naime, kao što nam je poznato čelik se dobiva od željeza koji se proizvodi u visokim pećima na principu redukcije ruda kao što je hematit (Fe_2O_3) zajedno sa ugljikom u obliku koksa. Navedeni proces možemo prikazati jednostavnom kemijskom reakcijom : $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightleftharpoons 4\text{Fe} + 3\text{CO}_2$. Prikazan proces odvija se na vrlo visokim temperaturama , no obzirom da je za cijeli proces dovedena velika količina energije dobiveni produkti tj. željezo i čelik ostaju nestabilni i u prisutnosti napomenutih faktora vlage i kisik čelik se nastoji vratiti u svoj izvoran oblik. [2,3]

Korozija se može pojaviti u više različitih vrsta. Nama najbitnija je takozvana opća korozija koja zapravo jedina utječe na čelične konstrukcije. Uz spomenutu opću, ostale vrste korozije na koje nailazimo su rupičasta, pukotinska i bimetalna korozija. [1] Iako se u narednim poglavljima nećemo baviti drugim vrstama korozije zanimljivo je napomenuti pojam bimetalne korozije koja se stvara samo u slučajevima kada su dva različita metala u električnom kontaktu i spojena električno vodljivom tekućinom. Takva se korozija sprječava ukoliko se oba metala nalaze u suhom stanju. S druge strane pukotinska korozija nastaje ukoliko napad na izvorno anodno područje nije zaustavljeno i nastavlja se duboko u metal te tako stvara korozivne rupice. [2] U prethodno opisanim kemijskim procesima korozije dolazi do oksidacije željeza u čeliku što rezultira proizvodnjom hrđe. Ona je zapravo klasičan primjer opće korozije koja nastaje često na građevnim čelicima odnosno najpreciznije ju možemo karakterizirati kao jednu od najučestalijih vrsta same korozije. [3] Dakle glavna razlika između hrđe i korozije je ta što je korozija elektrokemijski proces koji uzrokuje negativne promjene na čeliku odnosno uzrokuje njegovu degradaciju a sama hrđa je jedna od vrsta korozije (opća) koja nastaje na čeliku (i željezu) zbog njegove oksidacije u prisutnosti vode i kisika, dok se naravno pojam korozije veže

i uz druge materijale osim čelika i željeza. [28] Nastala hrđa će zauzeti otprilike 6 puta volumena od originalnog materijala koji će se trošiti u procesu. Hrđu po kemijskom sastavu možemo poistovjetiti sa spomenutom rudom hematitom tj. preciznije bi ju bilo opisati kao hidratizirani oksid. Takve karakteristike nam daju odgovor na pitanje učestalog hrđanja čelika u većini situacija no to nam ipak ne objašnjava brže korodiranje čelika od ostalih kontrakcijskih legura. U proučavanju hrđanja i korodiranja čelika u praksi dolazimo do spoznaja da je osim samog procesa nastanka hrđe važna i brzina hrđanja samog elementa odnosno raznim pokusima je dokazano da će ista legura korodirati različitim brzinama ako je izložena drugačijim uvjetima (npr. komad čelika ostavljen u vlažnoj garaži sporije će hrđati od istog komada koji je ostavljen u vrtu). Posljedično tome dokazano je na određenim primjerima da će različiti metali i legure korodirati različitom brzinom ukoliko su izložene isti uvjetima izlaganja. [1,3]



Slika 1.: Shematski prikaz korozije u čeliku (Izvor: [1])

Osim poznavanja općeg pojma same korozije i njezinog djelovanja u čeliku važno je i proučiti okolinu u kojoj se nalazi konstrukcija koja je izložena koroziji. Ona će uvelike utjecati na tijek širenja korozije kao i na vrstu sustava antikorozivne zaštite koji će biti korišten. O tome nam govori i činjenica da ćemo imati znatno isplativiju antikorozivnu zaštitu ukoliko na početku prepoznamo čimbenike koji utječu na trajnost konstrukcije. [1] Nekad će se konstrukcije nalaziti u nisko rizičnim okolinama stoga će zahtijevati minimalan tretman dok će neke konstrukcije biti izložene izuzetno agresivnom okolišu i zahtijevat će najstroži tretman. Usprkos navedenom, neki nas primjeri željeznih konstrukcija izvedenih u prošlosti uče tome da je unatoč tome što je konstrukcija bila izložena nepovoljnim uvjetima bila na zadovoljavajućoj razini sigurnog korištenja. Riječ je o kultnim željeznim mostovima Forth (dosegao starost od preko 100 godina) i Coalbrookdale (Britanski most koji je preživio preko 200 godina). [1]



Slika 2.: Most Forth (Izvor: [20])

Ipak, danas su dostupni razni kvalitetni i prilagođeni sustavi zaštite u obliku premaza koji nam uz odgovarajuću primjenu i rukovanje omogućuju poboljšanje samih čeličnih konstrukcija i produžavanje njihovog uporabnog vijeka. Kako bi zaštita bila izvedena isplativo i dostojno potrebno je definirati odgovarajuće specifikacije premaza koji će biti korišteni, ali jednaku važnosti treba pridodati i prepoznavanju korozivnosti same okoline u kojoj će boraviti čelična konstrukcija. [3]

Naime postoje određena „pravila“ koja se temelje na prijašnjim iskustvima sa apliciranjem zaštite te praćenje ponašanja konstrukcije s obzirom na svoju okolinu. Ona nam nalažu da ukoliko se predviđeni čelik nalazi u suhom grijanom unutarnjem okruženju tada je takvo okruženje povoljno s aspekta antikorozivne zaštite tj. rizik od korozije nije značajan te ne primjenjujemo nikakve zaštitne premaze. Isto tako vrijedi navesti primjer kada se čelik nalazi u pustinskoj klimi također neće korodirati zbog zraka koji se nalazi u stanju bez vlažnosti. Međutim, ukoliko se promatrani čelik nalazi u agresivnom okolišu tada je potrebna visoka razina antikorozivne zaštite a moguće je i dodatno dizajniranje u svrhu produljenja trajnog vijeka konstrukcije. Kao što je prije napomenuto važno je poznavati i brzinu širenja korozije koja će ovisiti o čimbenicima „mikroklimi“ koji okružuje strukturu. To se u prvom redu odnosi na razinu atmosferskog onečišćenja i vremenu vlažnosti. No, olakotna je okolnost ta što se podaci o brzini korozije mogu generalizirati a to nam omogućuju razne varijacije u atmosferskim okruženjima. [1]

Korozija koja nastaje na čeliku može imati izrazito veliko i uočljivo negativnog djelovanje. Ona predstavlja problem koji se ne smije izbjegavati te se konstrukcija mora zaštititi na odgovarajući način (ukoliko postoji potreba za antikorozivnom zaštitom). Kada korozija u čeliku jednom započne tada je kvar praktički neizbježan stoga je najpoželjnije u startu spriječiti sva moguća daljnjeg širenja. Najveći problem nastaje kada korozija zahvati kritične dijelove konstrukcije jer onda dolazi do najgore vrste oštećenja odnosno onog oštećenja u kojem mogu biti ugroženi ljudski životi. Značajan negativan utjecaj korozije kao direktna posljedica njezinog djelovanja je hrđa. [26]

Prethodno je objašnjeno da hrđa zauzima čak do 6 puta volumena od originalnog materijala i upravo ta karakteristika predstavlja najveći problem djelovanja hrđe. Rezultat takvog širenja volumena može biti savijanje tankih čeličnih dijelova ili limova ukoliko se hrđa pojavi na pukotinama ili preklapanjima elementa. Također, formiranje hrđe ispod slojeva zaštitnih premaza može uzrokovati stvaranje mjehura te pucanje samih zaštitnih premaza. Nepovoljno očitavanje korozijskog djelovanja u čeliku također može rezultirati gubitkom čvrstoće u samoj konstrukciji što nadalje može uzrokovati trajne deformacije i pukotine elemenata i njenih dijelovima. Najgori mogući slučaj je da uslijed gubitka čvrstoće i spomenutih negativnih utjecaja dođe do loma elementa što može uzrokovati nesreće i brojne materijalne gubitke kao i opasnost po ljudski život. [3]

Usko povezano sa objašnjenim gubitkom čvrstoće je gubitak same tjelesne težine čelika što se također negativno reflektira na konstrukciju i njezine dijelove. Fenomen umaranja također se može pojaviti uz istodobnu prisutnost korozije. Razlog tome je zapostavljeno održavanje konstrukcije ili nemogućnost ponovnog čišćenja i obnavljanja zaštite od korozije na spojevima elemenata. Iako bliska povezanost umora i korozije nije dovoljno temeljno proučena poznato da se uz prisutnost korozije smanjuje čvrstoća umaranja što može prouzročiti lom samog materijala. Gubitak materijala uzrokovan korozijom možemo poistovjetiti sa ponašanjem duktilnog materijala sa nukleacijama, rastom i spajanjem sfernih šupljina. [27]



Slika 3.: Primjer hrđanja čelične konstrukcije (Izvor: [21])

Uslijed korozije u zatvorenim prostorima može doći do situacije gdje će ona potrošiti sav raspoloženi kisik stoga se u situacijama gdje je takav scenarij moguć moraju poduzeti posebne mjere opreza. Negativni utjecaji mogu se očitovati i kroz brojna industrijska oštećenja. Primjeri takvih vrsta nedaća su curenje plinova ili tekućina te kontaminacija plinova i tekućina u raznim posudama i cijevima. Također, važno je napomenuti da korozija može prilično negativno utjecati na estetiku i vanjski izgled konstrukcije što kasnije može rezultirati smanjenjem ukupne

vrijednosti čitave konstrukcije. Estetska šteta vidljiva je kroz promjenu boje samog metala i gubitak njegova sjaja. Dakle, loše tretiranje i nedovoljno ozbiljno shvaćanje same zaštite konstrukcija od korozije može se manifestirati ne samo gubitkom osnovnih svojstava čelika već i u smislu zagađenja okoliša, ugrožavanje estetike objekata te u određenim slučajevima i na same financijske i ekonomske grane graditeljstva.[26]

2. UVJETI OKOLIŠA I PRIPREMA POVRŠINE ZA NANOŠENJE ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE

2.1. Definiranje uvjeta okoliša za nanošenje antikorozivne zaštite

Tip zaštite čelike prvenstveno ovisi o klimatskim uvjetima u kojima će se čelik nalaziti odnosno o atmosferi oko objekta, lokalni okolišnim uvjetima, periodu u kojem je građevina izložena i prekrivena elektrolitskim tekućinama. Korozija koja se pojavljuje uslijed djelovanja atmosfere, vode i tla naziva se atmosferska korozija te se ona pojavljuje na površini čelika prekrivena vlagom. Površina će korodirati kada relativna vlažnost bude veća od 80 % , a temperatura iznad 0°. Važno je za napomenuti da ukoliko u atmosferi budu prisutni zagađivači i higroskopne soli do korozije može doći i pri puno manjoj razini relativne vlage. Korozivnost će biti daleko najmanja u hladnim i klimatskim uvjetima, dok je najveća očekivana u vrućim, vlažnim i morskim klimama. Važno je i obratiti pozornost na zagađenje zraka kemijskim česticama kao što su kiseline, soli, organska otpala i sl. koje će nastati kao posljedica specifične uporabe prostora (postrojenja za preradu koksa kiseljenje hrane, galvanizacijska postrojenja itd.).[2,4]

Stupanj korozije pojedinog elementa utjecat će naravno i o njegovoj poziciji u građevini. Konstrukcija može biti konstantno izložena atmosferskim utjecajima, natkrivena ili unutar građevine. Manja izloženost samoj atmosferi značit će i manju brzinu korodiranja elementa dok će se naprezanja od korozije kod djelomično natkrivenih uzimati kao da je ona konstantno izložena. Naravno, osim vanjskih djelovanja na brzinu korodiranja utjecat će i uvjeti u unutarnjem prostoru : loša ventilacija, vlaga i kondenzacija. Za vrstu zaštite često će se morati u obzir uzeti i samu namjenu građevine jer je moguće pojavljivanje dodatnih opterećenje na konstrukcija a samim time i jača zaštita (npr. unutarnji bazeni sa kloriranom vodom, smještaj životinja i sl.). [4]

Vrsta zaštite od korozije ovisit će dakako i o poziciji na koju se konstrukcija ugrađuje. Ukoliko je ona djelomično uronjena u vodu tj. ukopana u tlo korozija će se pojaviti na manjoj površini, ali u visokom stupnju. Korozivnost čelika će utjecati i o tome nalazi li se u slatkovodnoj, bočatoj ili slanoj vodi, postotku kisika u vodi, količini otopljenih čestica i o temperaturi vode. Obzirom na osjetljivost čelika u takvim okruženjima definirana su tri tipa međuodnosa konstrukcije i vode: konstrukcija je stalno u vodi, razina vode varira te je konstrukcija izložena djelovanja vodu i zraka i situacija kada se konstrukcija nalazi u zoni prskanja vode (npr. morski valovi). [2] Što se tiče korozivnosti u tlu važni parametri su sastav tla, količina prisutne organske tvari i zastupljenost vode i kisika u tlu (što je veća prisutnost zraka bit će i veća korozivnost). [4]

Obzirom da je utjecaj okoliša na koroziju čelika izrazit opširan, atmosferske uvjeti klasificirani su u šest kategorija prema stupnju atmosferske korozije (prema normi ISO 9223). Radi se o kategorijama: C1 – jako niska korozivnost, C2 – niska korozivnost, C3 – srednja korozivnost, C4-

visoka korozivnost, C5 – jako visoka korozivnost te CX – ekstremna korozivnost. Čelik se klasificira na način da se njegov uzorak sa niskim sadržajem ugljika i/ili cinka izlaže atmosferskim uvjetima te se mjeri gubitak mase ili debljine kroz period od godinu dana. [1] Poželjno je provoditi ispitivanja u stvarnim uvjetima ili na stanicama za atmosfersku koroziju. Radi se posebno odabranim mjestima najčešće sa industrijskom atmosferom. Obzirom da su ispitivanja dugotrajna često se koriste ubrzana laboratorijska ispitivanja tijekom kojih se korozivno razaranje događa u relativno kratkom vremenu. [26] Ukoliko ispitivanje nije moguće provesti kategoriju korozivnosti određujemo prema normi HRN EN ISO 12944-2 (Tablica 1.) [4]

Tablica 1.: Stupnjevi korozije (Izvor [1])

Kategorija korozivnosti	Gubitak mase po jedinici površine / gubitak debljine (nakon prve godine izloženosti)				Primjeri tipičnih okruženja (Informativno)	
	Čelik sa niskim postotkom ugljika		Cink		Eksterijer	Interijer
	Gubitak mase g/m ²	Gubitak debljine μm	Gubitak mase g/m ²	Gubitak debljine μm		
C1 jako niska	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Grijane građevine sa čistom atmosferom, npr. uredi, trgovine, škole, hoteli.
C2 niska	> 10 do 200	> 1,3 do 25	> 0,7 do 5	> 0,1 do 0,7	Atmosfera sa niskom razinom zagađenja – većinom ruralna područja	Negrijane zgrade gdje može doći do kondenzacije, npr. skladišta, sportske dvorane

C3 srednja	> 200 do 400	> 25 do 50	> 5 do 15	> 0,7 do 2,1	Urbani okoliš i industrijska atmosfera; umjereno zagađenje sumporovim dioksidom; obalna područja sa niskim salinitetom	Proizvodni prostori sa visokom vlažnosti i djelomičnim zagađenjem zraka, npr. postrojenja za preradu hrane, mliječnih proizvoda, pivovare, praonice rublja
C4 visoka	> 400 do 650	> 50 do 80	> 15 do 30	> 2,1 do 4,2	Industrijska područja i obalna područja sa srednjim salinitetom	Kemijska postrojenja, bazeni, obalni brodovi i brodogradilišta
C5 jako visoka	> 650 do 1 500	> 80 do 200	> 30 do 60	> 4,2 do 8,4	Industrijska područja sa visokom vlažnosti i agresivnom atmosferom i obalna područja sa visokim salinitetom	Građevine ili područja u kojima je gotovo uvijek prisutna kondenzacija sa visokim stupnjem zagađenja zraka
CX ekstremna	> 1 500 do 5 500	> 200 do 700	> 60 do 180	> 8,4 do 25	Vodena površina visokog saliniteta, industrijskim područjima ekstremne vlažnosti i agresivnom atmosferom,	Industrijska područja sa ekstremnom vlažnosti i agresivnom atmosferom.

Istom su normom određeni uvjeti konstrukcije koja je u vodi ili tlu (Tablica 2.)

