

Djelotvornost premaza s hlapivim inhibitorima korozije

Kraljević, Andrea

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:348849>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Andrea Kraljević

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Stojanović, dipl. ing.

Student:

Andrea Kraljević

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Ivanu Stojanoviću na savjetima i pomoći prilikom izrade ovog završnog rada.

Zahvaljujem se svim djelatnicima Laboratorija za zaštitu materijala na strpljivosti i pomoći prilikom obavljanja eksperimentalnog dijela rada.

Zahvaljujem se roditeljima i sestri te obitelji i prijateljima koji su mi bili podrška tijekom studiranja.

Andrea Kraljević



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za završne i diplomске ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 22 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 21 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Andrea Kraljević**

JMBAG: **0035217093**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Djelotvornost premaza s hlapivim inhibitorima korozije**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Efficiency of coatings with volatile corrosion inhibitors**

Opis zadatka:

U radu je potrebno obraditi organske premaze, komponente u premazu i njihove funkcije. Prikazati svojstva premaza s inhibitorima korozije, prednosti i nedostatke. Detaljnije opisati mehanizam djelovanja hlapivih inhibitora korozije u temeljnim premazima. Obraditi trendove razvoja i mogućnosti primjene u metalnoj industriji.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je ispitati djelotvornost hlapivih inhibitora korozije u organskim premazima. Osmisliti i provesti laboratorijska ispitivanja korozijske otpornosti premaza nanijetih na ispitne uzorke. Analizirati rezultate i izvesti zaključke.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.
3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Zadatak zadao: *Stojanović*
Izv. prof. dr. sc. Ivan Stojanović

Bauer
Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. OSNOVNO O KOROZIJI.....	2
3. ZAŠTITA OD KOROZIJE.....	4
3.1. Zaštita prevlakama	4
3.2. Primjena korozivski postojanih materijala.....	5
3.3. Konstrukcijsko – tehnološke mjere.....	5
3.4. Elektrokemijska zaštita	6
3.5. Zaštita inhibitorima korozije.....	7
4. ORGANSKI PREMAZI	8
4.1. Zaštitno djelovanje premaza	8
4.1.1. Učinak barijere.....	9
4.1.2. Učinak inhibitora	9
4.1.3. Galvanski učinak.....	9
4.2. Priprema površine	10
4.3. Komponente premaza	10
4.3.1. Veziva	11
4.3.2. Otapala	12
4.3.3. Pigmenti	13
4.3.4. Punila	13
4.3.5. Aditivi	13
5. PREMAZI S INHIBITORIMA KOROZIJE	14
5.1. Podjela inhibitora	14
5.1.1. Anodni inhibitori.....	15
5.1.2. Katodni inhibitori.....	15
5.1.3. Mješoviti inhibitori	16
5.2. Hlapivi inhibitori.....	16
5.2.1. Mehanizam djelovanja hlapivih inhibitora korozije	17
5.2.2. Djelotvornost inhibitora	18
5.2.3. Prednosti i nedostaci hlapivih inhibitora korozije.....	19
5.3. Primjena hlapivih inhibitora korozije	20
5.3.1. Zaštita u preradi metala.....	20
5.3.2. Zaštita električnih komponenti	20
5.3.3. Zaštita prilikom skladištenja	21

5.4. Hlapivi inhibitori korozije u premazima	22
6. EKSPERIMENTALNI DIO	25
6.1. Mjerenje debljine uzoraka.....	26
6.2. Ispitivanje prionjivosti premaza pomoću testa „Cross-cut“.....	29
6.3. Ispitivanje uzoraka u vlažnoj komori.....	32
6.4. Ispitivanje uzoraka u slanoj komori	39
6.5. Ispitivanje otpornosti premaza na udar	45
7. ZAKLJUČAK.....	47
LITERATURA.....	48
PRILOZI.....	50