Tablica 2.: Konstrukcija u vodi i tlu (Izvor [4])

Kategorija	Okruženje	Primjeri okruženja i konstrukcija
Im1	Slatkovodna voda	Konstrukcije u rijekama, hidroelektrane
Im2	More ili boćata voda	Konstrukcije pod vodom bez katodne zaštite (npr. lučke konstrukcije poput brana i molova)
Im3	Tlo	Zakopani spremnici, čelične cijevi, čelični piloni
Im4	Morska ili boćata voda	Konstrukcije pod vodom sa katodnom zaštitom (npr. konstrukcije na vodenoj površini)
* Za kategorije koroziivnosti Im1 i Im3, katodna zaštita može se kombinirati sa zaštitom bojanjem		

Tablica 3.: Izračuni vremena za izloženost vlazi (Izvor [4])

Vrsta klime	Srednja vrijednost godišnjih ekstremnih vrijednosti			Izračun vremena izloženosti vlazi na relativnoj vlazi >80% i temperaturi >0°C sati / godišnje
	Niska temperatura °C	Visoka temperatura °C	Najviša temperatura sa relativnom vlažnosti > 95% °C	
Jaka hladnoća	-65	+32	+20	od 0 do 100
Hladnoća	-50	+32	+20	od 150 do 2500
Umjereno hladno	-33	+34	+23	od 2500 do 4200
Umjereno toplo	-20	+35	+25	
Toplo-suha	-20	+40	+27	od 10 do 1600
Srednje toplo-suha	-5	+40	+27	
Jako toplo-suha	+3	+55	+28	
Toplo-vlažna	+5	+40	+31	Od 4200 do 6000
	+13	+35	+33	

2.2. Priprema površine za antikorozivnu zaštitu

Priprema površine vrlo je bitna stavka i smatra se prvim korakom u nanošenju antikorozivne zaštite. Smatrana je najvažnijim čimbenikom koji će se odraziti na konačan uspjeh same zaštite te je od izuzetne važnosti da se iz tog razloga izvede pravilno i adekvatno. Kako bi odabrani premaz ostvario željenu razinu zaštite neophodno je da se ostvari pravilno prijanjanje na materijalnu podlogu. Ostvariti željeni odnos premaza i materijalne podloge često zna biti kompliciran zbog toga što bi se premaz mogao oljuštiti ili odvojiti od površine. Dakle loše prijanjanje može dopustiti proizvodima korozije ili vlazi da podreže sloj premaza u području oštećenja. Međutim, postoje načini koji olakšavaju međusobno prijanjanje površine i premaza u svrhu bolje zaštite. Jedan od tih čimbenika je povećanje površine uz pomoć povećane hrapavosti. To može značiti da bi se površina na koju se veže određeni premaz moglo povećati i do nekoliko puta i samim time olakšati cijeli proces (npr. povećanje površine 2 do 3 puta kod abrazivnog pjeskarenja). [1]

Također, važan čimbenik u cjelokupnom procesu prijanjanja je čvrstoća tj. stabilnost same podloge. Onečišćenja i prepreke koje možemo naći na „slabijim“ površinama mogu stvarati probleme pri nanošenju odgovarajućih premaza. Jedna od takvih prepreka su i ostatci kamenca na čeličnim površinama koji su izrazito nepogodni pogotovo za nove i visokovrijedne premaze. Takvi ostatci moraju je u startu ukloniti metodom abrazivnog pjeskarenja. Ostatci masti i ulja također su onečišćenja koja nalazimo na čeličnim površinama te se isto tako moraju u startu ukloniti procesom pjeskarenja. Oni su opasni jer mogu ostaviti posljedice kao što su znatno oslabljenje ljepljivog spoja premaze pa čak i proširenje kontaminacije na šire područje. Cijeli proces pripreme površine osim čišćenja površine za zadatak ima i uvođenje odgovarajućeg profila koji bi omogućio pogodnije nanošenje zaštitnog sloja. [2,3]

Početu površinu čelika prije bilo kakve daljnje obrade moramo podvrgnuti podijeli u 4 stupnja hrđe. Većina površina spada u povoljnije skupine odnosno skupine A i B. Skupina A predstavlja površinu u koja je većinski prekrivena kamencem no sadrži izrazito mali postotak hrđe dok je skupina B ona na kojoj se pak kamenac postupno ljušti i počinje formiranje hrđe. Skupina C predstavlja površinu sa zahrđalim kamencem koja ostaje blago udubljena pod normalnim vidom dok je u skupini D rupičasta pojava vidljiva i očigledna. Iz promatranja navedenih skupina dolazimo do zaključka kako rupičaste materijale treba izbjegavati (skupine C i D) jer je gotovo nemoguće očistiti sve produkte korozije iz prisutnih rupa u procesu pripreme površine. [3]

2.2.1. Čišćenje ručnim i električnim alatom

Postoji nekoliko načina i metoda pripreme i čišćenja površine pred antikorozivnu zaštitu. Jedan od tih načina je čišćenje ručnim i električnim alatom. Takve metode sadrže dva stupnja čistoće a to su : St2-Temeljito čišćenje ruku i električnih alata i St3-vrlo temeljito čišćenje ruku i

električnih alata. Kada pričamo o čišćenju ručnim alatima govorimo o raznim žičanim četkama i strugačima. Njihova primjena u uklanjanju hrđe i kamenca nije se pokazala kao previše učinkovita. Električni alati ipak su nešto učinkovitiji od samih ručnih metoda no ni one se uglavnom ne upotrebljavaju za rad na nosivim čeličnim konstrukcijama. [1] Procjenjuje se da one mogu ukloniti otprilike 30-50 % hrđe i kamenca što samo po sebi nikako nije dovoljno da bude glavna metoda u koju se treba pouzdati. Električni alati su ipak u današnjim vremenima na nešto veće i modernije grane i takvi alati uz to što se s njima postiže bolja čistoća površine služe i za zadržavanje nastale prašine i otpadaka. Oni nam omogućuju i ekološki prihvatljivije čišćenje površine korištenjem pravokutnim brusilica, rotacijskih abrazivnih lamela i peruksivnih klipnih igala unutar vakuumske plašta. Ipak, obzirom na ograničeni način korištenja spomenutih metoda one uglavnom služe kao alternativne metode na površinama gdje nije omogućeno čišćenje abrazivnim pjeskarenjem. [35]



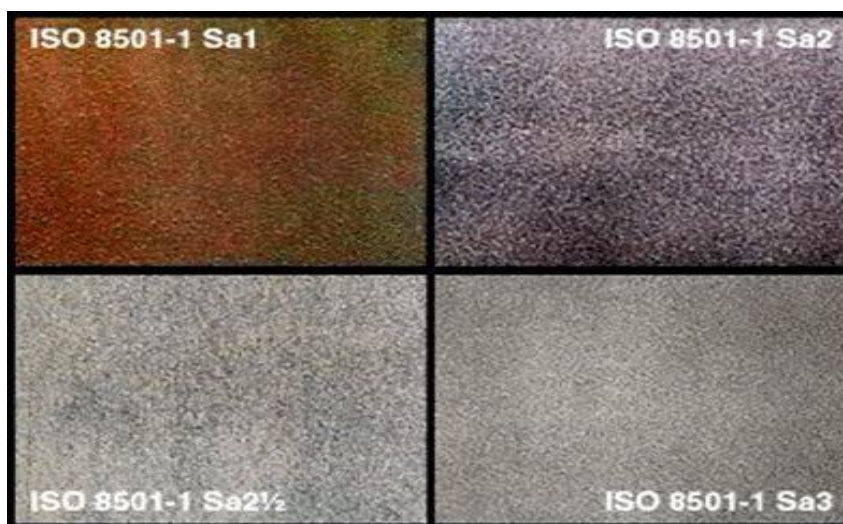
Slika 4.: Primjer čišćenja ručnom četkom (Izvor: [30])

2.2.2. Abrazivno pjeskarenje

Sljedeći način je i najvažniji i u praksi najučestaliji način čišćenja a to je abrazivno pjeskarenje. Sam proces sastoji se od izbacivanja abrazivne čestice koja mogu biti sačma ili pijesak pomoću centrifugalnih impelera velikih brzina ili u mlazu komprimiranog zraka. Metoda sa centrifugalnim impelerom opremljena je kotačima sa radijalnim oštricama na koje se dovodi abraziv. Spomenuti kotači okreću se velikim brzinama i odabrani abraziv se tako baca na čeličnu površinu. Sila kojom udara abraziv na površinu biti će određena veličinom i radijalnom brzinom kotača kojih je uglavnom 4 do 8 konfiguriranih na način da se obradi sva površina

čelika koji se čisti. Takvo čišćenje može biti savršene učinkovitosti u skidanju kamenca i hrđa (čak 100% učinkovit). [1,3]

Abrazivi koji se koriste za ovakvu vrstu čišćenja mogu biti metalni i nemetalni. Metalni abrazivi su većinski su metalne troske i aluminijev oksid dok u skupinu nemetalnih spadaju čelična sačma ili pijesak. Osim vrste korištenog abraziva važna je i veličina njihovih čestica. Razlikujemo fine i grube vrste. Sama veličina čestica utječe na brzinu i krajnju učinkovitost čišćenja. Fine vrsti većinski se koriste za čišćenje niskih čeličnih konstrukcija dok su grube primjenjuju za površine koje su pod velikim utjecajem korozije. Upotrebu abraziva također možemo kategorizirati prema potrebi hrapavosti površine na koju se nanosi premaz. [1] Za termički raspršene metalne premaze i visoko nanosne premaze boje potreban je grubi kutni profil koji postizemo zrnastim abrazivom dok je za upotrebu tankih premaza potreban sačmasti abraziv. Postoji 4 stupnja čistoće za ovakvu vrstu čišćenja a oni su : Sa1-lagano pjeskarenje, Sa2-temeljito pjeskarenje, Sa1/2-vrlo temeljito čišćenje pjeskarenjem i Sa3-čišćenje pjeskarenjem za vizualno čišćenje čelika. [1,35]



Slika 5.: Prikaz 4 stupnja čišćenja površine pjeskarenjem (Izvor: [8])

Površine podvrgnute ovoj vrsti čišćenja treba specificirati u pogledu vizualne čistoće i hrapavosti površine. Opisivani način čišćenja za sobom će ostaviti znatne količine prašine i krhotina koje se naravno moraju ukloniti s obrađene površine. U slučajevima mehaničkih postrojenja uglavnom će postojati mehaničke četke i puhala koje će ukloniti ostatke dobivene čišćenje. Također, za istu potrebu mogu biti korištene metode metenja i usisavanja. No, nakon provođenja navedenih procesa neće uvijek biti jasno vidljiva te je potrebna dodatna provjera. Ona se vrši uz pomoć traka osjetljive na pritisak koje se lijepe na površinu očišćenu pjeskarenjem. [1]

2.2.3. Mokro pjeskarenje

Jedna od varijacija pjeskarenja koju valja napomenuti je i mokro pjeskarenje. U ovom procesu mala količina vode je uvučena u komprimirani abraziv ili strujanje zraka. Takva metoda koristi se na konstrukcijama koje nije moguće očistiti suhim pjeskarenjem. Metoda se pokazala korisnom u čišćenju površine topljivog željeza soli koje u hrđi stvaraju atmosferski zagađivači (kloridi i sulfati). Vrste konstrukcija koje se čiste od opisanog se često nalaze u korozivnim jamama. Ovu metodu uspješno se primjenjuje i na izvan obalnim konstrukcijama i onim konstrukcijama koje se nalaze u izuzetno zagađenom okruženju. [1,5]



Slika 6.: Čišćenje mokrim pjeskarenjem (Izvor: [5])

2.2.4. Čišćenje vodenim mlazom

Metoda koja sve više dobiva na značaju je čišćenja vodenim mlazom ultra visokog pritiska koji iznosi preko 1700 bara. Pogodna je za uklanjanje visokog stupnja topivih soli s površine čelika. Najveća prednost ove metode je ta što ne stvara istrošeni abrazivni materijal i nema nikakvih troškova odlaganja abraziva. Visoki pritisak vode nakon primjene ostavlja toplu površinu s koje ostaci vode brzo suše a pri toplina nije dovoljno visoka da stvori dodatni toplinski stres čeliku. Još jedna pozitivna strana ove metode je njezina ekološka prihvatljivost u odnosu na metode pjeskarenja te se zbog svega navedenog smatra da će u budućnosti ova metoda biti sve više korištena te da će možda i zamijeniti tradicionalne metode pjeskarenja. [1]



Slika 7.: Čišćenje vodenim mlazom ultra visokog pritiska (Izvor: [29])

Ostale metode koje valja spomenuti su čišćenje kiselinom i plamenom.

3. PASIVNA ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA

Prije nego što se dotaknemo definiranja pojedinog sustava zaštite potrebno je razlučiti pojmove aktivne i pasivne zaštite. Naime pasivna zaštita podrazumijeva nanošenje bojanih i metalnih premaza te njihove kombinacije (dupleksnog sustava) na adekvatno pripremljenu površinu. S druge strane aktivna zaštita podrazumijeva rješavanje detalja vezanih za kritične dijelove konstrukcije u samoj fazi projektiranja. [25]

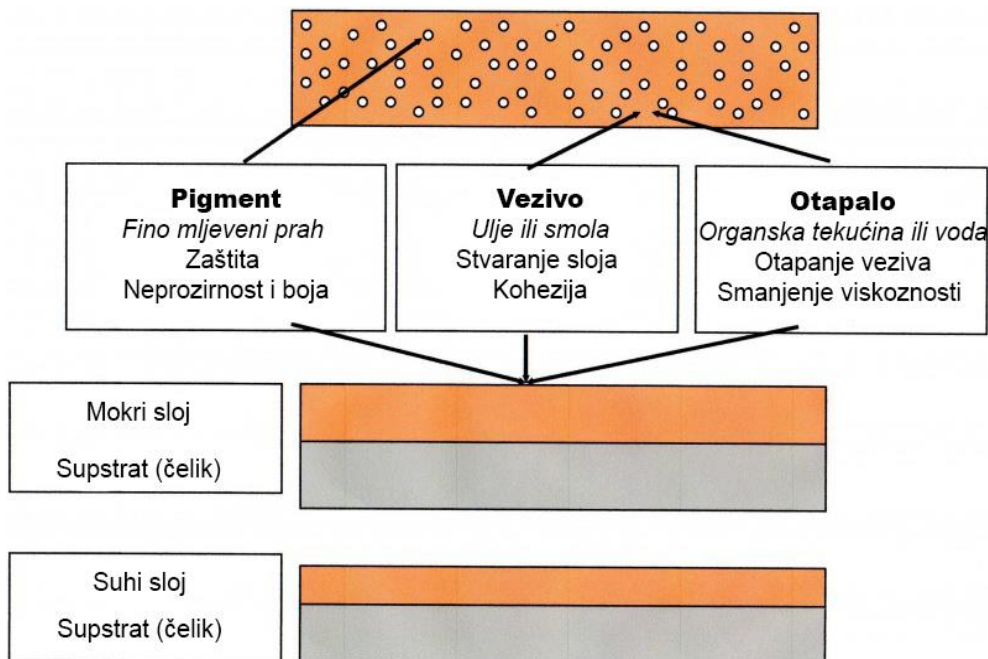
3.1. Antikorozivna zaštita bojanjem

Ovakav sustav najčešće je korišten za zaštitu čeličnih konstrukcija od korozije. On je godinama sustavno razvijan kako bi se uskladio sa industrijskim zakonodavstvom o zaštiti okoliša i kako bi odgovorio na zahtjeve vlasnika mostova i zgrada u smislu povećane trajnosti. Takav je sustav napravljen na temelju miješanja tri glavne komponente :

- 1.Pigmenti - fino mljeveni organski ili anorganski prah koji daje boju i neprozirnost
- 2.Vezivo - Uglavnom smola ili ulje, moguće su i organske kemikalije poput epoksidnih smola ili anorganski spojevi (npr. topljivi silikati). Vezivo stvara film u boji.
- 3.Otapala – služe za otapanje veziva i olakšavanje nanošenja boje. To su većinom organske tekućine ili voda. [1]

Kod nanošenja zaštitnih boja na čeličnim konstrukcijama neizbježna je pojava mokrog filma. Njegova se debljina mjeri pomoću češljastog mjerača i može se provoditi prije nego što upotrijebljeno otapalo ispari. Nakon što otapalo krene u isparavanje na površini ostavlja vezivo

i pigmente te se sukladno sa isparavanjem tvori takozvani suhi film. [38] Njegova se pak debljina mjeri mjeračem elektromagnetske indukcije Odnos debljine mokrog i suhog filma (dft.) može se prikazati sljedećim izrazom: $dft = \text{debljina mokrog filma} \times \% \text{ volumena čvrste tvari}$. Zanimljivo je da je antikorozivna zaštita primjenom boja direktno proporcionalna sa debljinom suhog sloja. Iako smo prethodno govorili o sustavu nanošenja u tri sloja u novije vrijeme sve se više usmjerava ka zaštiti u manje slojeva u kojem će biti povećane debljine pojedinačnih slojeva. Postojeći primjeri takvih sustava su epoksidni i poliesterski premazi od staklenih ljuskica. Oni su dizajnirani za veliku debljinu jednog ili dva sloja kao i za jednoslojni uretanski premaz čija debljina iznosi 1000 μm . [3]



Slika 8.: Shematski prikaz slojeva boje i njihove funkcije (Izvor: [1])

3.1.1. Klasifikacija sustava bojanja

Obzirom da sustavi boja sastoji od tri prethodno opisana sloja samu boju ćemo klasificirati prema pigmentaciji samih boja ili vrsti odabranog veziva. Međupremaze i završne slojeve klasificirat ćemo prema njihovom vezivu (epoksidi, uretani itd.). Klasifikacija primera pak se obavlja preko glavnim pigmentima koji će inhibirati koroziju i koristiti se u njihovim formulacijama (npr. cink-fosfatni primer). Takvi se inhibicijski pigmenti mogu ugraditi u niz vezanih smola te će na kombinacija na posljetku dati rezultate u vidu cink – fosfatnih temeljnih epoksidnih i sličnih premaza. [1,38]

3.1.2. Primeri

Glavna svrha spomenutih primera je izravno nanošenje na površinu čelične konstrukcije te ju navlažiti kako bi se postiglo dobro prijanjanje za naknadno nanese slojeve. Razlikujemo dvije osnovne vrste primera. Prva od njih su primeri koji su pigmentirani metalnim elementima anodni prema čeliku. Oni funkcioniraju na način da ukoliko dođe do pojave pukotine uslijed raznih oštećenja koja će na svojstven način izložiti čeličnu podlogu tada anodni metal „žrtveno“ korodira umjesto samog čelika. Na taj način uspješno se sprječava korozija čelika i hrđanje postojećeg primera sve dok se ne iscrpi anodni metal. [3]

Najčešće korišteni primeri ove vrste su primeri bogati cinkom. Druga od dviju vrsta su primeri koji se temelje na visokoj adheziji i na kemijskoj otpornosti veziva. Spomenutim primerima postizemo dobru adheziju i dovoljno su pogodni kako bi spriječili hrđanje pukotina nastalih pri oštećenju. Također povoljni su zato što mogu sadržavati inhibicijske pigmente koji će ometati proces korozije. Karakteristična vrsta ovakvih primera je dvokomponentni epoksidni primer. Uz prethodno opisane standardne vrste primera nužno je navesti da postoje i vrste takozvanih predfabriciranih primera. Oni se odnose na shop-primere, zavarivačke primere, privremene primeri i sl. Koriste se na čeličnim konstrukcijama neposredno nakon pjeskarenja kako bi održali površinu čistom odnosno u stanju bez hrđe. Postoje određeni zahtjevni koji se moraju poštovati od ovakvih primera a oni nalažu da primer mora biti sposoban za nanošenje raspršivanjem bez zraka u svrhu dobivanja tankog ravnomjernog premazivanja. Nadalje mora imati sposobnost brzog sušenja kako bi se zaštili vrhovi profila. Potrebno je voditi računa da standardni postupci koji se provode na čeličnim konstrukcija kao što su zavarivanje i rezanje ne smiju biti ometani temeljnim premazom i dimovi izvedenih zavara ne smiju prelaziti odgovarajuću vrijednost granice izloženosti. [2,3]

Naravno na posljatku ono nezaobilazno je da primer osigura odgovarajuću zaštitu. Možemo ih klasificirati na sljedeće vrste : Primeri za jetkanje, epoksidni primeri, cink epoksidni primeri (stvaraju filmove koji sadrže 80% udjela metalnog cinka u prahu te reducirani cink od samo 55% vlastite težine) i cink silikatni primeri.

3.1.3. Sustavi i podjela boja

Važna je stavka u primjeni zaštite bojanjem ta da svi slojevi koji su nanese moraju biti međusobno kompatibilni te preporučljivo da su od istog generičkog tipa , no postoje i oni različitog tipa kao na primjer poliuretanski završni premaz koji se može koristiti pri nanošenju na epoksidne temeljne premaze i međuslojeve. U skladu sa rečenim, mora se voditi računa da su korišteni sustavi dobavljeni od strane istog proizvođača te da su korištene u skladu sa propisanim pravilima istog. [2]

Kao što je već definirano boja se nanosi u nekoliko slojeva. Prvo dolazi opisani primer koji se postavlja izravno na prethodno očišćenu površinu i vlaži ju te mora osigurati dobro međusobno

prijanjanje slojeva koji će biti naknadno nanoseni. Nakon njih dolaze međuslojevi koji možemo izvoditi u nekoliko slojeva i njihova je glavna svrha da se postigne ukupna debljina filma sustava. Na poslijetku dolazi završni sloj koji predstavlja prvu liniju zaštite od okoline u kojoj boravi konstrukcija te daje konačan izgled nanesenom sustavu. Važan faktor u ovakvih sustavima je i debljina suhog filma. Postoji nominalna i minimalna vrijednost njegove debljine. Pojedinačne nominalne vrijednosti moraju varirati između 80-100% pod uvjetom da njihova srednja vrijednost bude jednaka ili veća od one nominalne. Kod kategoriziranja minimalne debljine posebna se pažnja mora obratiti da debljina filma ne bude prekomjerna jer se to u konačnici može reflektirati stvaranjem dodatnih naprezanja i kvara sustava. [38]



Slika 9.: Dijagram prikazuje sustav nanošenja opisanih slojeva na očišćenu površinu (Izvor: [1])

Postoje tri glavna sustava boja. Prvi od njih su boje sušene na zraku na bazi ulja i alkida. Ovakva vrsta je ograničena na vrlo tanke debljine filmova i jednom kad se film formira ima ograničenu otpornost na otapala i slabu kemijsku otpornost. Baziraju se na tome da se materijale suše i tvore film pomoću oksidacije koja podrazumijeva apsorpciju kisika iz atmosfere. Zatim, sustav jednokomponentne boja otpornih na kemikalije. Ovdje se film stvara pomoću isparavanja otapala te nema nikakvog oksidacijskog procesa. Nanose se kao filmovi srednje debljine iako se može javiti problem zbog zadržavanja otapala u filmu na gornjem kraju raspona. Navedeni formirani film relativno je mekan i slabo je otporan na otapala no ima dobru otpornost na kemikalije. Treća vrsta boja su dvokomponentne boje otporne na kemikalije (epoksi, uretan). Ovakvi sustavi uglavnom se nanose kao dvije zasebne komponente naziva baza i sredstvo za stvrdnjavanje. Kada se obje komponente pomiješaju neposredno prije upotrebe dolazi do kemijske reakcije što znači da će biti ograničene vremenom u kojem se takav premaz treba primijeniti na čelik. Nakon nanošenja boja i isparavanja otapala polimerizacijska reakcija se

nastavlja u svrhu stvaranja gusto umreženog vrlo tvrdog filma koji je otporan na otapala i kemikalije. [38]

3.1.4. Metode nanošenja sustava boja

Postoji 4 najčešće primjenjive metode nanošenja ovakvih sustava. Te metode odnose se na postavljanje boje kistom, valjkom, zračnim raspršivanjem i raspršivanjem bez upotrebe zraka. Način na koji će njihovo nanošenje biti izvedeno uvelike će utjecati na samu kvalitetu i trajnost premaza te posljedično tome utjecat će i na samu trajnost konstrukcije. [1]

Primjena sustava boja uz pomoć kista daleko je najjednostavnija metoda. Ona u širokoj primjeni zbog neisplativosti primjene na velike površine. No, pozitivna strana ove metode je ta što se može uspješno primjenjivati na malim i ograničenim prostorima na koje neke složenije metode ne mogu adekvatno doprijeti te također pruža bolje vlaženje same površine.



Slika 10.: Nanošenje zaštite boje kistom (Izvor: [32])

Postupak bojanja valjkom također je vrlo jednostavan i primjenjiv je za nanošenjem boje u zatvorenim područjima kao što su stanovi. On zahtjeva posebna reološka svojstva boje i nije ga poželjno koristiti za nanošenje temeljnog premaza. [3]



Slika 11.: Nanošenje zaštite valjkom (Izvor: [33])

Metoda koja je puno primjenjivija od prethodne dvije i pruža bolju zaštitu je metoda zračnim raspršivanjem boje. Kapljice koje nastaju raspršivanjem boja dolaze na površinu čeliku i stvaraju kontinuirani film. Cijeli proces odvija se pomoću pištolja za nanošenje boje a temelji se na miješanju boje sa strujom komprimiranog zraka. Boja se može unijeti u pištolj za prskanje pod pritiskom iz tlačne posude ili se usisava u struju zraka po principu jednostavnog vakuumske pištolja sa čašom. Važna stavka ovakve vrste zaštite je upravo rukovoditelj samog nanošenja boje. Naime, njegova uloga je takva da mora prilagoditi raspršivanje boje s obzirom na samu konzistenciju sredstva te pritom paziti da se zadovolji tražena debljina filma. Ova metoda iako je bolje od prethodne dvije nije naročito ekonomski isplativa jer za vrijeme korištenja ostaje previše rasipane odnosno neiskorištene boje. [38]

Četvrta metoda tj. raspršivanje boje bez upotrebe zraka ujedno je postala i najpopularnije i korištenije metode za nanošenje zaštitne boje na čelične konstrukcije. Izvodi se u kontroliranim uvjetima u radionici. Kako bi se postiglo širenje bez zraka potrebno je hidraulički kompromitirati boju koja će se naknadno projicirati na površinu ispuštanjem kroz mali otvor u pištolju. Oprema koja se koristi za ovakvu metode znatno je skuplja od prethodnih jer mora izdržati puno veće pritiske. Hidraulički tlakovi koji su potrebno za ovu metodu znatno su veći od onih potrebnih za zračno raspršivanje i iznose do 280 bara. Ovom metodom možemo postići širok raspon stope taloženja zbog mogućnosti velikog raspona konzistencije boje. Umjesto razrjeđivača prisutno je zagrijavanje kako bi se smanjila konzistencija boje. Iako je ova metoda vidno skuplja od ostalih njezina je cijena ipak opravdana jer omogućuje kvalitetnu zaštitu velikih i važnih čeličnih konstrukcija. [2]



Slika 12.: Nanošenje zaštite raspršivanjem boje bez zraka (Izvor: [30])

Uvjeti koji će imati najveći utjecat na nanošenje zaštite bojama su temperatura i vlažnost. Oni će se iz raznih razloga lakše kontrolirati u uvjetima trgovine nego na samom gradilištu. Zagrijavanje se izvodi samo po potrebi neizravnim metodama iz razloga što temperatura zraka i čelika izravno utječu na bitne faktore kao što su vrijeme sušenja i stvrdnjavanja, isparavanje otapala, svojstva četkanja itd. Također, nanošenje boja nije dozvoljeno ukoliko je relativna vlažnost atmosfere takva da ima mogućnost utjecaja na nanošenje i sušenje samih premaza. Uz to, na boji ne smije bit prisutna kondenzacija čelične površine. Da bi se ti uvjeti zadovoljili uglavnom se nastoji uz pomoć termometra provjeravati temperaturu čelika i održavati ju 3°C iznad točke rosišta. [3]

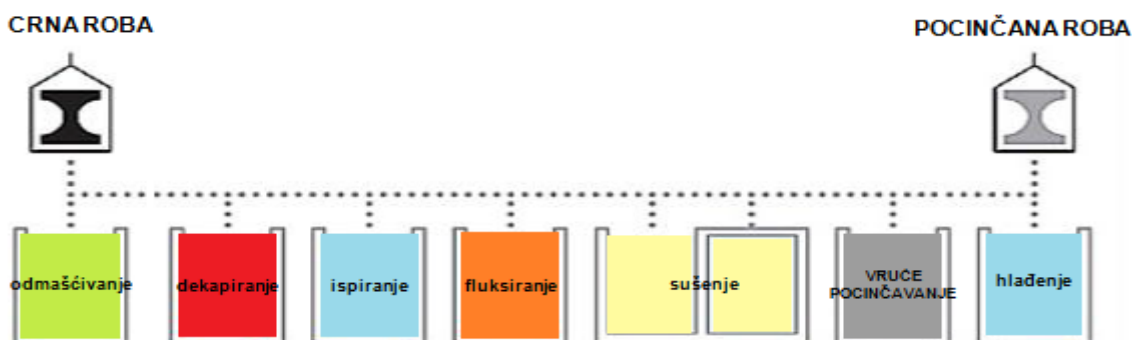
Naravno kako se cijeli sustav bojanja razvija i napreduje s vremenom pravilno nanošenje i rukovanje vrlo je važno i nezaobilazno za postizanje željene i uspješne zaštite. Postoji i cijeli razvijeni sustav sheme za obuku i certificiranje aplikatora boja. Skraćeno, takav sustav obuke nazvan je ICATS (shema obuke za aplikatore industrijskog premaza). Registracije u ICATS postala je nezaobilazan uvjet za vršenje radova na željezničkim mostovima i nacionalnim autocestama. Navedena shema za apliciranje boja sastoji se od 6 osnovnih modula: zdravlje i sigurnost, pristup stranici, postrojenje i oprema, priprema podloge, vrste boja i primjena i kontrola kvalitete. Uz 6 osnovnih modula postoje i 2 dodatna odnosno čišćenje abrazivnim pjeskarenjem i bojanje sprejom. Pokazalo se da je ICATS shema izuzetno korisna metoda obuke i omogućila je izvođačima poboljšanje performansi takvih premaza i smanjenje samih troškova cijelog životnog vijeka. [2]

3.2. Antikorozivna zaštita cinčanjem

3.2.1. Općenito o metalnim presvlakama i proces cinčanja

Pasivna vrsta antikorozivne zaštite često se izvodi i uz pomoć sustava metalnih presvlakama. U takvu vrstu zaštite ubrajamo vruće cinčanje i termičko raspršivanje koje ujedno i koristimo za zaštitu čeličnih konstrukcija te galvaniziranje i šerardizacija koji su uglavnom korišteni za armaturu, razne spojne elemente te ostale manje predmete. Najveći utjecaj na nanošenje ovakve zaštite imat će izbor metalne presvlake i njegova debljina. Osim kod zaštite termičkim raspršivanjem, način nanošenja neće imati značajan utjecaj na ovu metodu. Vruće cinčanje je vrlo učinkovita i ekonomična metoda i smatra se najkorištenijom od svih vrsta zaštite metalnom presvlakom. Vrlo je primjenjiva kod čeličnih mostova kako bi se zaštitili ležajevi, vijci i priključci, dilatacijske spojnice, parapeti, obložene ploče itd. Ona se bazira na premazu od cinka koji je štiti na način da se sporo troši i tako omogućava konstrukciji dulju trajnost. [1,6]

Sam proces cinčanja sastoji se od 5 nezaobilaznih faza. Prva podrazumijeva uklanjanje ostataka površinskih masnoća i ulja pomoću valjanih sredstava za odmaščivanje. Potom slijedi uklanjanje hrđe i kamenca pomoću inhibirane solne kiseline. Iako je moguće prvo čišćenje površine izvesti pjeskarenjem, proces cinčanja zahtjeva naknadno uklanjanje tj. čišćenje površine kiselinom. Temeljno očišćeni čelik potom se uranja u otopinu fluksa kako bi se tijekom uranjanja ostvario bolji kontakt između cinka i čelika. [3] Sama operacija fluksiranja uklanja tragove oksida sa površine i omogućava rastopljenom cinku da vlaži čelik. Kada se završi fluksiranje čelika slijedi njegovo uranjanje u rastaljeni cink na vrlo visokim temperaturama od 450 °C. Pri takvim temperaturama čelik reagira sa rastaljenim cinkom kako bi se razvila legura cinka na njegovoj površini. [2]



Slika 13.: Shematski prikaz procesa cinčanja (Izvor: [13])

Uobičajeno vrijeme uranjanja čelika iznosi između 4 ili 5 minuta no ono može bit i duže za teže predmete visoke toplinske inercije ili u slučajevima gdje cink mora prodrijeti u unutarnje prostore dijelova konstrukcije. Ukoliko duljina dijela koji uranjamo premašuje ukupnu

raspoloživu duljina kupke tj. prostora u kojem se uranjanje odvija postoji mogućnost takozvanog dvostrukog uranjanja gdje kraj jednog predmeta uranjamo ispred drugog. Maksimalna dužina dozvoljena za proces dvostrukog uranjanja iznosi 28 metara dok se trenutno najveći spremnik nalazi u Ujedinjenom Kraljevstvu i dugačak je 21 metar. Maksimalna dozvoljena težina dizanja elementa ili dijela konstrukcije je 16 tona. Treba napomenuti da su nakon procesa uranjanja površine čelika jednoliko obložene sa legurom cinka te zajedno sa njegovim slojevima tvore metaluršku vezu sa podlogom. [6]

Brzinu reakcije između čelika i cinka možemo opisati kao paraboličnu s vremenom što znači da je početna stopa reakcija vrlo brza i se može vidjeti određen „poremećaj“ u tekućini cinka. Za vrijeme ovakvih reakcija formira se glavna debljina premaza za zaštitu. Premaz koji dobivamo ovakvim procesom bit će prilično čvrst i izdržljiv te će služiti kao katodna odnosno žrtvena zaštita svim manjim oštećenim područjima gdje je čelična podloga izložena. Također, žrtvena zaštita spriječit će bočno puzanje hrđe kod velikih izloženih površina. Debljina proizvedenog premaza ovisit će o sadržaju silicija u čeliku i o vremenu uranjanja čelika. Prosječna debljina onih premaza koji se koriste za zaštitu čeličnih konstrukcija uglavnom iznosi 85 μm . Za deblje čelične dijelove i dijelove koji su čišćeni pjeskarenje debljine sežu do 140 μm . [3]

Deblje premaze možemo postići na dva način. Prvi je povećanje hrapavosti površine za postizanje željene debljine. Veću hrapavost pak postizemo pjeskarenjem čelične površine prije samog uranjanja do stupnja Sa1/2 pomoću ohlađenog kutnog čeličnog zrna veličine G24. Na taj se površina čelika koji je u kontaktu sa cinkom ogrubljuje i povećava. Ovakav način najčešći je kod postizanja željene debljine. Druga metoda uključuje korištenje reaktivnih čelika te nam ona govori da ćemo veću debljinu postići ukoliko su produkti za uranjanje proizvedeni iz reaktivnih čelika. Sastojci koji će imati najveći utjecaj na reakciju cinka i čelika su fosfor i silicij koji će mijenjati sastav sloja legure cinka i željeza na način da slojevi nastavljaju rasti. Stopa rasta ne usporava kako premaz postaje deblji. [17]

Nakon procesa cinčanja čelik poprima primjetan kristalan metalni sjaj koji je jedna od glavnih karakteristika ovakvog načina zaštite. Takav izgled postizemo skrućivanjem sloja rastaljenog cinka koji je prilikom procesa izranjanja iz kupke zauzeo položaj na vrhu sloja legure. Uvjeti pogona u kojima se vrši proces cinčanja kao što su temperatura, vlaga i kvaliteta zraka nemaju značajan utjecaj na krajnju kvalitetu pocinčane prevlake. [35]



Slika 14.: Izranjanje čelika iz kupke – karakterističan sjajan izgled (Izvor: [22])

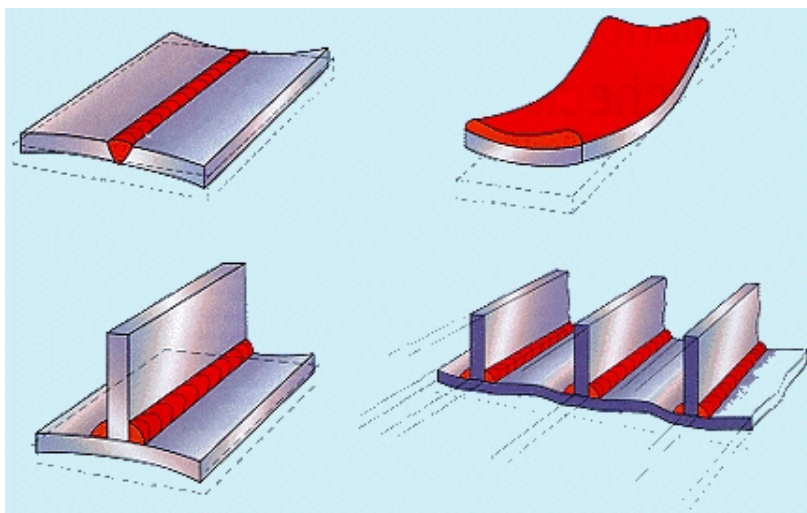
3.2.2. Svojstva cinčanja iz aspekta svojstva trajnosti i oblikovanja

Sam proces cinčanja izuzetno je važan i koristan sa strane kvalitete samih konstrukcija i produljivanja njihovog životnog vijeka. Premazi koji se postignu cinčanjem su vrlo čvrsti i otporni na abraziju što samim time znači da će biti manje štete na gradilištu što će naravno rezultirati bržem i efikasnijem podizanju željene konstrukcije. [35] Također, koncipirani su na način da im je vanjski sloj relativno mekan te je njegova zadaća da na sebe primi i preuzme veći dio početnog šoka tj. udara koji se pojavi. Ostali slojevi premaza znatno su tvrdi, često tvrdi i od same osnovne strukture čelika koji štite, i u kombinaciji sa početnom slojem daju čvrst premaz koji dobro štiti čeličnu konstrukciju od raznih mehaničkih oštećenja. [6] Proces cinčanja razlikuje se od ostalih vrsta zaštite po tome što se u takvom procesu nastoji postići koheziju čelične površine dok ostali uglavnom pripremaju čelik za postizanje adhezije. Takvo kohezijsko stanje postiže se pomoću reakcije cinka i željeza koji će formirati niz legura te će se postići takav premaz koji će biti sastavni dio površine sa pripadnom kohezijom. Vrsta antikorozivne zaštite kao što je cinčanje zahtjeva posvećivanje posebne pozornosti dizajnu konstrukcijskih komponenti. Konkretno, govorimo o stavkama poput lakoće punjenja, odzračivanja i pražnjenja te mogućnosti deformacije. [1]

Potrebni radovi i zahvati koje treba izvesti kako bi potrebna prevlaka bila osigurana su predviđanje osiguravanje rupi u šupljinama (npr. cijevi i pravokutni šuplji dijelovi) kako bi se omogućio pristup rastaljenom cinku te ventilaciju vrućih plinova i sredstvo za pristup i odvodnju rastopljenog cinka. Posebno treba istaknuti je izvođenje pravilne ventilacije za ispuštanje vrućih plinova jer nedovoljna ventilacija može dovesti do eksplozije raznih komponentni šupljih dijelova koja će se uglavnom odvijati unutar odgovarajuće kupke sa cinkom. [2]

Još jedna od nepovoljnih pojava koja se može ukazati tijekom cinčanja je distorzija odnosno svojevrsno izobličenje dijelova čeličnih konstrukcija. Ukoliko uslijed cinčanja dođe do takve pojave uglavnom ju možemo pripisati otpuštanju od prije postojećih naprezanja u elementu jer se čelik zagrijava do temperature propisane za postupak cinčanja. Naprezanja mogu biti ona svojstvena čeliku a također mogu biti uvedena zavarivanjem, bušenjem, ravnanjem i hladnim oblikovanjem. Djelovanje takvih naprezanja može se smanjiti ili suzbiti u samoj fazi projektiranja. Neki od načina i preporuka su sljedeći : izbjegavanje tankih ploča sa ukрутama, raspoređivanje zavarenih šavova simetrično te svesti njihovu veličinu na minimum, izbjegavanje velikih promjena u poprečnom presjeku elementa koje imaju sposobnost povećanja distorzije ili toplinskog naprezanja u procesu cinčanja, preporuka korištenja isprekidanih zavara te upotreba uravnoteženog postupka zavarivanja i što veće korištenje simetričnog dizajna. [17]