POPIS SLIKA

Slika 1. Shematski prikaz nekih oblika korozije [4]	3
Slika 2. Prikaz dobre i loše konstrukcije za otjecanje [5]	6
Slika 3. Primjer sprječavanja galvanske korozije [5]	6
Slika 4. Pregled inhibitora korozije za vodene otopine.....	7
Slika 5. Izbjegavanje prodorne poroznosti troslojnim sustavom premaza.....	9
Slika 6. Podjela inhibitora korozije [9]	15
Slika 7. Mehanizam djelovanja hlapivog inhibitora korozije [10].....	17
Slika 8. Zaštita osiguračke kutije korištenjem inhibitora [16]	21
Slika 9. Skladištenje elemenata zaštitnom folijom s inhibitorima korozije [17]	22
Slika 10. Djelovanje tradicionalnog premaza (lijevo) i premaza s hlapivim inhibitorima korozije (desno) [18]	23
Slika 11. Mehanizam oslobađanja inhibitora iz premaza [19]	23
Slika 12. Učinkovitost premaza s hlapivim inhibitorima korozije [20]	24
Slika 13. Uređaj za mjerenje debljine „Elcometer 456“	26
Slika 14. Način mjerenja debljine	27
Slika 15. Koraci „Cross-cut“ testa.....	29
Slika 16. Vlažna komora, FSB	32
Slika 17. Uzorci iz vlažne komore nakon 5 dana	33
Slika 18. Slana komora, FSB	39
Slika 19. Uzorci iz slane komore nakon 5 dana	40
Slika 20. Ispitivanje otpornosti premaza na udar	45

POPIS TABLICA

Tablica 1. Rezultati mjerenja debljine premaza	28
Tablica 2. Ocjenjivanje rezultata „Cross-cut“ testa, norma EN ISO 2409	30
Tablica 3. Ocjene uzoraka koji nisu ispitivani u komorama	31
Tablica 4. Ocjena mjehuranja uzoraka nakon vlažne komore	34
Tablica 5. Ocjene uzoraka ispitivanih u vlažnoj komori.....	35
Tablica 6. Slikoviti standardi procjene korozije.....	36
Tablica 7. Ocjene reza uzoraka ispitivanih u vlažnoj komori	37
Tablica 8. Stupanj korozije nakon vlažne korozije	38
Tablica 9. Ocjena mjehuranja uzoraka nakon slane komore.....	41
Tablica 10. Ocjene uzoraka ispitivanih u slanoj komori	42
Tablica 11. Ocjene reza uzoraka ispitivanih u slanoj komori	43
Tablica 12. Stupanj korozije nakon slane komore	44
Tablica 13. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar	46

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
VCI	-	Volatile corrosion inhibitor
VpCI	-	Vapor phase corrosion inhibitor
f_u	-	Faktor usporenja
η_i	-	Stupanj inhibicije
$(v_{kor})_{ni}$	mm/god	Brzina korozije u neinhibiranu mediju
$(v_{kor})_i$	mm/god	Brzina korozije u inhibiranu mediju
Θ	-	Prekrivenost površine metala inhibitorom
k_0	mm/god	Brzina korozije u sustavu bez inhibitora
k_i	mm/god	Brzina korozije u sustavu s inhibitorom
c	-	Koncentracija inhibitora
K	-	Ravnotežna konstanta reakcije adsorpcije
f	-	Parametar koji se odnosi na promjenu adsorpcijske izoterme s prekrivenosti metalne površine (Θ)
c	mm	Stupanj korozije
w_c	mm	Srednja ukupna širina zone korozije
w	mm	Širina originalnog reza

SAŽETAK

U ovom završnom radu je ukratko opisana korozija te metode zaštite od korozije. Obradeni su organski premazi. Opisan je mehanizam djelovanja hlapivih inhibitora korozije u temeljnim premazima.

U eksperimentalnom dijelu su ispitani uzorci zaštićeni premazima koji sadrže hlapive inhibitore korozije. Na kraju su izvedeni zaključci o djelotvornosti pojedinih premaza na osnovu rezultata ispitivanja.

Ključne riječi: korozija, zaštita od korozije, hlapivi inhibitori korozije

SUMMARY

This paper briefly describes corrosion and corrosion protection methods. Organic coatings and the mechanism of action of volatile corrosion inhibitors in primers are described in more detail.

In the experimental part, samples protected with coatings containing volatile corrosion inhibitors were investigated. Finally, conclusions were drawn on the effectiveness of individual coatings based on test results.

Key words: corrosion, corrosion protection, volatile corrosion inhibitors

1. UVOD

Korozija je jedan od najraširenijih štetnih procesa koji razaraju konstrukcijske materijale od trenutka njihova nastanka pa sve do kraja njihovog vijeka trajanja. Korozija svojim kemijskim djelovanjem razara materijal, korodirati mogu i drugi materijali, osim metala, poput keramike, stakla i betona no najčešće se govori o koroziji metala. Korozija smanjuje masu metala i njegovu uporabnu vrijednost te jako velike količine materijala mogu postati neupotrebljive ako korodira element koji je dio neke veće konstrukcije. Korozija uzrokuje ogromne troškove u gospodarstvu, a studijom je utvrđeno da se ti troškovi mogu smanjiti primjenom odgovarajućih metoda površinske zaštite. Površinskom zaštitom se nastoje usporiti korozijski procesi, a postupci zaštite od korozije su zaštita prevlakama, primjena korozijski postojanih materijala, katodna i anodna zaštita, konstrukcijsko-tehnološke mjere te zaštita inhibitorima korozije. Zaštita nanošenjem prevlaka je najraširenija metoda zaštite od korozije. U daljnjem radu detaljnije su obrađeni organski premazi te djelovanje hlapivih inhibitora korozije u temeljnim premazima. [1]