Od navedenih poseban utjecaj na samo cinčanje ima korištenje isprekidan zavara zbog toga što pruža brojne pogodnosti kao što su smanjenje same distorzije, smanjenje mogućnosti neventiliranih šupljina i dopuštanje cinku da prekrije sve površine koje je potrebno zaštititi. Uz navedene štete koji mogu nastati postoji naravno i mogućnost oštećenja manjeg dijela površine samog premaza. Većinom se oštećenje događa tijekom izgradnje i montiranja konstrukcije prilikom rezanja ili zavarivanja. Odgovarajuća i valjana antikorozivna zaštita u takvom će se slučaju postići nanošenje dodatnog popravnog premaza odnosno premaza koji sanira nastalo oštećenje minimalne debljine 85 μm . [17]



Slika 15.: Distorzija čeličnih elemenata (Izvor: [14])

Promatranjem ponašanja čelika za vrijeme i nakon cinčanja utvrđeno je da postoji mogućnost pojave povremenog pucanja čelika od zavara ili drugih detalja konstrukcije tijekom ili neposredno nakon cinčanja. Ovakva vrsta oštećenja kategorizirana je kao pucanje

potpomognuto tekućim metalom (skraćeno LMAC). Ono ovisi o međusobnom odnosu pripadnih naprezanja te o lokalnim uvjetima materijala (npr. tvrdoća) u trenutku kada je konstrukcija izložena tekućem cinku. Budući da su faktori koji utječu na LMAC podložni značajnim varijacijama ovaj je problem najbolje shvaćen tako što se promatra sa statičke strane odnosno utvrđivanje u kojim okolnostima postoji značajan rizik. Kako bi se ovakav problem izbjegao preporuča se obavezan pregled nakon samog cinčanja. U većini slučajeva vizualan pregled će biti dovoljan za otkrivanje potencijalnog problema no nešto detaljniji pregled preporučen je za kritične detalje konstrukcije. Ukoliko dođe do pojave ovakvog pucanja sama sanacija i popravak često nije ekonomičan i praktičan. [19]

Ipak, nije u svim slučajevima rješenje skidanje i ponovno cinčanje oštećenog dijela konstrukcije nego je određenu dio štete moguće sanirati dubljenjem i ponovnim zavarivanjem uz adekvatno ispitivanje nakon provođenja navedenih postupaka. Mogućnost pojave LMAC-a nije bezazlena te je ne treba shvaćati olako zato što može predstavljati problem kod komponenata koji su ključne u kasnijem uspostavljanju cjelokupne konstrukcije. [19]

3.2.3. Obrada spojnih elemenata i svojstva čelika u cinčanju

Vijci, matice i podložne pločice koje su izložene oštećenju također moraju biti adekvatno zaštićeni na jednakoj razini kao i element na kojem se nalaze. Iz tog razloga zaštita elementa izvodi se nakon što je u cijelosti sastavljen sa svim pripadnim spojnim elementima. Ipak, spojni elementi poput matica i vijaka zahtijevaju i kratkoročnu zaštitu od korozije tijekom procesa izgradnje i sastavljanja i prije nanošenja pripadajuće zaštite. Takva se zaštita postiže metalnim presvlakama elemenata tijekom njihove proizvodnje. Najveća i najbolja razina zaštite takvih elemenata postiže se specificiranjem vruće pocinčanih matica, vijaka i pločica (općenito sve matice, vijke i pločice promjera do 8 mm možemo pocinčavati) zbog znatnog debljeg zaštitnog premaza u usporedbi s ostalim slučajevima zaštite (npr. šerardizacije). [3]

Cinčanje standardne vrste navoja (ISO), bilo unutarnjeg ili vanjskog, zahtjeva dodatni razmak koji mora biti 4 puta veći od debljine premaza. Zato se u praksi standardne vijek u zalihama potpuno cinča dok su matice pocinčane kao slijepe i urezane do 0,4 mm veće veličine (na posljetku se lagano naulje). [1] Kada se spoje navoj matice zaštićen je kontaktom sa premazom na vijku. Ispitivanja u samom institutu za zavarivanje pokazala su da je visokokvalitetne varove možemo izvesti na pocinčanom čeliku i da su savojna, vlačna i zamorna svojstva takvih zavara vrlo slična onima na čeliku koji nije bio podvrgnut cinčanju. Unatoč navedenom preporuča se zavarivanje cinčanom dijela ostaviti kao zadnju opciju te je najbolje odvojiti odnosno maknuti cink od lica fuzije. Razlog tomu je moguće negativno djelovanje cinka na zdravlje ljudskog organizma. [6]

Iako je cink neophodan element koji se nalazi u ljudskoj ishrani a samim time i u ljudskom tijelu međutim udisanje svježije formirane pare cinkovog oksida uzrokuju posljedice za ljudski

organizam u vidu dimne groznice koja se na čovjeka odražava slično kao i gripa. Zbog navedenih razloga razinu dima treba održavati unutar granica prihvatljive razine što se postiže osiguravanjem ekstrakcije kada se zavarivanje čelika odvija u ograničenim prostorima. Također, kvaliteta čelika treba se uskladiti sa cijelim postupkom cinčanja. Određena istraživanja (provedena u Njemačkim institutima) dokazuju da žilavost čelika utječe na razvoj pukotina tijekom cinčanja. Odnosno, dokazano je da razvoj pukotina u čelicima S235 do S460 raste s smanjenjem žilavosti. [3]

Neki od prikladnih profila koji se preporučaju su valjani profili, konstrukcijski šuplji profili te ploče i šipke koji su u skladu sa odgovarajućim standardima. Naravno postoje i određene vrste čelika koji nisu prikladni odnosno koji imaju veći rizik od pucanja a to su : čelici za kaljenje i poboljšanje, čelici visokih stupnjeva čvrstoće (>355 MPa), hladno oblikovani šuplji profili i čelici otporni na atmosferilije. Posebnu pažnju treba obratiti na cinčanje hladno obrađene sekcije zbog visoke razine zaostalih naprezanja kao i materijala visoke tvrdoće ili većih vrijednosti ekvivalentnih ugljika jer je kod takvih rizik od pojave spomenutog LMAC-a znatno veći. Upravo iz navedenih razloga i same specifičnosti cijelog procesa čelik koji će biti podvrgnut pocinčavanju mora imati poznatu kemijsku analizu. [19]

3.3. Duplex sustav

3.3.1. Općenito u duplesnom sustavu zaštite

U jako se puno slučajeva cinčanje koristi kao samostalna zaštita, no zbog dodatnih zahtjeva za učinkovitiju zaštitu, pogotovo u vrlo izloženim i agresivnim okolinama primjenjuju se i dodatni premazi boja na već pocinčanom čeliku. Takva zaštita koja se temelji na kombinaciji premaza boja i cinčanja naziva se duplex sustav. [17] Osim sa sustavom boja, duplesni je sustav moguće postići i sa premazima u prahu koji će također pružiti izvrsnu otpornost na koroziju. [5] Duplex je specifičan po tome što je prije nanošenja boja na prethodno pocinčane premaze potrebna posebna obrada i čišćenje površine. Ti postupci podrazumijevaju primjenu čišćenje površine pjeskarenjem kako bi postigli traženu hrapavu površinu te korištenje posebnih primera za jetkanje ili proces zvan „T“ pranje koji se baziraju na zakiseljenoj otopini dizajniranoj na način da reagira sa površinom čelika i na taj način osigura vizualnu indiciju učinkovitosti (u nastavku su temeljno objašnjeni koraci i načini pripreme, čišćenja i profiliranja površina). [17]

Duplex sustav ispostavio se izuzetno korisnim iz više aspekata a najvažniji pokazao se onaj u vidu trajnosti antikorozivne zaštite. Naime, nanošenjem odgovarajućih sustava visokoučinkovitih zaštitnih boja dodatno se produljuje životni vijek pocinčanog premaza. Osim toga dokazano je da i sam sustav boja za antikorozivnu zaštitu ima produljen vijek trajanja ukoliko se nanosi na pocinčanu površinu a ne direktno na čelik. [1]

Dužni životni vijek sustava koji se sastoji od kombinacije premaza cinka i boja u odnosu na zbroj očekivanog vijeka trajanja zaštite bojom ili cinkom kada se nanose samostalno naziva se singerski učinak. Razlog ovakvog povećanja životnog vijeka je manja razlika u volumenu između proizvoda korozije cinka i metalnog cinka u odnosu na proizvode korozije željeza i čelika. Naime kada korozivna okolina dospije u cink na oštećenom ili istrošenom području na površini zaštitnih boja podizanje boje u takvim je situacijama znatno manje ili ga uopće nema dok bi kod sustava gdje se nanosi isključivo zaštitna boja bilo kakav vid neispravnosti boje tj. oštećenja uzrokovao koroziju čelične površine što naknadno uzrokuje širenje korozijskog pucanja ispod boje tj. takozvano pod filmsko korozijsko pucanje. Dupleksni sustav sprječava takvo ponašanje pomoću sloja cinka koji zatvara pore u gornjem sloju boje na način da imigrira u njega. Drugim riječima cink podupire boju kada se ona počne kvariti i oštećivati te na taj način znatno bolje i kvalitetnije sprječava širenje korozije (tj. korozijsko puzanje) i drugim mehanizama kvarenja boje nego što bi to bio slučaj na čelicima čija podloga nije zaštićena slojem cinka. [6,37]

Spomenuti singerski učinka radi lakšeg shvaćanja možemo predočiti i u jednostavnu jednadžbu koja glasi : životni vijek dupleksnog sustava = faktor sinergije x (životni vijek cinka + životni vijek boje). Sami čimbenici sinergije variraju i uveliko ovise o klimatskim uvjetima. Primjerice u industrijskim i pomorskim okruženjima faktor će varirati između 1.8 i 2.0 dok će unutar okvira morskih voda iznositi 1.5-1.6. U umjerenim klimatskim područjima koji nisu izloženi pretežito agresivnoj okolini vrijednost singerskog faktora je između 2.0 i 2.7. Dupleksni sustav osim što produljuje trajnost sadrži brojne prednosti i pozitivne strane u odnosu na jednostruke zaštite čeličnih konstrukcija. Jedna od njih je naravno proširena i poboljšana zaštita čelika kakvoj nijedan pojedinačni sustav zaštite ne može parirati. [37]

Bitno svojstvo kojem pridonosi zaštita dvostrukim premazom je i estetika odnosno atraktivniji izgled samih konstrukcija zbog boljeg usklađivanja svjetline i boje čelika sa okolišem koji okružuje konstrukciju. Također, obzirom da dupleksni sustav pridonosi znatnom produljenju životnog vijeka to samim time znači da će i troškovi održavanja biti primjetno manji te će se shodno tome smanjiti i troškovi cjelokupnog životnog ciklusa. Vjerojatno i jedna od najkorisnijih stavki dupleksa je ta što sloj cinka koji se postigne nastavlja pružati zaštitu od korozije i uslijed trošenja boja te olakšava ponovno nanošenje boje uz minimalno čišćenje. O samoj dugotrajnosti sustava sa dvostrukom zaštitom dovoljno govori i podatak da se zaštita od korozije može produžiti od 1,5 do 2,5 puta ukupne aritmetičke vrijednosti trajanja pojedinačnih sustava. Prethodno navedeni podaci o trajnosti bi u praksi značili da ukoliko primjenjujemo vruće cinčanje previđene trajnosti od 50 godina i sustav polimernog premaza od 10 godina dakle ukupne trajnosti 60 godina, dupleksni sustav bi zapravo u tom slučaju trajao između 90 i 150 godina ako bi naravno oba primijenjena premaza bila u potpunosti iskorištena. [5]

Osim opisivanih prednosti, dupleksni sustav također dozvoljava slobodu dizajna što bi na konkretnom primjeru značilo mogućnost biranja različitog spektra boja uz istovremeno iskorištavanje mogućnosti antikorozivne zaštite. [6]



Slika 16.: Shematski prikaz dupleksnog sustava (Izvor: [15])

3.3.2. Priprema površine za nanošenje dvostrukog premaza

Nanošenje boja na pocinčanu površinu čelika u svrhu stvaranja sustava sa dvostrukim premazom ne razlikuje se značajno od bojanja čelične površine bez dodatnih premaza. Najznačajnija promjena u odnosu na ostale sustave je priprema i čišćenje površine prethodno pocinčanog čelika koji će uvelike ovisiti o vremenu proteklom nakon samog cinčanja. Faktori koji su najvažniji za ostvarivanje kvalitetnog i učinkovitog dvostrukog premaza su : komunikacija sa kupcima, provjera stanja pocinčane površine, kvalitetno izvedeno čišćenje površine, formiranje povoljnog površinskog profila te na posljetku nanošenje odgovarajuće boje. Iako od svih navedenih faktora komunikacija sa kupcima ne spada u polje „tehničkih“ postupaka ona nikako ne smije biti tretirana kao manje bitna. U jasnoj i preciznoj komunikaciji između proizvođača i dobavljača često se ustanove mnogi posebni zahtjevi i potrebe za specifičnim skladištenjem, rukovanjem i procesima koji mogu utjecati na dizajn ili postupak koji je potrebno usvojiti za izvršenje zadataka vezanih uz zaštitu. [5]

Pocinčani čelik izložen je atmosferskim utjecajima koji tvore razne nusproizvode koji se očituju na površini čelika koji je obložen cinkom. Takav proces trošenja uzrokuje pojavu različitih elemenata na površini čelika koje je ovisno o stanju u kojem se površina nalazi potrebno ukloniti. Stoga je prvi konkretan korak u postupku izvođenja sustava sa dvostrukim premazom, nakon što je čelik povrgnut cinčanju, je utvrđivanje stanja u kojem se nalazi površina čelika na koji planiramo primijeniti sustav boja. [6]

Razlikujemo tri stanja površine : površina sa svježe izvedenim premazom cinka, djelomično istrošena i potpuno istrošena površina. Pocinčani čelik koji nije bio izložen utjecaju atmosfere duže od 48 sati spada u prvu od tri navedene skupine. Premaz na čeliku može biti kristalnog sjaja što nam govori da je vanjski sloj potpuno formiran od cinka ili ima nalik mutno sivoj boji što ukazuje na intermetalni vanjski sloj cinka i željeza (ili kombinacija oba navedena). Površine

koje su nedavno pocinčane gotovo uopće nemaju (ili imaju u zanemarivim količinama) spojeva cinka na površini što uvelike olakšava i pojednostavljuje proces samog čišćenja.

Ipak, obzirom da su relativno glatke moraju se profilirati kako bi se osigurala dodatna hrapavost tj. bolje prijanjanje boje. Za razliku od prethodnih, djelomično istrošene površine na sebi imaju naslage spojeva cinka i organskih onečišćenja kao što su prljavština, prašina, ulje, mast i sl. Takvo stanje je najčešće stanje pocinčane površine prije bojanja i ujedno je najteže za pripremu. Ono nastaje godinu dana nakon što je čelik bio podvrgnut cinčanju i najviše ovisi o faktorima vlažnosti i temperaturnim varijacijama .Spojevi cinka, većinom su to cinkov hidroksid i cinkov oksid, pričvršćeni su za glavnu prevlaku pomoću elektrostatičkih sila i moraju se obavezno ukloniti prije bojanja. Stanje potpune istrošenosti pocinčanog čelika prisutno je od jedne godine izloženosti čelika atmosferi pa sve dok se sav premaz cinka ne potroši štiteći površinu čelika na kojoj je primijenjen (što u nekim slučajevima može trajati desetljećima). Ono se smatra i najjednostavnijim stanjem površine gledano iz aspekta pripreme jer je potrebno samo blago čišćenje.

Čelik će u cijelosti biti prekriven spojevima cinka a glavni spoj je cinkov karbonat. On je specifičan po tome što čvrsto pirjanja uz površinu i nije topiv u vodi te samim time se dolaskom vode ne ispire sa površine. U takvom stanju cinkov karbonat povoljno utječe na zaštitnu boja koja se nanosi te nema potrebe na njegovim uklanjanjem s površine. Nakon svrstavanja čelika u jednu od tri navedene skupine potrebno ga je adekvatno očistiti. Obzirom da svako stanje zahtjeva različite uvjete stanja površine, potrebno je ukloniti neravnine i kapljice sa novo pocinčanih i djelomično istrošenih površina i organske materijale sa djelomično i potpuno istrošenih površina. Ukoliko se stanje čelika ne može precizno odrediti potrebno je provesti sve vrste čišćenja i na kraju neovisno o stanju u kojem se nalazi čelik se mora isprati i osušiti. Prilikom izvlačenja konstrukcijskog dijela iz otopine cinka moguć je nastanak mrlja ili izbočina na površini prvotnog i zaštitnog sloja od cinka. Takve se pojave moraju ukloniti prije nanošenja boja te nam proces njihovog uklanjanja predstavlja i prvi korak u čišćenju.

Obzirom da je cink sam po sebi mekan metal i da je njegov premaz preko čelika prilično gladak prilikom uklanjanja izbočina i mrlja mora se voditi računa kako se originalan i zaštitan premaz ne bi istrošio. Za takve operacije čišćenja najčešće se koristi ručna brusilica kojima se lagano prelaze preko površine izbočen dijelova s ciljem da se uklone i da se prvotan premaz ne ošteti te da naravno površina ostane glatka. Sljedeći je korak uklanjanje organskih onečišćenja pomoću alkalne otopine, kisele otopine ili primjenom otapala.



Slika 17.: Izbočine i mrlje na pocinčanom čeliku (Izvor: [23])

Kisele otopine koriste se u mješavini sa 25 dijelova vode i jednim dijelom kiseline. Funkcionira na način da nagriza cinkovu prevlaku i ostavlja površinu mutno sive boje. Uglavnom se nanosi četkom te je običaj isprati ju svježom vodom najkasnije 2 do 3 minute nakon njezinog nanošenja a preporuča se i isprati 2 puta dio površine na kojem je kiselina bila korištena. Čišćenje otopinama primjenjuje se tako da se otapalo za čišćenje nanosi krpom te se nakon ispiranja vodom suši i šalje u radionicu za profiliranje. Alkalna otopina (od 10 %) koristi se za uklanjanje organskim nečistoća i masnoća te ukoliko se koristi za pranje pod pritiskom ne smije se koristiti visok tlak (ne preko 1400 psi). [5]

Nakon adekvatno i pravilno izvedenog čišćenja površine slijedi profiliranje dijela pocinčanog čelika na koji se nanosi zaštitna boja. Cilj profiliranja jest ohrapaviti površinu do prihvatljivog stupnja kako bi se poboljšala prionjivost boja. Postupci kojima postižemo takav oblik površine su : pjeskarenje, površinsko brušenje, temeljni premaz za pranje i predtretman akrilom. Najčešće korišteni postupak je naravno pjeskarenje. Pjeskarenje koje se koristi za ovakvu vrstu čišćenja površina (za primjenu dvostrukog premaza) ipak je po nekim stvarima drugačije od standardnog postupka čišćenja za jednoslojnu zaštitu. Naime, za razliku od klasičnog postupka gdje se za pjeskarenje koristi kut od 90 °C, u ovom se slučaju izvodi pod kutom od 30 do 60 °C.

Također, potrebno je obratiti pažnju pri izboru abrazivnog materijala (može se dogoditi da je materijal korišten za sačmu previše abrazivan) i nastoji se da izabrani materijali budu veličine između 200 i 500 mikrometara. Pri korištenju brusilice u profiliranju treba voditi računa da se ne skine originalna presvlaka od cinka (dozvoljeno uklanjanje do 1 mm). Premaz za pranje sastoji se od tri osnovne komponente: smole, pigmenta i kiseline. One reagiraju sa površinom cinka na način da stvaraju film debljine 13 mikrona. Premaz se nanosi raspršivačem, četkom ili valjkom nakon čega ga je potrebno adekvatno osušiti površinu. Posljednji način čišćenja, predtretman akrilom, funkcionira uz pomoć kiselog elementa čija je svrha učiniti premaz cinka hrapavim te se nakon njega nanosi akrilni sloj kako bi boja bolje prianjala na površinu.

3.3.3. Nanošenje zaštitnih boja za postizanje dvostrukog sustava

Nakon završetka čišćenja i profiliranja pocinčana površina pogodna je za nanošenje zaštitne boje. Preporuča se da se boja nanese što prije nakon ostvarivanja željenog profila površine. Ona se može nanositi u tvornici i na licu mjesta gdje će se konstrukcija sastavljati. Ukoliko se boja primjenjuje izvan tvornice, treba obratiti posebnu pozornost na vremenske uvjete koji mogu utjecati na kvalitetno postavljanje boja i na sigurnosne aspekte obzirom da se radnja odvija izvan zaštićenih okvira tvornice. [5]

Iako postoji niz formulacija boja koji su kompatibilni i dobro prijanjaju za pocinčani čelik one se ipak dosta mijenjaju s vremenom i iz tog razloga preporučuje se savjetovanje sa samim proizvođačem boja kako bi se najbolje utvrdila kompatibilnost i najbolji način nanošenja. Boja se uglavnom nanosi četkom ili prskanjem na željenu čeličnu površinu. Na početku procesa bojanja nanosi se temeljni premaz (primer) koji treba očvrnuti do prihvatljive razine. Ukoliko izvođač smatra da postoji potreba moguća je i provjera iz mjera predostrožnosti samog premaza koji se nanosi na jedinstven primjerni uzorak i tako se ispita njegova učinkovitost i moguće ga je provjeriti i testirati na taj način u svakoj fazi nanošenja. Nakon stvrdnjavanja primera nanosi se gornji sloj te je i on podvrgnut istoj proceduri (mora se stvrdnuti). Ipak, obzirom na moderna vremena u kojima se nalazimo i na razvitak tehnologije a samim time i procesa gradnje čest će slučaj biti da se zaštitni sloj boje nanosi upravo u tvornicama. On će se naravno razlikovati od slučaja gdje premaz bojom nanosimo na licu mjesta. [6]

Prvi korak tvorničkog bojanja je naravno priprema same površine odnosno njezino čišćenje koje se obavlja pomoću spremnika za čišćenje koji su opremljeni pumpama i uz korištenje mehaničkog četkanja pomoću četkastih valjaka, u spremnicima se nalazi alkalna otopina. Slijedi prolaz kroz spremnik za ispiranje površine te stroj za premazivanje kako bi se nanio premaz koji će profilirati površinu na potreban način. Na poslijetku pripremnog dijela traka pomiče dio čelika koji se profilirao u pećnicu kako bi se osušila vlaga sa materijala. Nanošenje primera izvodi se strojno te se primer nanosi sa gumiranim valjcima. Njegova debljina iznosi 3 do 5 mikrona a stvrdnjavanje se postiže u stoljetnoj peći u kojoj su temperatura i vrijeme pažljivo kontrolirani. Završni sloj debljine je 15 do 20 mikrona a ona se postiže mijenjanjem koncentracije supstance premaza napetosti zavojnice i brzine sustava, a stvrdnjavanje se odvija u stoljetnoj peći. Obložena zavojnica se kali i reže prema zahtjevima kupca. Važni parametri koji će utjecati na dugotrajnost premaza su : ujednačena temperatura i optimalno vrijeme stvrdnjavanja u pećnici, koncentracija alkalne otopine za čišćenje i koncentracija kupke za konverzijski premaz. [5]

Na posljetku zanimljivo je spomenuti da se sustav dvostrukog premaza osim u klasične konstrukcije i slične svrhe može koristiti u nekim ne toliko prirodnim okruženjima. Zanimljiv primjer koji to potvrđuje je upravo upotreba dupleksa u NASI koja zahtjeva dvostruku prevlaku u područjima izloženim nusproduktima raketnog pojačivača. [37]



Slika 18.: Primjer čelične konstrukcije zaštićene duplesnim sustavom (Izvor:[6])

4. AKTIVNI SUSTAV ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE

4.1. Općenito o aktivnoj zaštiti i načini pristupa nepovoljnim površinama

Prethodno opisivani postupci i načini zaštite čelika od korozije spadaju u skupinu pasivne zaštite odnosno obvezene zaštite koja se mora provesti. No, ništa manje važna nije ni aktivna zaštita koja iako nije obavezna ima itekako velik utjecaj na zaštitu od korozije. Ona se postiže oblikovanjem dizajna strukture i rješavanjem detalja u samoj fazi projektiranja. [25] Dizajn će uvelike utjecati na bilo koji zaštitni premaz koji se nanosi na konstrukciju stoga mora biti izveden pravilno i adekvatno.[1] Vrlo je važno razumjeti da dobar i pogodan dizajn konstrukcije ne košta više od onog lošijeg, dakle nema argumenta o ekonomskoj nepovoljnosti, te je više puta dokazano da će se lošiji dizajn kroz godine korištenja pokazati kao onaj koji će zapravo biti skuplji a samim time i štetniji. [4]

Osim uloge same zaštite, detalji konstrukcije također puno pomažu pri budućoj kontroli konstrukcije i samim time osiguravaju njezino učinkovito provođenje. Oni su također važni kako bi se zaštitni tretman mogao primijeniti na svim površinama, dakle da budu pristupačne metodama pasivne zaštite, te kako bi izbjegli stvaranje zamki za vodu i prljavštinu koje naknadno ubrzavaju proces korozije. [1]

U skladu sa navedenim poželjno je izbjegavati strukture koje su projektiranje sa puno malih strukturnih komponenti jer ih to čini kompliciranijima za valjanu antikorozivnu zaštitu. Na temelju godina proučavanja i stečenog iskustva zaključeno je da unutar suhих grijanih interijera neće biti potrebe za posebnim mjerama opreze dok će u vanjskim vlažnim okruženjima dizajn i način napravljenim detalja imati velik utjecaj i u takvim uvjetima potrebno im je posvetiti punu pažnju. [35]

Kako bi se osigurala početna površinska obrada i naknadna antikorozivna zaštita potreban je pristup svim površinama. Preporuča se izbjegavati uske otvore, teško dostupne kutove i skrivene površine jer svojom pozicijom otežavaju nanošenje zaštite. Ukoliko se ipak dogoditi da površine nisu tako povoljne, pristup njima se omogućuje razmak između spojnih elemenata na spojevima i stupanj unutarnjih kutova na nanošenim ukrutama mreže. [35] Idealne spojeve potrebno je izbjegavati korištenjem prijanjajućih snajpera i kontinuiranog zavara iza ugla. Iako takve metode povećavaju mogućnost stvaranja zamke za prljavštinu i vlagu ipak su prihvaćene kao bolje rješenje od drenaže kroz rupu. [1,12]

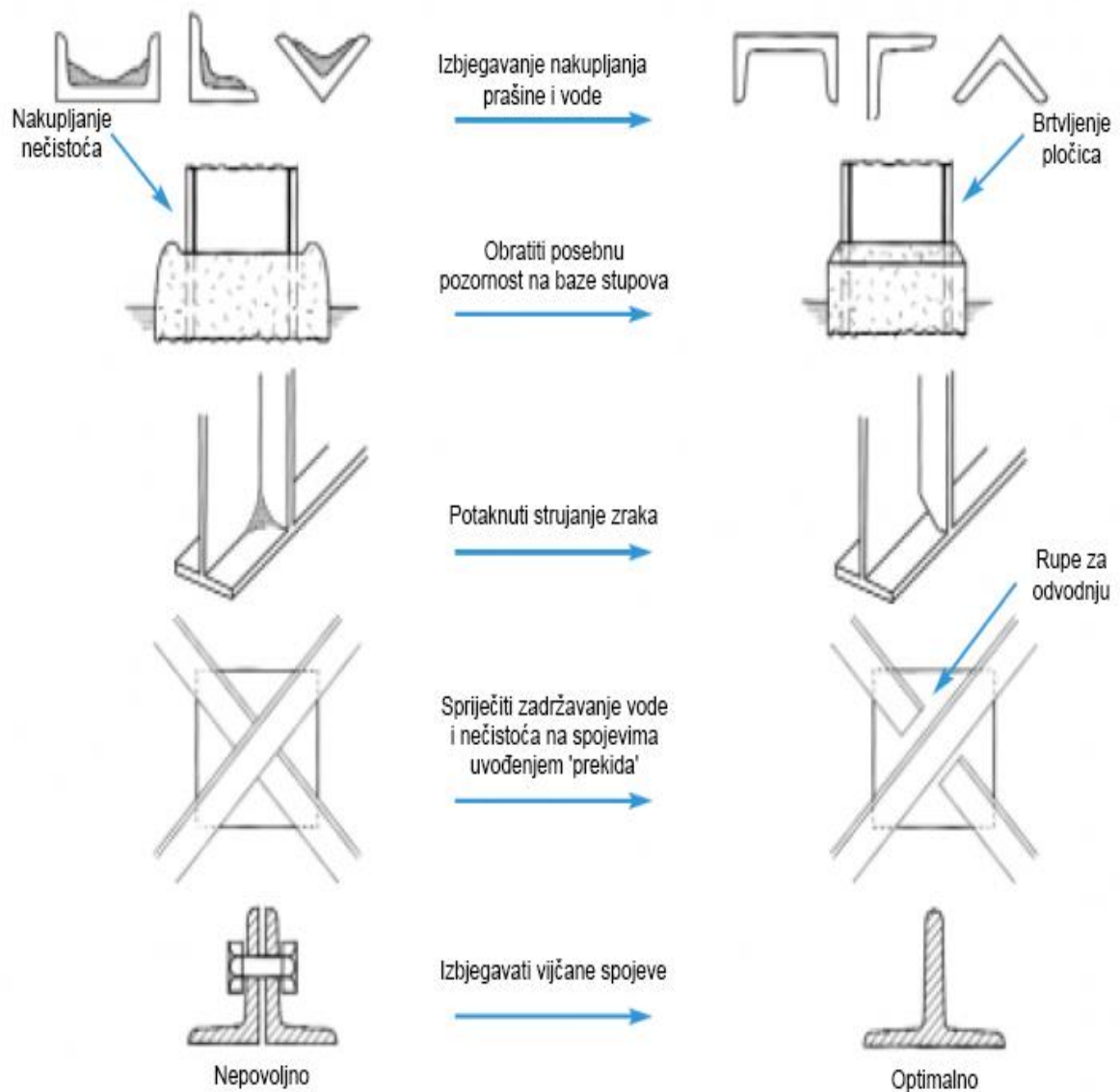
Također, jedan od detalja koji je karakterističan za većinu spojeva od konstrukcijskih čelika je rupa u ukrućenju mreže. Ona predstavlja problem pristupačnosti zbog svoje veličine i osim ako rupe nisu izuzetno velike nemoguće je ispravo očistiti i zaštititi površinu. Ukoliko u konstrukciji koristimo rupe za držanje one moraju biti promjera od 50 mm ili više i ne bi smjele biti oblikovane snajperima pod kutom od 45 °C. [7]

4.2. Izbjegavanje vlage, prašine i krhotina

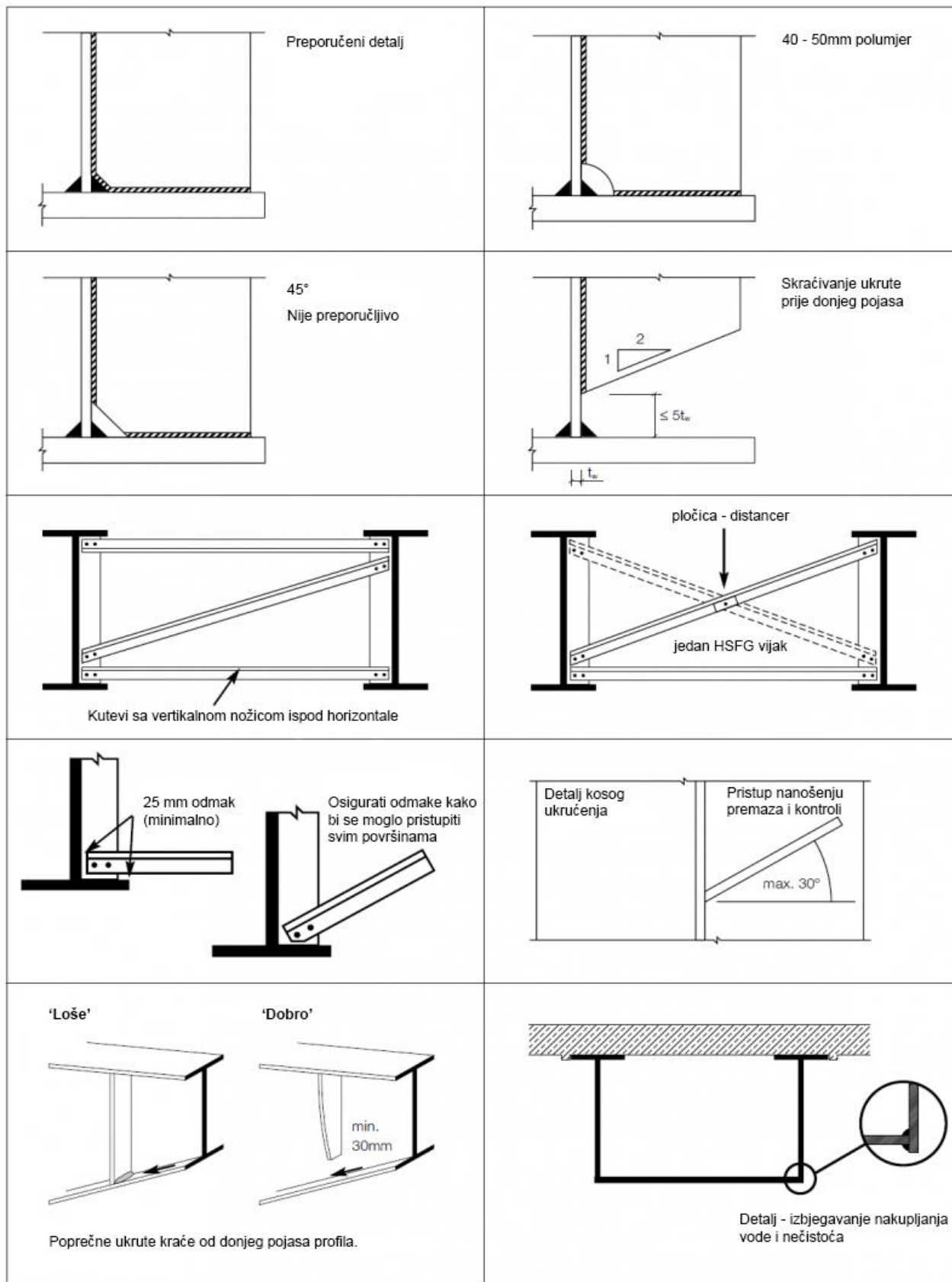
Potrebno je poduzeti mjere, u smislu dizajna strukture, kako bi se izbjegla mjesta na kojima postoji mogućnost skupljanja vlage i krhotina te na taj način spriječilo širenje korozije. [5] Postoje određene mjere koje treba pratiti kako bi se postigao željeni učinak, te mjere uključuju: izbjegavanje stvaranja pukotina, šupljina itd., preporučeno korištenje zavarenih spojeva umjesto vijčanih, izbjegavanje preklopljenih spojeva (ukoliko to nije moguće onda ih treba zabrtviti), izvođenje rupa koje osiguravaju odvod vode sa konstrukcije na za to predviđenim mjestima, potrebno je omogućavanje strujanja zraka oko strukture, zabrtviti dijelove kutije (osim kada su vruće pocinčane), izbjegavanje upotrebe ukrućenja ležaja „T“ presjeka, raspoređivanje kutova s okomitim krakovima ispod horizontale, skraćivanje poprečnih rebrastih ukruta ispod donje prirubnice i izbrušenje ravnog navara na horizontalnim površinama. Nakupljanje raznih naslaga i nečistoća prouzrokuje nastanak diferencijalnih ćelija za prozračivanja i omogućuje apsorpciju vlage iz zraka što naravno rezultira nastankom korozije. [1]

Također, takvi i slično talozi mogu uzrokovati uništenje pasivne površine čelika, mjesta ispod naslaga postat će anode i na kraju dovode do pitinga (relativni pokazatelj lokalne korozije

određen na osnovi elektrokemijskih mjerenja). [7] Navedene mjere i načine najlakše je predočiti i razumjeti pomoći skica i ilustracija koje su prikazane i objašnjene u nastavku.