2. OSNOVNO O KOROZIJI

Korozija (lat. *corrodere*, *nagristi*) je štetno i nepoželjno trošenje konstrukcijskih materijala uzrokovano kemijskim djelovanjem fluida. Korozija smanjuje životni vijek industrijske opreme, poskupljuje njeno održavanje te zbog toga uzrokuje brojne gubitke i troškove u gospodarstvu.

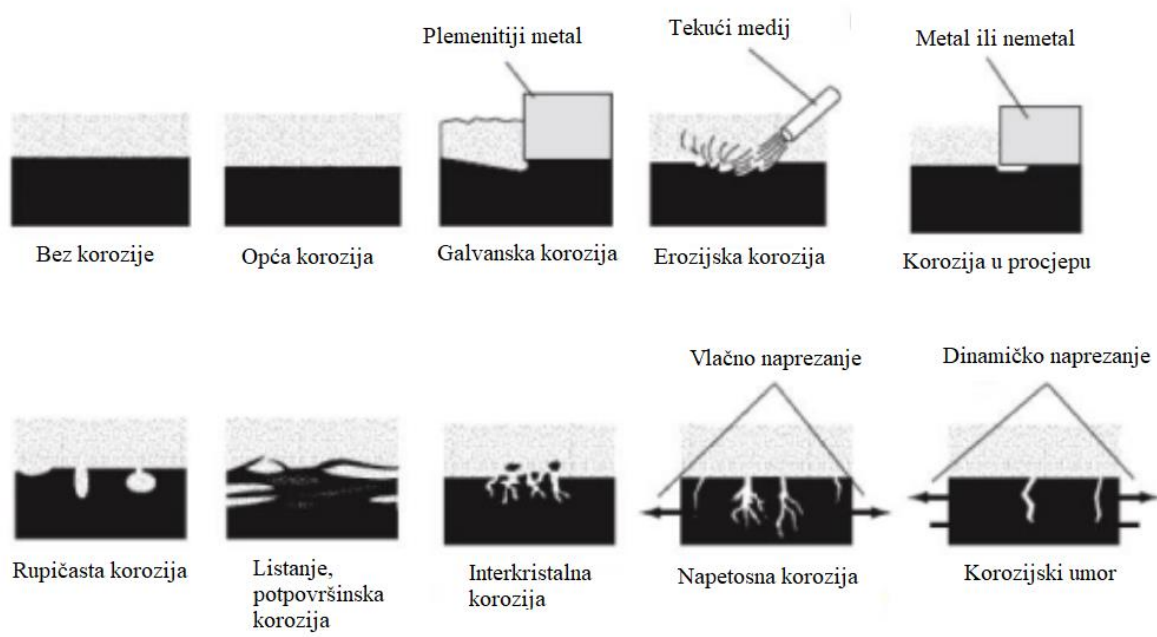
Troškovi korozije obično su izraženi u omjeru bruto nacionalnog proizvoda (BNP), koji se kreće od oko 2 % do 5 %, ovisno o tome jesu li uzeti u obzir i neizravni gubici koji se mogu pripisati koroziji. Ovaj visoki trošak izravno proizlazi iz općeg nedostatka svijesti o ekonomskom utjecaju korozije i lošeg izbora mjera zaštite. Studija koja je provedena u Velikoj Britaniji procijenila je godišnje troškove u pet agresivnih okruženja kao što su kemijski i petrokemijski sektor (2720 milijuna EUR), priobalni sektor (392,5 milijuna EUR), automobilski sektor (251,2 milijuna EUR), sektor hrane i pića (7,85 milijuna EUR) i građevinski sektor čelika (3,9 milijuna EUR). [2]

Prema podacima Svjetske korozijske organizacije (WCO – The World Corrosion Organization) troškovi uslijed korozije još uvijek nisu pod kontrolom. Za 2006. ukupni troškovi zbog korozije u svijetu iznose čak 2200 milijardi USD, dok su za 2011. troškovi procijenjeni na 3300 milijardi USD. [1]

S obzirom na mehanizme procesa i medije razlikujemo kemijsku i elektrokemijsku koroziju. Kemijska korozija metala se zbiva u neelektrolitima, odnosno u medijima koji ne provode električnu struju. Elektrokemijska korozija se javlja na metalima i legurama u dodiru s elektrolitima, kao što su voda i vodene otopine kiselina, lužina i soli, pri čemu se odvijaju reakcije oksidacije i redukcije. [3]

S obzirom na geometrijski oblik korozijskog razaranja razlikujemo opću, lokalnu, selektivnu i interkristalnu koroziju. Lokalna korozija se dijeli na pjegastu, rupičastu, potpovršinsku i kontaktnu (galvanska i korozija u procjepu).

Na slici 1 su prikazani neki od oblika korozije, osim gore navedenih prikazani su i neki drugi oblici korozije poput erozijske i napetosne korozije.



Slika 1. Shematski prikaz nekih oblika korozije [4]

3. ZAŠTITA OD KOROZIJE

Budući da korozija uvelike narušava svojstva konstrukcijskih materijala primjenjuju se različite metode zaštite od korozije. Metode zaštite od korozije mogu spriječiti ili usporiti razvoj različitih pojava oblika korozije.

Sprečavanje i/ili usporavanje korozije se može provesti načelom smanjenja ili poništenja pokretne sile te načelom povećanja otpora pokretnoj sili. Ova dva načela se mogu provesti na tri načina:

- promjenom unutarnjih čimbenika oštećivanja
- promjenom vanjskih čimbenika oštećivanja
- odvajanjem konstrukcijskog materijala od medija.

Osnovna podjela metoda zaštite od korozije:

- zaštita prevlakama
- primjena korozijski postojanih materijala
- konstrukcijsko-tehnološke mjere
- elektrokemijska zaštita
- zaštita inhibitorima korozije.

Različite metode se mogu i međusobno kombinirati kako bi se postigla što bolja zaštita.

3.1. Zaštita prevlakama

Zaštita prevlakama se temelji na odvajanju materijala od različitih medija koji ga okružuju te uzrokuju koroziju.

Pored primarne svrhe zaštite od korozije zaštitne prevlake imaju i druge pogodne učinke zbog kojih se primjenjuju u praksi. Neki od tih učinaka su zaštita od mehaničkog trošenja, postizanje estetskog izgleda i određenih fizikalnih svojstava te povećanje dimenzija istrošenih dijelova.

Zaštitne prevlake mogu biti metalne, nemetalne, anorganske i organske.

3.2. Primjena korozijski postojanih materijala

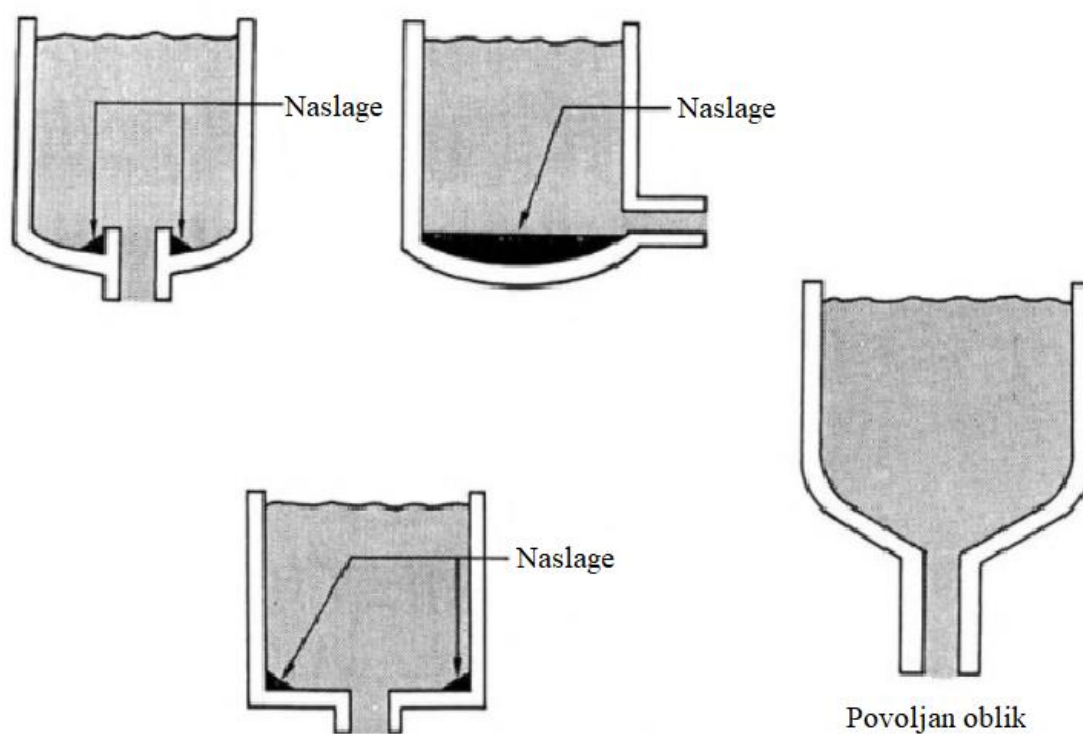
Primjena korozijski postojanih materijala je jedna od jednostavnijih metoda zaštite od korozije. Korozijski postojani materijali su oni materijali koji u jednakim uvjetima znatno sporije korodiraju te se tako, bez dodatne zaštite i uz lakše održavanje, produljuje vijek trajanja konstrukcija. Na izbor odgovarajućeg materijala mogu utjecati razni faktori poput medija koji će okruživati konstrukciju, zahtijevani vijek trajanja, cijena, estetski izgled.