Slika 19.: Prikaz detalja (Izvor:[1])



Slika 20.: Prikaz detalja (Izvor:[1])

4.3. Udubine (nepravilnosti, neravnine)

Udubine u konstrukciji stvaraju problem jer zadržavaju vodu kroz kapilarno djelovanje što dovodi do stvaranja tzv. pukotinske korozije. Iz tog razloga potrebno je izbjegavati preklopljene dijelove ili ih je potrebno zabrtviti na što više mjesta. Voda zadržana unutar pukotine ima djelovanje i učinak jedan elektrolitu za reakciju korozije tj. uzrokuje dehidraciju tih područja odnosno oni propadaju, moguća prisutnost kloridnih aniona također nije povoljna jer će oni samo dodatno ubrzati proces korozije. [7] Važno je za napomenuti da bilo koja točka u kojoj su dvije metalne površine odvojene uskim razmakom predstavlja potencijalnu opasnost odnosno moguću ćeliju kroz koju ulazi vlaga kapilarnim djelovanjem. Kada tekućina koja prođe u konstrukciju opisanim načinom dođe u kontakt sa zrakom tada središte vodenog filma postaje osiromašeno kisikom (iako se kisik obnavlja) i na tom će mjestu doći do korozije. Drugim riječima, otežano je otjecanje sakupljene tekućine zbog činjenice da je prirodni protok zraka smanjen unutar promatrane površine. [12]

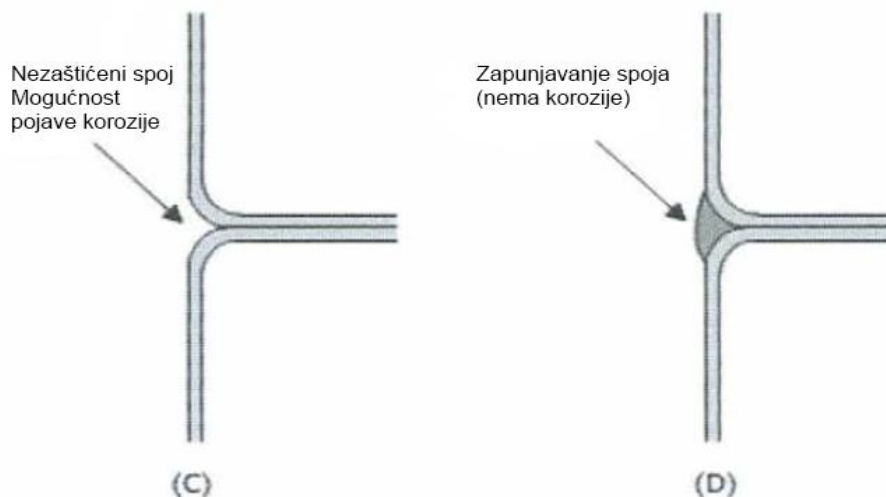


Slika 21.: Korozija u udubini (Izvor:[7])

Sam nastanak udubina događa se ispod točkasto zavarenih obloga ili vijčanih spojeva ispod rubova lima koji je presavijen u svrhu dobivanja glatka vanjskog ruba, na spojevima sa vijcima i zakovicama te na usijanim tanjurima. Čest nastanak također je prisutan u spojnica između greda i čeličnih okvira prozora. Kada pričamo o spojevima, zavareni su definitivno poželjniji odnosno povoljniji su za zaštitu od korozije dok je glavni problem vijčanih taj što predstavljaju poseban problem kod mostova. [7]

Ipak, udubine na prednapregnutim vijčanim spojevima moguće je minimalizirati ograničenjem razmaka vijaka i udaljenosti rubova pomoću fleksibilnih pokrovnih ploča i brtvljenja rubova spojeva. Udubine na sjecištima poprečnih ukrućenja pak se izbjegavaju korištenjem ploče za

pakiranje iste debljine kao i ukrućenje mreže i prethodno napetog vijka. Kako bi smanjili koroziju uz već spomenuto preporučeno korištenje zavarenih spojeva umjesto vijčanih, potrebno je smanjiti kontakte između metala i nemetala koji mogu uzrokovati takve nepravilnosti, izbjegavanje oštih kutova i rubova te korištenje punila i mastike za popunjavanje praznina. [1,12]



Slika 22.: Prikaz sprječavanja korozije u udubini popunjavanjem (Izvor:[12])

4.4. Kontakt sa drugim materijalima

U mnogim konstrukcijama doći će do kontakta između čelika i drugih materijala i u takvim je slučajevima zadatak samog dizajnera konstrukcije da vodi računa o mogućnosti stvaranja korozije između materijala koji su u direktnom međusobnom odnosu. Važan korak u prevenciji nastanka korozije između različitih materijala je izbjegavanje spojeva između različitih materijala zbog rizika od pojave bimetalne korozije (Drvo je materijal koji vrlo često dolazi i kontakt sa čelikom i kojeg naravno treba odvojiti od istog radi sprječavanja nastanka korozije. Odvajanje drva i čelika radi se pomoću premaza ili plastičnih ploča kako bi se neutralizirao i izbjegao ostatak vlage na čeličnoj površini. [36,35]

Gradivo koje se možda i najčešće koristi u kombinaciji sa čelikom je naravno beton. Čest uzrok nastanka korozije u kombinaciji betona i čelika su zapravo pukotine u betonu. One u betonu uglavnom nastaju kao rezultat vlačnog opterećenja i skupljanja i omogućuju prodor atmosfere i zonu iz koje se može razviti karbonizacija. Ukoliko se pukotina razvija do te mjere da prođe do čelika ona može uzrokovati gubljenje adekvatne antikorozivne zaštite. Vlačna opterećenja su specifična jer dovode do odvajanja čelika i betona sa svake strane pukotina čime se gubi

alkalna sredina i na taj se način u području odvajanja uništava zaštita. Ipak, pojave poput karbonizacije, prašine ili krutih tvari u zraku mogu spriječiti pristup kisika i vlage u pukotine i na taj se način minimalizira korozija, no ukoliko to nije slučaj korozija će vrlo vjerojatno napredovati. Čimbenici koji utječu na razvoj korozije u takvim situacijama su širina pukotine, uvjeti opterećenja i stupanj izloženosti atmosferskim zagađenjima. Iz navedenih i mnogih drugih razloga važno da je kvalitetna betona specificirana na mjestima gdje je konstrukcijski čelik obložen betonom. [36]

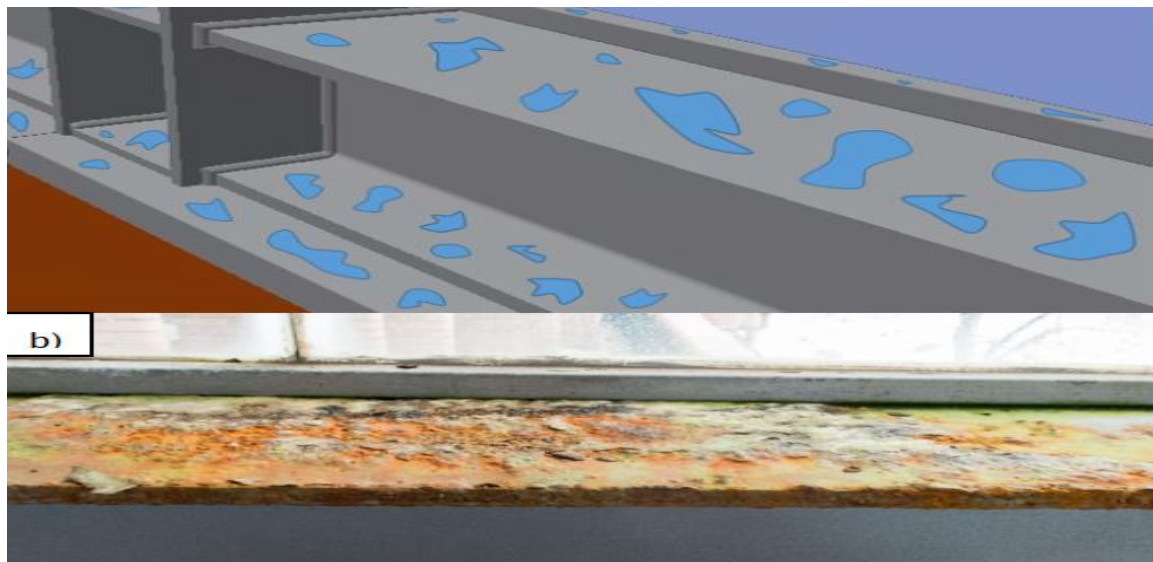


Slika 23.: Korozija u čelika u betonu (Izvor:[11])

Vrlo je bitno opisati i odnos izolacijskog materijala i čelika iz aspekta korozije. Naime, izolacijski materijal poput staklene vune i poliuretana neće uzrokovati koroziju čelika sve dok je suh, no ukoliko tijekom skladištenja i rada postane vlažan tada može predstavljati problem. Korozija je uzrokovana zbog otpuštanja topivih soli niskog pH (2 do 3) ulaskom vlage u izolaciju, otpuštanjem kloridnih iona koji uništavaju pasivnost čelika i neadekvatne barijere za vlagu zbog nedovoljnog razmaka izolacije. Prevencije takvog nastanka korozije vrši se sljedećim mjerama : uklanjanje ravnih horizontalnih površina i strukturalnih dizajna koji zadržavaju vlagu, obavezna usklađenost debljine izolacije, osiguravanje hidroizolacije i dodavanje natrijevog silikata kao inhibitora. [12]

4.5. Drenaža i ventilacija

Ukoliko lagana kiša napada na golu čeličnu površinu uzrokovat će stvaranje prstenova hrđe na njegovoj površini nakon isparenja nakupljene vode. U takvom će procesu svaka kapljica djelovati kao stanica za diferencijalno prozračivanje i do razvijana prstenova hrđe dolazi na mjestima gdje se željezni ioni iz anode susreću sa hidroksilnim ionima. Čak je moguće da i u slučajevima zaštite površine čelika premaznim bojama dođe do oštećenja ako se kapljica dugo zadrži. Upravo zbog toga postavljanje odgovarajuće slobodne drenaže za i ventilacija za sušenje izuzetno je važno kako bi se čelik mogao adekvatno osušiti (od napadnih kapljica kiše) te na taj način što je više moguće skratiti vrijeme u kojem će biti mokar i samim time ograničiti oštećenja od korozije. [7]



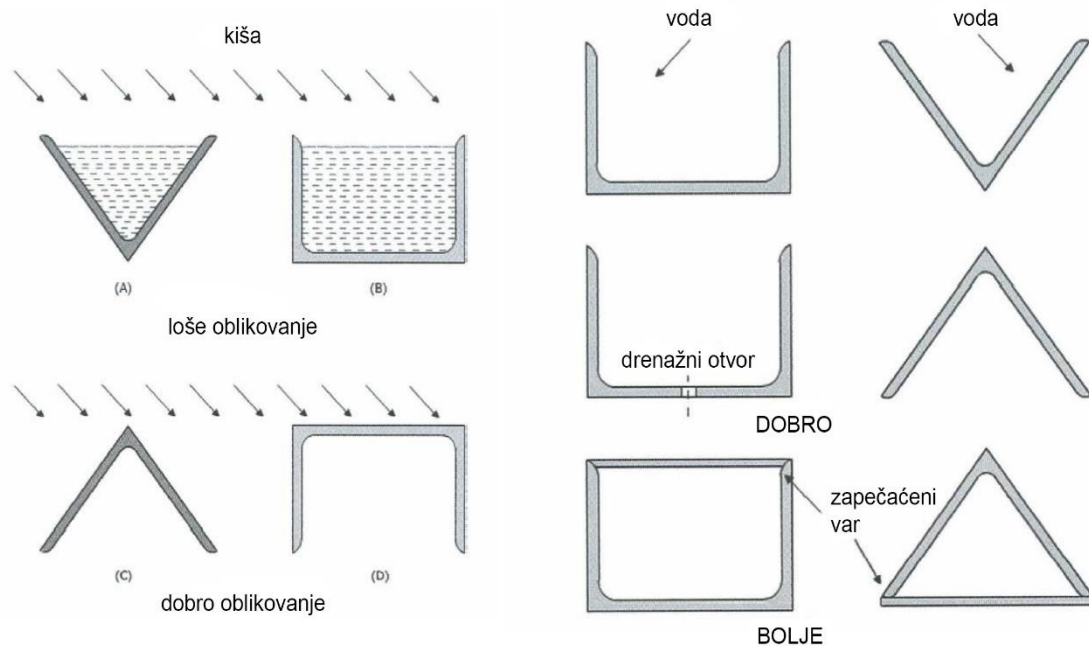
Slika 24.: Nakupljanje vode i stvaranje korozije (Izvor:[7])

Do povećanja oštećenja dolazi na dijelovima kod kojih je ventilacija manje učinkovita odnosno na dnu strukture gdje nije omogućena dovoljna razina strujanja zraka. Postizanje kvalitetne drenaže i ventilacije omogućuje se postavljanjem drenažnih rupa na mjestima gdje su one potrebne i osiguravanjem slobodnog kruženja zraka oko strukture. Gledajući iz konstrukcijskog aspekta potrebno je omogućiti drenažu svih kanala i sandučastih presjeka na način da se voda ne zadržava i ne sjedi u odjeljku. [12]

Posebno kod mostova javlja se problem sa korozijom zbog neadekvatne izolacije i odvodnje, posebno kod curenja spojeva kolnika koji su bili najčešći izvor korozije. Iz tog je razloga potrebno izbjegavati usko postavljene nosače i otjecanje treba osigurati što dalje od čeličnih površina. Kako bi se osigurala što idealnija zaštita struka preporuča izbjegavanje dilatacijskih

spojeva i njihovu zamjenu sa kontinuiranim konstrukcijama no u slučajevima kada nije moguće izbjeći postavljanje dilatacija potrebno ih je postaviti što dalje od krajeva nosača. [1]

Također, važno je koristiti pozitivan nemetalni sustav odvodnje kako bi sva curenja izbjegla dodir sa čeličnom konstrukcijom. nepovoljno djelovanje zadržane vode na čeliku možemo predočiti kroz primjer horizontalnih površina (na kojima se nalazi voda) koje same po sebi otežavaju odvodnju vode koja kaplje (npr. sa prozora, slika 24.). [7]



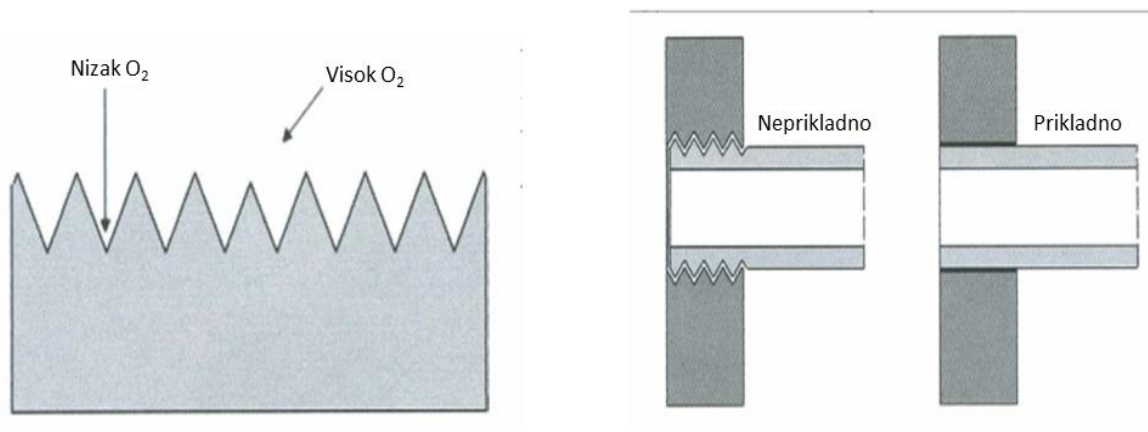
Slika 25.: Dizajn pogodnim detalja (Izvor:[12])

4.6. Navoji i zavari

4.6.1. Navoji

Navojni spojevi iz gledišta korozije specifični su po tome što su osjetljivi na stvaranje diferencijalnih stanica prozračivanja te ih gledamo na isti način kao i vijčane odnosno možemo ih smatrati relativno nepoželjnim sa gledišta antikorozivne zaštite. [7]

Kao zamjenu za navojne spojeve preferira se korištenje postupka lemljenja u kojem materijal koji se koristi za sam proces mora imati plemenitiji potencijal od izvornog materijala. Iako nisu poželjni, jasno je da se navojni spojevi (isto kao i vijčani) ne mogu potpuno izbjeći pri izvođenju čeličnih konstrukcija prvenstveno zbog potrebe sastavljanja i rastavljanja raznih dijelova. Bez obzira na to na koji će se način oni koristiti moraju se tretirati u skladu sa adekvatnom zaštitom od korozije. Jasnije shvaćanje korištenja lemljenja umjesto navoja može se puno bolje predočiti ilustracijama procesa i detalja (slika 24.). [12]



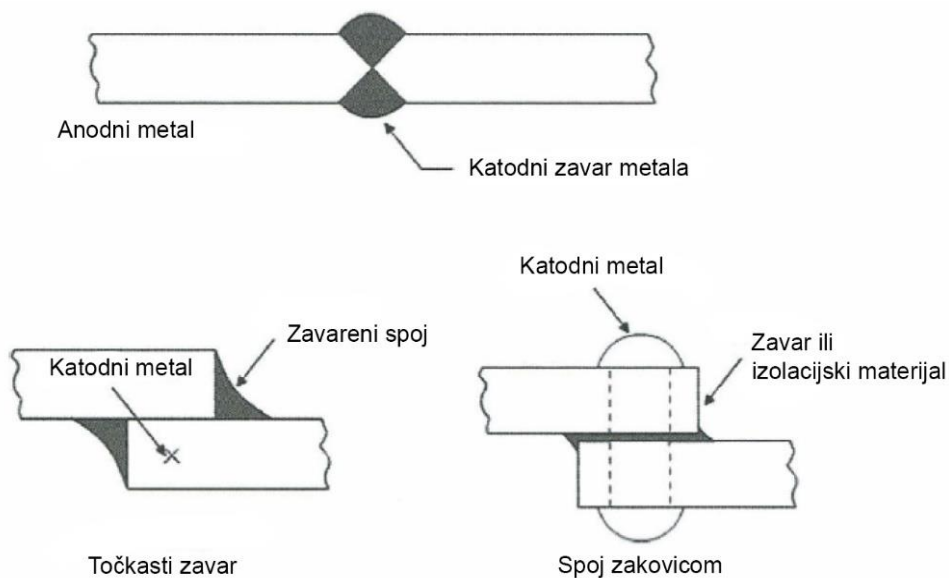
Slika 26.: Detalj koji prikazuje prednost lemljenja u odnosu na navoje (Izvor:[12])

4.6.2. Zavari

Zavarivanje je čest i nezaobilazan postupak u sastavljanju čeličnih konstrukcija. Iako je često korištena metoda bitno je razjasniti da se stvaraju slabe točke u konstrukciji sa gledišta antikorozivne zaštite. Jedan od procesa kroz koji se očituje negativna strana varenja je zrno zavara koje uzrokuje geometrijski diskontinuitet na površini zato što stvara dodatni materijal na samom čeliku. [35] Zavarena kuglice koje su prisutne često imaju porozne rupice koje omogućuju zadržavanje tekućine pogoduju širenju korozije. Također, obzirom da se proces zavarivanja temelji na izlaganju materijala visokoj toplini te ako proces hlađenja nije dovoljno kontroliran unutarnja struktura zavarenog materijala se iskrivi (dolazi do distorzije) što dodatno olakšava proces i razvijanje korozije. Korozija se može javiti i uslijed nepravilnog čišćenja zavara nakon završetka samog procesa zbog oksidnih ostataka. Ipak, obzirom da je zavarivanje nezaobilazan proces postoje različite vrste prevencija koje će minimalizirati utjecaj korozije. Jedna od njih i povoljan odabir materijala za varenje kojeg treba uskladiti sa potrošnim materijalom jer će se tada smanjiti razlika u mikro i makro sastavu zavara čime se znatno smanjuju galvanski uvjeti. [12,7]

Važno je i voditi računa o stanju površine prije zavarivanja tj. potrebno ju je adekvatno pripremiti i očistiti. Potrebno je ukloniti sve spojeve i onečišćenja na površini koja se zavaruje jer toplina tijekom zavarivanja može uzrokovati defekte zavara (pucanje) što smanjuje otpornost na koroziju. Isto tako ugljik i materijali koji sadrže ugljik nisu poželjni i treba ih se obavezno ukloniti jer se oni pri procesu mogu otpiti i moguć je nastanak spojeva sa visokim udjelom ugljika koji je također povoljan za razvijanje korozije. Što se tiče samog dizajna zavara preporuča se da naslage zavara imaju relativno ravne rubove koji imaju niske profile i minimalno zadržavanje troske. [5]