Materijali koji se najčešće primjenjuju kao korozijski postojani su različite vrste nehrđajućeg čelika, aluminij, bakar, titan, legure nikla i drugi.

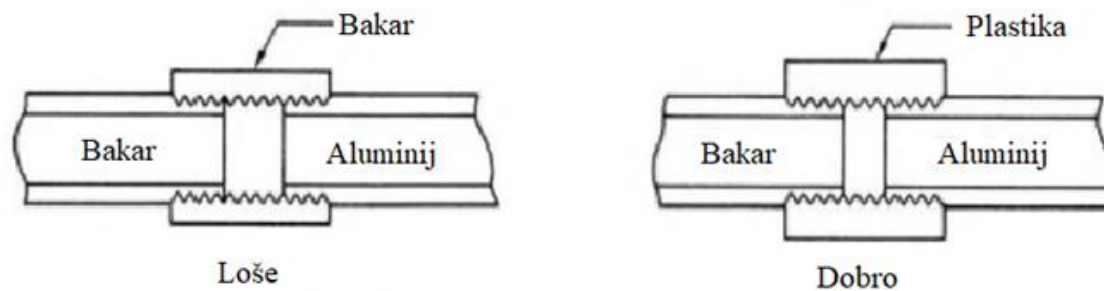
3.3. Konstrukcijsko – tehnološke mjere

Na sami razvoj korozije se može djelovati već prilikom konstruiranja i oblikovanja dijelova. Pravilnim i dobro promišljenim konstruiranjem, ovisno o budućoj primjeni nekog dijela, se može uvelike usporiti nastanak i razvoj korozije. Jedno od osnovnih pravila je da se svaka heterogenost treba izbjegavati.

Prilikom konstruiranja treba paziti da se dijelovi mogu lako čistiti i premazati zaštitnim prevlakama, treba osigurati da voda i drugi mediji mogu nesmetano otjecati. Treba izbjegavati spojeve metala gdje je jedan plemenitiji od drugog kako bi se spriječila kontaktna korozija. Treba izbjegavati velika naprezanja te oštre zavoje u cjevovodnim sustavima kako bi se smanjio rizik od pojave napetosne odnosno erozijske korozije. Također pravilno izvedeni zavareni spojevi imaju prednost pred vijčanim spojevima jer smanjuju mogućnost nastanka korozije u procjepu, a istovremeno se smanjuje i masa same konstrukcije. Na slikama 2 i 3 su prikazani neki primjeri konstrukcijske zaštite.



Slika 2. Prikaz dobre i loše konstrukcije za otjecanje [5]



Slika 3. Primjer sprječavanja galvanske korozije [5]

3.4. Elektrokemijska zaštita

Danas se elektrokemijska zaštita upotrebljava za zaštitu uronjenih i ukopanih metalnih konstrukcija koje nisu lako pristupačne za održavanje premazima, kao što su npr. cjevovodi, lučka postrojenja, brodovi, spremnici, izmjenjivači topline i armatura u građevinarstvu. [6]

Elektrokemijska zaštita može biti katodna i anodna. Kod katodne zaštite se snižavanjem potencijala metal prevodi u imuno stanje, razlikujemo protektorsku zaštitu i zaštitu narinutom strujom. Zbog određenih nedostataka kod oba mehanizma sve češće se koristi njihova kombinacija prilikom zaštite od korozije. Kod anodne zaštite potencijal metala se povisuje kako bi se doveo u pasivno stanje kada korozijski produkti tvore barijeru i djeluju zaštitno prema mediju u kojemu se konstrukcija nalazi. [1]