U samom procesu zavarivanja preporuča se izrada čvrstog spoja koristeći potpuni prodor jer se time izbjegavaju praznine ispod rubova. Nakon samog prodora potrebo je ukloniti čep što se postiže brusilicom ili alatom za usitnjavanje. Geometrija zavara mora biti projektirana tako da omogućuje uklanjanje korozivnih ostataka. [7] Dakle, obzirom na sve vrste prevencije spoj ipak je povoljniji nego spoj sa zakovicama sa polazišta antikorozivne zaštite što je prikazano na slici 27. [12]



Slika 27.: Spoj sa zakovicama u odnosu na zavarivanje (Izvor:[12])

5. KONTROLA KVALITETE

5.1. Općenito o kontroli, njezinoj važnosti i osobi zaduženoj za provođenje kontrole

Svrha kontrole je provjeriti i utvrditi da su ispunjeni zahtjevi specifikacije i klijentu dostaviti izvještaj koji u sebi sadrži potrebnu dokumentaciju i pismen i legitiman dokaz kako je zaštita nanosena na adekvatan način. Pismena potvrda je vrlo važna i obavezna jer se na nju uvijek može pozvati u slučaju mogućih problema ili nesigurnosti. Iako na prvu sam spomen na pojam kontrole kvalitete daje dojam jednostavnosti kod čelika se ipak susrećemo sa brojim jedinstvenostima koje se ne smije shvatiti olako. [1]

Nakon primjene zaštitnih premaza želimo izbjeći posljedice kao što su gubitak prijanjanja , pojava mjehurića i naravno vidljivu koroziju koje se mogu javiti unutar vremenskog perioda od godinu dana ili dvije nakon što je primijenjena izabrana zaštita. [35]

Osim što takve pojave štete samoj konstrukciji njih je popravak vrlo često znatno skuplji, kompliciraniji i problematičniji u odnosu na prvotnu zaštitu te se u brojim primjerima pokazalo i da su takve vrste saniranja štete gotovo uvijek manje kvalitete. Upravo su to razlozi zbog kojih treba nastojati obaviti i kontrolu na adekvatan i kvalitetan način. [18] Angažiranje kvalificiranog inspektora koji vrši provjeru antikorozivnih premaza nikako nije pametno promatrati sa aspekta dodatnog troška jer se u praksi vrlo često pokazalo kako je upravo kvalitetna kontrola ključna u pogledu trajnosti same konstrukcije. Naime , jedan od najvažnijih razloga kontrole je taj što ukoliko dođe do značajne pogreške u samo jednoj operaciji ona se ne može lako otkriti nakon što se sljedeća operacija provede i ukoliko nije odmah uočena i ispravljena na adekvatan način cijela situacija može rezultirati smanjenjem trajnog vijeka konstrukcije. [2]

Samu kontrolu kao što se dalo zaključiti obavlja za to previđeni i obrazovani inspektor a njegova je glavna zadaća osigurati da se radovi izvode u skladu sa specifikacijom. [35] Najčešće kontrole obavljaju tvrtke osnovane baš za tu svrhu koje su neovisne o investitoru i izvođaču i tako pružaju objektivan i nepristran pristup cijeloj situaciji. Vrlo je važno da je korisnik prilično jasan u vlastitim zahtjevima te da ne očekuje više od onog što je predviđeno odnosno ne smije se očekivati da inspektor za kontrolu bude zamjena za dobru specifikaciju premaza kao i za dobro i jasno upravljanje i planiranje. [18] Nalaženje pravog i adekvatnog stručnjaka za kontrolu i nadzor u prošlosti nije bio lak posao zbog manjka znanja i stručne spreme te se iz tih razloga nerijetko znalo događati da osobe iz drugih sektora obavljaju preglede koji bi se često odrazili kao neuspješni. Iz tog je razloga a i iz razloga same složenosti problema antikorozivne zaštite danas imenovanje klasificiranog inspektora vrlo važan dio posla. [3] Sve osobe koje su uključene u takvu vrstu kontrole moraju imati odgovarajuću obuku za međunarodno priznate prakse i standarde te uz obaveznu certifikaciju. Takva je shema dostupna u institutu za koroziju u Ujedinjenom kraljevstvu. [1] Minimalna razina koju mora imati inspektor po institutu za koroziju je level 2. [35]

Sukladno sa svime navedenim možemo zaključiti da je cilj kontrole kvalitete osigurati da premazi postignu svoj puni potencijal u smislu učinkovitosti zaštite. Kako bi se postigao željeni efekt potrebno je napraviti sažetu i nedvosmislenu specifikaciju premaza koja će biti vrlo jasna i precizna. Također, važno je da izvođač prihvati sve zahtjeve navedene u dokumentaciji te se tako pobrine da posao bude obavljen prema zadanim standardima. [1] Potom je potrebno provjeriti kvalitetu samog materijala na koji se nanosi premaz jer će ona imati značajnu ulogu u dugovječnosti i učinkovitosti samog premaza. Kontrola se za postizanje apsolutne sigurnosti provodi u svim fazama procesa nanošenja premaza. [2] Te faze uključuju kontrolu pri rukovanju, skladištenju i montaži i vrlo je važno da je sama kontrola sustavna i kontinuirana kako bi se eventualni problemi i nedostaci uočili na vrijeme prije nego što dođe do ozbiljnih oštećenja. [3]

5.2. Priprema površine

Kao što je stanje površine za nanošenje antikorozivne zaštite izuzetno važnu za njezinu učinkovitost tako se i stanje same površine u početnim fazama mora ispitati jer je ona temelj trajnosti. Tri su aspekta koja inspektor može ispitati kada se radi o površini a to su : vizualna čistoća, površinski profil i odsustvo soli kao što je npr. željezni sulfat. Čest zahtjev za kontrolu je i stanje površine čelika prije samog procesa pjeskarenja. Prije čišćenja abrazivnim pjeskarenjem u svrhu uklanjanja hrđe i kamenca površino mora biti vizualno očišćena onečišćenja kao što su masti ulja i sl. Nakon toga potrebno je utvrditi dali je postignuta potrebna razina čistoće i profila površine prema za to odgovarajućim standardima. Vizualna procjena odsustva hrđe i kamenca provodi se na temelju dvije metode. Prva koju ćemo spomenuti je vjerojatno i najraširenija metoda i zasniva se na usporedbi s fotografijama površina u različitim stupnjevima vizualne čistoće. [1,18]

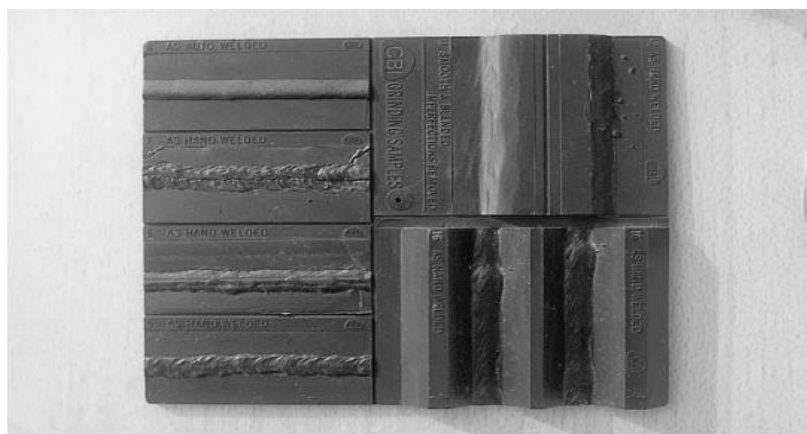
Druga pak metoda uključuje korištenje pisanog opisa koji sadrži dopušteni postupak kontaminacije za svaki stupanj i ona se provodi prema NACE standardima (NACE predstavlja skraćenicu za nacionalno udruženje inženjera korozije). Kod procjene bilo kojom metodom uglavnom nema problema kada je u pitanju određivanje najvišeg standarda čistoće (npr. Sa 3 , bijeli metal itd.) no problem nastaje kod nižih standarda kod kojih se dozvoljavaju ostatci nečistoće na površini (Sa2). Glavni izvor tih problema je usporedba mjerodavnih fotografija sa stvarnim stanjem površine. Jedan od glavnih razloga koji prethodi takvim problemima je taj što vrsta abraziva koju smo koristili za čišćenje utječe na boju površine zbog ugrađenih čestica. Fotografije za usporedbu napravljene su od panela koji su očišćeni pjeskarenjem uz primjenu pijeska koji za razliku od drugih neki drugih supstanci daje svjetliji i sjajniji sloj površine. [3]

Drugi ali također važan razlog je taj što dubina i oblik samog profila utječu na količinu sjene na površini. Neki primjeri toga su npr. duboke i oštre jame koje stvaraju više sjene, dok će neka plića udubljenja stvarati znatno manje sjene. [5] Također, valja napomenuti da je koristeći fotografiju za pregled vrlo teško razlikovati mrlje u obliku točkica i pruga od čestica ljuskica u točkama i prugama koje nisu dozvoljene. Kao što je prije napomenuto osim hrđe i kamenca važno je da su sa površine uklonjeni i nedostaci ulja i masnoća te sličnih prljavština. [18] Kao provjera stanja ulja na površini može se koristiti Fettrot test. On funkcionira na način da se na površinu nanese jedna kapljica 0,1 % otopine Fettrota BB boje u etanolu. Naznaka da na nekoj površini nema ostataka ulja koristeći ovu metodu je ta da će na horizontalnim površinama kap ostajati u svojoj prirodnoj veličini sve dok ne ispari dok će na okomitim površinama ostaviti dugi trag. Također se u određenim situacijama površina može izlagati ultraljubičastom svjetlu koje će ostaviti pri čemu će neka ulja fluoresicirati tj. bit će vidljivo njihovo prisustvo na površini. [3]



Slika 28.: Prikaz različitih stanja površine prema NACE-u (Izvor:[10])

Također je važno napomenuti da je jednako važna i obrada specifičnih površina koje su neizbježne na čeličnim konstrukcijama a to su : zavari, rubovi, razne rupe i slično. Njih treba temeljno pregledati do stanja u kojem će biti odgovarajuće za nanošenje zaštitnih antikoroziivnih premaza. Kako bi se lakše provjerila valjanost zavara koji se nalaze na konstrukciji NACE je napravila plastični repliku koji prikazuje kako bi trebao izgledati zavar prije nanošenja zaštite premazom. [3]



Slika 29.: Prikaz plastične replike zavara (Izvor:[3])

Neposredno prije nanošenja same zaštite potrebno je utvrditi da takve površine nemaju nikakvih ostataka prašine i nevezanih čestica odnosno da površina nije kontaminirana. Naime neizostavna je i provjera tj. ispitivanje kvalitete samog materijala koji se nanosi na konstrukciju. Ona se utvrđuje postupkom koji zahtijevaju Highways England i Network Rail. Uz sam materijal neophodno je naravno i utvrditi kvalitetu i vrstu same boje. [1]

5.3. Kontrola i ispitivanje metalnih presvlaka

Sam proces kontrole i provjere metalnih presvlaka uglavnom je vrlo jasna i jednostavna. [1] Vršimo dvije ključne provjere a to su vizualan pregled zaštićene površine i mjerenje debljine premaza. Nedostatke koje utvrdimo analizama možemo promatrati kao one neprihvatljive koji se ne mogu tolerirati i one koji su dopušteni. Nedostatci i štete koji nisu dopušteni su sljedeći : mjesto bez galvanizacijskog premaza, uključenje fluksa tj. kada je stari fluks spaljen uslijed uranjanja, uključenja pepela (pepeo spaljen tijekom uranjanja), crne točke (uključujući čestice fluksa nastale tijekom taloženja fluksa), savijanje i izobličenje i naravno oštećene površine. S druge strane tijekom vršenja kontrole možemo ustanoviti nedostatke koji su prihvatljivi ukoliko nisu prisutni u velikim količinama ili ako u prethodnom dogovoru i zahtjevu kontrole nisu traženi a oni su : opća hrapavost, zarobljene čestice, grudatost i curenje, tupi sivi premaz, glomazni bijeli talog, mjehurići (zarobljeni vodik oslobođen tijekom kiseljenja). Navedene greške konkretno se odnose na proces cinčanja. [18]

Proces koji je potrebno provjeriti i nadgledati kada se radi o vrućem pocinčavanju je tretman površine jedkastim sredstvom (misli se na T-wash sredstvo) kako bi se ono koristilo u skladu sa tehničkim listovima proizvođača te kako bi sam tretman bio učinkovit bez zaostalih otopina na površini koja je nakon završetka temeljito osušena. Generalno promatrajući premaz cinka bi trebao biti kontinuiran i razmjerno gladak. [1] Također, ukoliko se radi o nedostacima manjih razmjera možemo ih ostaviti takvima kakvi jesu jer bi njihovo potencijalno uklanjanje moglo biti štetnije nego da ih se jednostavno ostavi netaknutima (npr. uklanjanje zaostalih površina brušenjem). Ako mala mjesta na konstrukciji ostanu gola tj. ukoliko iz određenih razloga nisu zahvaćena zaštitom može ih se prepraviti bojom koja je bogata cinkom ili u nekim slučajevima, ipak ne toliko često, korištenjem metalnog spreja ili posebnog lemila. [18]

Također, kod cinčanih premaza su dopustive varijacije u boji i teksturi jer se one razlikuju ovisno o kemijskom sastavu čelika i njegovom postupku obrade. Ukoliko provjeravamo termički raspršene premaze inspektor provjerava dali je ona ujednačena u teksturi bez prisutnih grubih, neravnih ili praškastih naslaga. Svako od primijećenih oštećenja mora biti sustavno zabilježeno i s tim se kasnije pristupa kada se vrši popravljivanje. Ukoliko se prevlake nanese cinčanjem ili raspršivanjem namjeravaju prebojiti potrebno ih je provjeriti za odgovarajuću pripremu.

Premaze nanosene prskanje potrebno je zatvorom neposredno nakon nanošenja kako ne bi došlo do stvaranja produkta korozije iz materijala za premaz ili pojave crvene hrđe u slučaju aluminija. Mjerenje debljine premaza uglavnom se odnosi na nedestruktivne metode mjerenja npr. uz uporabu elektromagnetskog indukcijskog mjerača debljine boje. [6]



Slika 30.: Digitalni mjerac debljine boje (Izvor:[34])

5.4. Kontrola i ispitivanje zaštitnih boja

Kod provođenja antikorozivne zaštite zaštitnim premazima boja specifično je to što su takvi premazi uglavnom višeslojni što je važno za napomenuti i iz aspekta kontrole. Naime, zbog svojstva premaza koji ima više slojeva potrebno je vršiti provjeru nakon svake faze nanošenja premaza. [2]Što se tiče vizualnih provjera u ovom kontekstu one služe za generalnu provjeru površine kako bi se utvrdilo da nema većih nepravilnosti ili defekata na površini. Glavna mjerenja se tiču određivanja debljine sloja premaza. Postoje mjerenja suhog i mokrog filma koja se vrše tijekom i nakon proces nanošenja boje. Ponekad se osim navedenog mogu tražiti i testovi za adheziju i poroznost ili rupice. [3]

5.4.1. Mjerenje mokrog filma (sloja)

Kod mjerenja debljine mokrog filma prednost je ta što se prilagodbe u slučaju da su potrebno mogu izvršiti odmah. Debljinu mokrog filma važno je provjeravati kako bi se utvrdilo da će naknadna debljine suhog sloja biti zadovoljena te takva debljina uglavnom koristi kao vodič za osobu koja nanosi boju i inspektore koji ju provjeravaju. Najčešći instrument koji se koristi kod mjerenja mokrog filma je češljasti mjerac. Takvu vrstu mjerača karakterizira niz izbočenja koji

su slični češlju. Izbočine koje se nalaze na krajevima ovog alata iste su debljine dok one koje se nalaze između njih gotovo uvijek variraju po visini. Mjerenje ovakvim alatom provodi se na način da se on pritisne u mokri sloj boje tako da je pozicioniran okomito u odnosu na površinu dok mu će krajnji dijelovi biti u kontaktu sa čeličnom površinom. [18]

Nakon toga, on se uklanja i kreće proces pregledavanja. Mjerenje debljine ostvaruje se pomoću zuba koji će nakon prislanjanja biti prekriveni bojom (neće biti prekriven svaki zub, dio će ih ostati iznad površine boje te neće biti prekriveni). Zube karakterizira to što su određeni debljinom u mikrometrima, a ukupna debljina sloja uzima se kao prosjek između stupnja koji je najviše prekriven bojom i stupnja koji nije prekriven odnosno najnižeg stupnja. Ukoliko se u ovom procesu dogoditi situaciju da nijedan zub ne bude prekriven bojom u tom se slučaju prelazi na drugi češalj obzirom da ih ima prilično puno i dostupni su u stanju nehrđajućeg čelika. Nakon uporabe potrebno ih je temeljito očistiti. Također postoje i jednokratni plastični alati koji se uglavnom koriste za ubrzanje samog procesa. [3]

Drugi način mjerenja mokrog sloja je također mjeračem koji se sastoji od kotačića zajedno sa dva vanjska prstena jednakih promjera i središnjim ekscentričnim prstenom sa gradacijama. Njime se služimo na način da ga držimo između palca i prsta i tako ga kotrljamo po obojenoj površini te nakon toga unutrašnji prsten pregledamo i debljinu označavamo na gradacijskoj oznaci na mjestu gdje boja više ne prekriva prsten. Kao što smo prije napomenuli debljina suhog i mokrog sloja su povezane te to možemo prikazati sljedećim odnosom: debljina suhog sloja = debljina mokrog sloja x % čvrstih tvari / 100. [3]



Slika 31.: Češalj mjerač (Izvor:[9])

5.4.2. Mjerenje suhog filma (sloja)

Mjerenje se mora vršiti i za suhe slojeve koji su vrlo važan čimbenik u kontroli sustava premaza. Uglavnom se takva mjerenja vrše na cijelom sustavu boja svaki sloj se zasebno provjerava sukladno sa procesom primjena boja. Minimalne vrijednosti za suhe slojeve moraju biti navedene u specifikacijama te je pri ovakvim mjerenjima vrlo važno razumjeti da je većina mjerača za suhe slojeve kalibrirana na drugačiji i zaseban način te da sukladno tome možemo dobiti različite vrijednosti mjerenja koja se primjenjuju na istim površinama. [2] Jedna od najčešće korištenih metode za mjerenje debljina je pomoću mjerača sa elektromagnetskom indukcijom koji je prijašnje spomenut u svrhe mjerenja mokrog sloja. Točnost kod ovakvih mjerenja potrebno je provjeravati tijekom uporabe korištenjem kalibriranih mjernih pločica. Ukoliko koristimo mjerač za mjerenje premaza koji se nalazi na površini koja je obrađena pjeskarenjem rezultat očitavanja suhog filma neće uzeti u obzir pjeskarenu podlogu. Jedna od učinkovitih metoda koja se koristi kako bi se ovaj problem riješio je prvobitno dobivanje visina od vrha do dna profila nakon pripreme površine tj. neposredno prije nanošenja zaštitnog premaza te se ta vrijednost oduzima od izmjerene vrijednosti debljine koju je učitao mjerač. [18]

Ostale metode mjerenja podrazumijevaju upotrebu glatkih mjernih pločica koji funkcioniraju na način da se premazuju istovremeno kad i dio konstrukcije koji obrađujemo te tada nema potrebe za oduzimanjem odnosno reduciranjem rezultata mjerenja. Kao što je prethodno navedeno, važno je da su debljine slojeva određene u specifikaciji te ukoliko nisu od iznimne je važnosti da se dogovor o stvarnim zahtijevanim veličinama postigne prije početka samog projekta. Kako bi se precizno i točno odredila debljina potrebno je vršiti niz mjerenja odnosno nije dovoljno samo jedno mjerenje. [18] Da izbjegnemo netočna očitavanja mjerenja se ne uzimaju unutar 12 mm od rubova ili rupa. Također, potrebna je provjera da nije došlo do izvođenja prekomjerne debljine sloja jer iako se veća debljina sloja u početnim fazama ne promatra kao negativno svojstvo, kasnije ona ne smije biti premašena jer može stvoriti visoka naprezanja koja mogu rezultirati prijevremeni kvarom konstrukcije.