3.5. Zaštita inhibitorima korozije

Inhibitori korozije u malim koncentracijama usporavaju proces korozije. Mogu biti anorganskog i organskog podrijetla. Najčešće se koriste za zaštitu korozije u elektrolitima, ali se mogu koristiti i kod zaštite od atmosferske korozije u zatvorenim sustavima. Inhibitori mogu biti anodni, katodni, mješoviti te posebna skupina hlapivih inhibitora korozije. Anodni inhibitori usporavaju ionizaciju metala (anodnu reakciju), katodni usporavaju redukciju oksidansa (katodnu reakciju), mješoviti usporavaju i katodnu i anodnu reakciju. Hlapivi inhibitori se koriste prilikom zaštite metala od atmosferske korozije. [1]

Danas se intenzivno traga za novim inhibitorima velike djelotvornosti, koji bi bili ekološki prihvatljivi. Ekološka prihvatljivost znači da nisu toksični za ljude, kao ni za organizme s kojima će biti u doticaju, te da su biorazgradivi. Slika 4 prikazuje pregled vrsta inhibitora korozije za različito vremensko razdoblje, kao i glavne parametre njihova izbora.

Vremensko razdoblje	Traženo svojstvo	Vrsta inhibitora
Prije 1960.	Djelotvornost	kromati, fosfati, nitrati, borati, silikati, inhibitori sa cinkom
1960.-1980.	Ekonomičnost	polifosfati, molibdati, karboksilati
Od 1980.	ekološka prihvatljivost	tanini, prirodni polimeri, ekstrati bilja

Slika 4. Pregled inhibitora korozije za vodene otopine

4. ORGANSKI PREMAZI

Metoda zaštite organskim premazima je jedna od najuporabljivijih metoda koje se koriste za sprječavanje korozije. Jedan od razloga njihove široke primjene je taj što su cijenom jako pristupačni. O njihovoj širokoj primjeni nam govori podatak da je čak 75% ukupnih metalnih površina zaštićeno upravo organskim premazima. [1]

Organskim premazima se smatraju svi oni koje čini kompaktna organska tvar tvorbom opne. Takvi se slojevi dobiju nanošenjem organskih premaznih sredstava (bojenjem i lakiranjem), uobičajenim podmazivanjem, plastifikacijom (prevlačenjem plastičnim masama), gumiranjem i bitumenizacijom. [6]

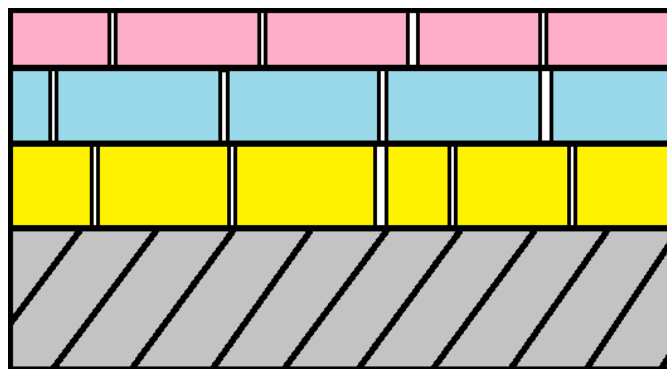
Osnovna zadaća premaza je zaštita od korozije te shodno tome trebaju biti dovoljno otporni, odnosno postojani u različitim uvjetima eksploatacije, kako bi njihova primjena bila učinkovita i isplativa. Premazi se također koriste kako bi se postigao određeni estetski izgled same metalne konstrukcije te su razvijeni razni dekorativni premazi.

4.1. Zaštitno djelovanje premaza

Zaštita premaza ovisi o debljini, poroznosti i prionjivosti premaza.

Debljina i poroznost premaza su usko povezana na način da ako se prilikom trošenja smanji debljina premaza njegova poroznost se povećava te se smanjuje učinkovitost premaza, u suprotnom ako se debljina premaza poveća smanjuje se poroznost premaza. Razlikujemo površinske, unutarnje i prodorne pore. Prodorne pore uvelike smanjuju zaštitna svojstva premaza jer korozivni medij dolazi u dodir s podlogom, budući da se protežu od površine premaza sve do podloge koju je potrebno zaštititi. Slika 5 prikazuje kako se troslojnim sustavom premaza izbjegava prodorna poroznost.

Prionjivost premaza je svojstvo da premaz što bolje prione na podlogu jer se uz lošu prionjivost veže brža pojava ljuštenja i mjehuranja premaza, a samim time korozija brže napreduje.



Slika 5. Izbjegavanje prodorne poroznosti troslojnim sustavom premaza

Postoje tri osnovna mehanizma zaštite pomoću premaza, a to su:

- učinak barijere
- učinak inhibitora
- galvanski učinak.

4.1.1. Učinak barijere

Učinak barijere postiže se primjenom debelih premaza (od 250 do 500 μm) s vrlo niskom propusnošću na vodu. Stvara se barijera koja zadržava nabijene ione i usporava prodor vode i kisika prema površini. Zbog svojih svojstava nepropusnosti, učinak barijere je prvi i često jedini izbor zaštite premazima za čelik koji je neprekidno uronjen. [1]

4.1.2. Učinak inhibitora

Učinak inhibitora postiže se primjenom temeljnih premaza s inhibitorским pigmentima koji koče ionizaciju metala pasiviranjem površine, tvorbom netopljivih slojeva korozijskih produkata te neutralizacijom kiselih tvari iz okoline. [1]

Ovakva zaštita se uglavnom koristi za zaštitu od atmosferske korozije jer kontakt vode i određenih inhibirajućih pigmenta rezultira stvaranjem mjehuranja i bržoj pojavi korozije.

4.1.3. Galvanski učinak

Galvanski učinak se ostvaruje kugličastim pigmentom od praškastog cinka u temeljnim premazima za čelik i lijevano željezo. U nastalu članku, cink je neplemenitiji metal i bit će izložen koroziji kod prodora elektrolita, dok će podloga od čelika biti zaštićena.

4.2. Priprema površine

Priprema površine ima jako velik utjecaj na dugotrajnost premaza. Ako je površina konstrukcijskog materijala dobro očišćena i pripremljena premazi mogu bolje prionuti na podlogu te se tako ostvaruje kvalitetnija i dugotrajnija zaštita. Da bi se površina dobro očistila moraju se ukloniti sva onečišćenja poput masnih tvari, prašine, čađe, pepela i koksa.

Mogući načini čišćenja površine su [1]:

- Odmašćivanje
- Ručno mehaničko čišćenje
- Strojno mehaničko čišćenje
- Čišćenje vodenim mlazom
- Čišćenje mlazom abraziva
- Kemijsko čišćenje
- Plameno čišćenje.

4.3. Komponente premaza

Premaz je općeniti naziv za jedan ili više međusobno povezanih slojeva na nekoj podlozi koji stvaraju 'suhi' film. [7]

Komponente premaza su [1]:

- Vezivo – čini opnu prevlake
- Otapalo – otapa vezivo te regulira viskoznost
- Pigmenti – daju boju premazima
- Punila – poboljšavaju mehanička svojstva premaza
- Aditivi – različiti dodaci koji utječu na određena svojstva premaza.

4.3.1. Veziva

Veziva su tvari koje povezuju sve komponente premaza čineći tvrdi zaštitni sloj. To su nehlapive tvari u tekućem ili praškastom stanju. Radi postizanja željenih svojstava mogu se kombinirati različita veziva. Neka od poznatijih veziva su veziva na bazi sušivih ulja, prirodne i umjetne smole, derivata celuloze, prirodnog ili sintetičkog kaučuka i bituminoznih tvari. [6, 8]

Sušiva ulja su esteri glicerola i masnih kiselina. Mogu se dobiti iz sjemenki lana i nekih vrsta tropskog drveća, a suše se odnosno otvrdnjavaju, oksidativnom polimerizacijom djelovanjem kisika. Budući da se deblji slojevi sporije suše dodaju se manje količine katalizatora (soli Co, Mn, Pb itd.) te se tako dobiju firnisi koji se brže suše. Uljni premazi su primjenjivi za metale i drvo. Njihova prednost je da su dosta žilavi i postojani u atmosferi, čak i pri naglim promjenama temperature i vlažnosti, no nedostatak im je da su meki, nepostojani pri većim temperaturama i mnogim kapljevinaama pri trajnom uranjanju. [8]

Alkidne smole su poliesteri viševalentnih alkohola i dvovalentnih karbonskih kiselina. To su najraširenija poliplastična veziva. Alkidi se vrlo često modificiraju drugim vezivima, neki od važnijih su sušiva, polusušiva i nesusšiva ulja, melaminske i narbamidne smole, fenoplasti, epoksidne smole, poliuretani, celulozni nitrat, kolofonij i silikoni. Alkidi se također mogu modificirati i monomerima koji sudjeluju u reakcijama otvrdnjavanja premaza. Alkidni premazi su sušivi na zraku uz dodatak uljnog firnisa. Alkidne smole se modificiraju s određenim dodatcima ovisno o tome koja svojstva želimo poboljšati. [8]

Prirodne smole uglavnom služe kao dodatak drugim vezivima, posebice alkidnim i celuloznim derivatima. Primjeri nekih prirodnih smola su kolofonij i šelak. Ljepljive tvari iz prirodnih sirovina su srodne prirodnim smolama te se koriste kao veziva premaza za građevinske materijale. [8]