Treba voditi računa i o tome da su magnetski mjerači pod utjecajem zakrivljenosti površine te se taj problem rješava kalibracijom mjerača na slično zakrivljenoj površini koja nije obložena. Kako bi mjerenja ovim mjeračima bila što točnija oni se moraju polagati okomito na površinu. Takvi mjerači rade podobno na temperaturama od 4 do 49 Celzijevih stupnjeva te sukladno tome ukoliko se na terenu pojave ekstremne temperature mjerač tada treba provjeriti s barem jednim referentnim standardom debljine nakon što su oboje na istoj sobnoj temperaturi. [3]

5.5. Sigurnost

Na posljatku poželjno se dotaći elementa same sigurnosti kod ovakvih radova. Dakle inspektor koji provodi kontrolu nema ovlasti ni kvalifikacije biti inženjer sigurnosti ili nadzornik no postoji opći zahtjev koji se odnosi na sve sudionike da vode računa o vlastitoj sigurnosti te slijede sigurnosne zahtjeve i prijave nesigurne uvjete nadležnoj osobi. Inspektor koji vrši provjeru mora biti odjeven u zaštitnu odjeću te koristiti odgovarajući oblik zaštite dišnih puteva kao i poštivanje općih pravila sigurnosti na gradilištu. Rad na visinama radi se uz upotrebu sigurnosnih pojaseva te se takvi radovi izvode u prisutnosti drugih osoba. Dakle, nijedna radnja kontrole koje provodi nadležni inspektor ne smije nipošto ugroziti njegovu sigurnost ili sigurnost drugih ljudi oko njega. [3]

6. ZAKLJUČAK

Glavni cilj ovog rada bio je prikazati funkcioniranje i nanošenje osnovnih sustava antikorozivne zaštite iz aspekta trajnosti i oblikovanja čeličnih konstrukcija. Fokus je dan na osnovne sustave pasivne zaštite odnosno na bojanje, cinčanje i njihovoj kombinaciji tj. duplex sustav. Također, uz pasivnu zaštitu obrađena je i aktivna zaštita odnosno navedeni su primjeri oblikovanja konstrukcije i njezinih detalja koji pridonose i poboljšavaju samu korozivnu otpornost čeličnih konstrukcija.

Važno je napomenuti da svaka ozbiljnija zaštita od korozije ne može uopće biti razmatrana ukoliko nisu obavljene odgovarajuće analize i pripreme za njezino nanošenje. Riječ je o poznavanju okoliša u kojem se nalazi konstrukcija, na temelju koje će se odrediti potrebna razina zaštite. Potom, od izuzetne je važnosti napraviti temeljitu i odgovarajuću pripremu čeličnih površina. Radi se o raznim postupcima obrade, odnosno čišćenja, koji omogućuju bolje prijanjanje premaza na čelik i samim time utječu na aspekte trajnosti i ekonomičnosti konstrukcija. Jedan od takvih procesa koji je gotovo nezaobilazan faktor antikorozivne zaštite je abrazivno pjeskarenje. On se temelji na izbacivanju abraziva čestice, sačme ili pijeska, pomoću centrifugalnih impelera velikih brzina ili u mlazu komprimiranog zraka s ciljem da se maknu razni nedostaci poput naslaga ili onečišćenja (masti, ulja i slično) kako bi površina bila čista i spremna za nanošenje zaštite.

Jedan od najčešće korištenih sustava pasivne zaštite je nanošenja premaza (boje). One se uglavnom nanose u više slojeva od kojih svaki ispunjava svoju zadaću i jednako je bitan. Završni sloj suprotstavlja se vanjskim utjecajima. Zaštitne boje mogu se nanositi raznim metodama, a jedna od najčešće korištenih je nanošenje boje bezračnim raspršivanjem. Sljedeća metoda koja je također često primjenjivana u praksi je cinčanje. Ona se temelji na uranjanju čeličnih površina u rastaljeni cink te se na taj način postiže odgovarajuća zaštita. Također, moguća je kombinacija dva prethodno navedena sustava koja se popularno naziva duplex sustav. Takav sustav je izuzetno kvalitetan i učinkovit, no zahtijeva značajan financijski izdatak. Funkcionira na principu da se na sloj cinka dodatno nanosi zaštitni sloj od premaza. Naravno, samo oblikovanje konstrukcije i njezinih detalja može dodatno pomoći pri zaštiti na način da se određeni detalji u konstrukciji izbjegavaju ili pak potiču. Ukratko, takvim detaljima nastoji se izbjeći zadržavanje vlage i skupljanje prljavštine što znatno poboljšava trajnost konstrukcije. Osim nanošenje zaštite jednako je važna i njihova kontrola od strane kvalificirane osobe koja će kontrolirati proces nanošenja zaštite u svim fazama i na taj način osigurati ispravno nanošenje zaštite, odnosno duže trajanje konstrukcije.

Na temelju obrade svakog pojedinačnog sustava zaključak je da svaki od njih pravilno izveden može pružiti odgovarajuću zaštitu, no ispravan odabir same zaštite ovisi o okruženju u kojem

će se konstrukcija nalaziti. Drugim riječima poznavanje odgovarajućih normi na temelju kojih projektant projektira konstrukciju i propisuje zaštitu je ključan korak u pravilnom izvođenju bilo kojeg od navedenih sustava. Ipak, za bolje razumijevanje samog koncepta antikorozivne zaštite možemo utvrditi da zatvoreni i natkriveni prostori koji nisu izloženi agresivnom okolišu štite bojama, dok se vanjske konstrukcije koja se izložene agresivnoj atmosferi u praksi nešto češće štite cinčanjem i/ili kombinacijom tih dvaju sustava. Važno je i napomenuti da je popularno nazvani duplex sustav izuzetno skup sustav zaštite te da on nedvojbeno može usporiti sam proces proizvodnje i izvođenja konstrukcija stoga se mora i tretirati na takav način. Dakle, radi se o izuzetno učinkovitom i trajnom sustavu, no s druge strane on je skup i specifičan sustav.

Na temelju svega navedenog očito je da korozija može biti izuzetno opasna po čelične konstrukcije i njezine elemente, a nerijetko i pogubna ukoliko nije tretirana na odgovoran i stručan način. Antikorozivni sustavi koji se primjenjuju na čelične konstrukcije moraju biti izvedeni izuzetno kvalitetno jer ćemo na taj način produžiti životni vijek konstrukciji i omogućiti njezino ispravno i sigurno korištenje što bi svakako trebao biti glavni zahtjev i cilj projektanta, izvođača, vlasnika i krajnjeg korisnika građevine.

7. POPIS LITERATURE

- [1] Corrosion of structural steel. *SteelConstruction.info*. Dostupno: https://www.steelconstruction.info/Corrosion_of_structural_steel
<https://www.maxkote.co.uk/>
- [2] Davison B., Owens G.W.: *Steel Designer's Manual (7th Edition)*. Chapter 36 – Corrosion and corrosion prevention. Wiley-Blackwell, USA; 2012.
- [3] Bayliss D.A., Deacon D.H.: *Steelwork Corrosion Control (2nd edition)*. Spon Press, Taylor & Francis Group, London and New York; 2002.
- [4] Hrvatski normativni dokument. *HRN4You – Hrvatski zavod za norme: HRN_EN_ISO_12944-2_2018*. Dostupno: <https://repositorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+ISO+12944-2%3A2018>
[Pristupljeno: 15. srpnja 2024.]
- [5] Corrosion Prevention. *Corrosionpedia.com*. Dostupno: <https://www.corrosionpedia.com/>
[Pristupljeno: 20. srpnja 2024.]
- [6] American Galvanizers Association. *Hot-dip galvanizing (HDG)*. Dostupno: <https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanizing> [Pristupljeno 20. srpnja 2024.]
- [7] Biezma V.M., Agudo D.: The Impact of Design on Material Corrosion: An Illustrative Example, *The Journal of Corrosion Science and Engineering*, Vol. 20, 90, 1-24, 2018.
- [8] MaxKote. Dostupno: <https://www.maxkote.co.uk/> [Pristupljeno 1. rujna 2024.]
- [9] Gauge it – *gaugeit.co.za*. Dostupno : <https://gaugeit.co.za/elcometer-112-aluminium-wet-film-comb-25-3000%C2%B5> [Pristupljeno 1. rujna 2024.]
- [10] issuu.com – „*Blastone Surface Preperation Guide. Grades Of Blast Cleanded Steel.*“ Dostupno : https://issuu.com/kateklem/docs/b3089_surface-prep-guide-chart [Pristupljeno 1. rujna 2024.]
- [11] m-KVADRAT – IZDANJE br. 176. Dostupno : <https://m-kvadrat.ba/kako-izmjeriti-kolicinu-korozije-celicne-armature/> [Pristupljeno 1. rujna 2024.]
- [12] University of Babylon. „*Corrosion control by design*“. Dostupno: https://www.uobabylon.edu.iq/eprints/publication_12_18403_228.pdf [Pristupljeno 20. srpnja 2024.]
- [13] Cinčaona Helena d.o.o. – „*Porces pocinčavnja*„. Dostupno : <http://www.cincaonahelena.hr/proces-pocincavanja/> [Pristupljeno 1. rujna 2024.]

- [14] TWI – World Leaders In Hydrogen : „*Distortion – Types and Causes*“. Dostupno : <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/distortion-types-and-causes-033> [Pristupljeno 1. rujna 2024.]
- [15] Metal Plate Galvanizing, L.P. – Dostupno : <https://metalplate.com/technical/duplex/> [Pristupljeno: 1. rujna 2024.]
- [16] Hendy C.R., Iles D.C. : *Steel bridge group : Guidance notes on best practice in steel bridge construction*. Guidance note – N.8.02. SCI, Silwood Park, Ascot Berkshire, UK ; 2015
- [17] Hendy C.R., Iles D.C. : *Steel bridge group : Guidance notes on best practice in steel bridge construction*. Guidance note – N.8.03. SCI, Silwood Park, Ascot Berkshire, UK ; 2015
- [18] Hendy C.R., Iles D.C. : *Steel bridge group : Guidance notes on best practice in steel bridge construction*. Guidance note – N.8.06. SCI, Silwood Park, Ascot Berkshire, UK ; 2015
- [19] Galvanizing Structural Steelwork – An Approach to the Management of Liquid Metal Assisted Cracking. Dostupno: https://www.steelconstruction.info/images/1/11/BCSA_40-05.pdf [Pristupljeno: 15. srpnja 2024.]
- [20] Wikipedia: „*Forth Bridge*“. Dostupno: https://en.wikipedia.org/wiki/Forth_Bridge [Pristupljeno: 02. rujna 2024.]
- [21] CBC News: „*Mercier Bridge inspections reveal alarming decay*“. Dostupno: <https://www.cbc.ca/news/canada/montreal/mercier-bridge-inspections-reveal-alarming-decay-1.1083694> [Pristupljeno: 02. rujna 2024.]
- [22] DIS-TRAN STEEL: „*The 8th Deadly Sin of Shipping Steel Structures*“. Dostupno: <https://www.distransteel.com/blog/bid/99172/the-8th-deadly-sin-of-shipping-steel-structures> [Pristupljeno: 02. rujna 2024.]
- [23] American Galvanizers Association: „*Preparing HDG for Powder Coat*“ Dostupno: <https://galvanizeit.org/specification-and-inspection/specifying-duplex-systems/preparing-hdg-for-powder-coating> [Pristupljeno: 02. rujna 2024.]
- [24] British Stainless Steel Association Dostupno: <https://bssa.org.uk/>
- [25] Androić B.: *Metalne konstrukcije 1*. Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, Hrvatska; 1994.
- [26] Stefanovic J., Miskovic Z.M., Marković Z., Spremić M., Dimitrijevic S.: „*Experimental and Numerical Investigation of Steel Elements Degradation Due to Corrosion in Industrial Environment*“. Dostupno: <https://www.preprints.org/manuscript/202403.1800/v1> [Pristupljeno: 10. rujna 2024.]
- [27] National Library of Medicine – *A Simplified Approach for the Corrosion Fatigue Assessment of Steel Structures in Aggressive Environments*. Dostupno : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8950987/> [Pristupljeno: 15. srpnja 2024.]

- [28] Apera – *Corrosion vs. Rust – What's the Difference ?* Dostupno : <https://www.arepa.com/resources/blog/corrosion-vs-rust-what-s-the-difference/>
[Pristupljeno: 02. rujna 2024.]
- [29] UHP Water blasting Services – solentpc.co.uk. Dostupno : <https://solentpc.co.uk/uhp-water-blasting/> [Pristupljeno: 07. rujna 2024.]
- [30] Best deluxe car detailing – bestdeluxewash.com Dostupno : <https://bestdeluxewash.com/can-you-use-paint-thinner-to-clean-metal-before-painting/>
[Pristupljeno: 07. rujna 2024.]
- [31] KTA – *When to Use Conventional versus Airless Spray*. Dostupno : <https://kta.com/kta-university/conventional-versus-airless-spray/> [Pristupljeno: 07. rujna 2024.]
- [32] twice - twiceservices.com. Dostupno : <https://twiceservices.com/metal-painting/>
[Pristupljeno: 07. rujna 2024.]
- [33] iBuilders - *Metalna boja : karakteristike i suptilnost kod izbora*. Dostupno : <https://ibuilders-hr.techinfus.com/kraski/po-metallu/> [Pristupljeno: 07. rujna 2024.]
- [34] Linshang Technology ; *Make measurement easier*. Dostupno : <https://www.linshangtech.com/tech/tech665.html> [Pristupljeno: 07. rujna 2024.]
- [35] The British Constructional Steelwork Association Ltd. : *Steel buildings*. Chapter 12 – Corrosion protection. Dostupno : https://www.steelconstruction.info/images/0/03/BCSA_35-03.pdf [Pristupljeno: 20. srpnja 2024.]
- [36] National Physical Laboratory – *Guides Practice in Corrosion Control No.9. The Corrosion of Steel in Concrete – Basic Understanding, Monitoring and Corrosion Control Methods*. Dostupno : <https://www.npl.co.uk/getattachment/research/electrochemistry/corrosion-guides/corrosion-of-steel-in-concrete-gpg-9.pdf.aspx?lang=en-GB> [Pristupljeno: 20. srpnja 2024.]
- [37] Dallin G., Gagne M., Goodwin E.F., Pole S. : *Duplex zinc coatings for corrosion protection of steel structures*. Dostupno : https://www.researchgate.net/publication/322447832_Duplex_Zinc_Coatings_for_Corrosion_Protection_of_Steel_Structures [Pristupljeno: 20. srpnja 2024.]
- [38]] Hendy C.R., Iles D.C. : *Steel bridge group : Guidance notes on best practice in steel bridge construction*. Guidance note – N.8.05. SCI, Silwood Park, Ascot Berkshire, UK ; 2015

8. POPIS SLIKA

Slika 1.: Shematski prikaz korozije u čeliku (Izvor: [1])	2
Slika 2.: Most Forth (Izvor: [20])	3
Slika 3.: Primjer hrđanja čelične konstrukcije (Izvor: [21])	4
Slika 4.: Primjer čišćenja ručnom četkom (Izvor: [30])	11
Slika 5.: Prikaz 4 stupnja čišćenja površine pjeskarenjem (Izvor: [8])	12
Slika 6.: Čišćenje mokrim pjeskarenjem (Izvor: [5])	13
Slika 7.: Čišćenje vodenim mlazom ultra visokog pritiska (Izvor: [29])	14
Slika 8.: Shematski prikaz slojeva boje i njihove funkcije (Izvor: [1])	15
Slika 9.: Dijagram prikazuje sustav nanošenja opisanih slojeva na očišćenu površinu (Izvor: [1])	17
Slika 10.: Nanošenje zaštite boje kistom (Izvor: [32]).....	18
Slika 11.: Nanošenje zaštite valjkom (Izvor: [33]).....	19
Slika 12.: Nanošenje zaštite raspršivanjem boje bez zraka (Izvor: [30])	20
Slika 13.: Shematski prikaz procesa cinčanja (Izvor: [13])	21
Slika 14.: Izranjanje čelika iz kupke – karakterističan sjajan izgled (Izvor: [22]).....	23
Slika 15.: Distorzija čeličnih elemenata (Izvor: [14]).....	24
Slika 16.: Shematski prikaz dupleksnog sustava (Izvor: [15]).....	28
Slika 17.: Izbočine i mrlje na pocinčanom čeliku (Izvor: [23]).....	30
Slika 18.: Primjer čelične konstrukcije zaštićene dupleksnim sustavom (Izvor:[6])	32
Slika 19.: Prikaz detalja (Izvor:[1])	34
Slika 20.: Prikaz detalja (Izvor:[1]).....	35
Slika 21.: Korozija u udubini (Izvor:[7])	36
Slika 22.: Prikaz sprječavanja korozije u udubini popunjavanjem (Izvor:[12])	37
Slika 23.: Korozija u čelika u betonu (Izvor:[11])	38
Slika 24.: Nakupljanje vode i stvaranje korozije (Izvor:[7]).....	39
Slika 25.: Dizajn pogodnim detalja (Izvor:[12]).....	40
Slika 26.: Detalj koji prikazuje prednost lemljenja u odnosu na navoje (Izvor:[12])	41
Slika 27.: Spoj sa zakovicama u odnosu na zavarivanje (Izvor:[12]).....	42
Slika 28.: Prikaz različitih stanja površine prema NACE-u (Izvor:[10])	45
Slika 29.: Prikaz plastične replike zavara (Izvor:[3])	45
Slika 30.: Digitalni mjerač debljine boje (Izvor:[34]).....	47
Slika 31.: Češalj mjerač (Izvor:[9])	48

9. POPIS TABLICA

Tablica 1.: Stupnjevi korozije (Izvor [1])	7
Tablica 2.: Konstrukcija u vodi i tlu (Izvor [4]).....	9
Tablica 3.: Izračuni vremena za izloženost vlazi (Izvor [4])	9