Derivati celuloze su nitroceluloza, acetiluloza i celulozni acetobutirat. Premazi nastaju isparavanjem lako hlapivih otapala pa se brzo suše na zraku. Celulozna veziva se mogu modificirati alkidima no zbog razvoja kvalitetnih alkidnih premaza danas se rjeđe koriste. [8]

Prirodni kaučuk se proizvodi iz lateksa, mliječne emulzije koju izlučuju kaučukovac i druge kaučukonosne biljke. Prirodni kaučuk grijanjem i katalizom daje ciklokaučuk, a kloriranjem klorkaučuk. Klorkaučuk se može dobiti i iz sintetičkog poliizoprena ili polibutadiena. Premazi na bazi kaučuka moraju sadržavati sumpor ili njegove spojeve da bi se mogla provesti vulkanizacija. Tako se dobivaju gumeni slojevi koji se mogu primjenjivati pri širem rasponu temperatura te imaju veću postojanost u otapalima. [8]

Bituminozne tvari potječu iz nafte ili ugljenog katrana. Zbog svoje crne ili tamnosmeđe boje nisu primjenjivi u svjetlijim premazima. Suše se isparavanjem otapala, čvrsto prijanjaju na metale i građevinske materijale. Nisu postojane u organskim otapalima. [8]

4.3.2. Otapala

Otapala su organski spojevi koji služe za otapanje veziva, a da pritom ne dolazi do kemijskih promjena. Koriste se za postizanje određene viskoznosti zaštitnih sredstava pa se mogu lako nanijeti na metalnu površinu. Nakon nanošenja premaza otapala isparavaju. Najčešća otapala su niskoviskozne i lako hlapive smjese na bazi alifatskih, aromatskih i kloriranih ugljikovodika te alkohola. Isti organski spojevi se koriste kao otapala i kao razrjeđivači. Kada se koriste kao razrjeđivači svrha im je snižavanje viskoznosti. Primjenom neodgovarajućih otapala dobivaju se nekvalitetni premazi. [6, 8]

Alifatski ugljikovodici su organski spojevi ugljika i vodika. Koriste se za otapanje mineralnih ulja, masnih ulja, voskova i prafina. [1]

Aromatski ugljikovodici imaju veću sposobnost otapanja. Koriste se za otapanje ricinusovog ulja, ulja modificirane alkidne smole, ulja modificiranog stirena, poliesterskih smola, politirena i poliakrilata. [1]

Alkoholi se od ugljikovodika od kojih se izvode razlikuju po samo jednoj hidroksilnoj skupini no imaju bitno drugačija svojstva. Najzastupljeniji u proizvodnji boja je butanol, a osim njega tu su propanol, benzilni alkohol, cikloheksanol te butil glikol. [1]

4.3.3. *Pigmenti*

Pigmenti se koriste kako bi se postigla neprozirnost i obojenost premaza te se pomoću njih mogu poboljšati zaštitna i mehanička svojstva premaza, otpornost na svjetlo i grijanje te kemijska i termička postojanost. Pigmenti su prirodne ili umjetne netopljive praškaste tvari najčešće anorganskog porijekla. Pigmenti mogu biti dekorativni, antikorozijski i dekorativno-antikorozijski. Dekorativni učinak je važan samo za pokrivne premaze dok je antikorozivni učinak važan za temeljne i pokrivne premaze te međupremaze. [6, 8]

Njihovo zaštitno djelovanje može biti [6, 8]:

- pasivirajuće – kada se na metalnoj površini stvara pasivni oksidni soj;
- inhibitorsko – stvaranjem inhibitora korozije;
- neutralizirajuće – neutralizacijom kiseline iz okoline;
- pomoću katodne zaštite – korištenjem metalnih pigmenata koji imaju negativniji elektrodni potencijal od metala kojeg štite.

4.3.4. *Punila*

Punila su prirodne ili umjetne anorganske tvari koje se dodaju kao zamjena jednog dijela pigmenata. Također se koriste radi poboljšavanja mehaničkih i termičkih svojstava premaza. Cijenom su prihvatljiviji od pigmenata te pojeftinjuju premaze. Najpoznatija punila su barit, kreda i silikati. [6, 8]

4.3.5. *Aditivi*

Aditivi se u premaze dodaju u malim količinama s ciljem postizanja određenih svojstava koji se inače teže postižu ili s ciljem smanjenja nedostataka. Prema nedostatku na koji djeluju aditivi mogu biti [1]:

- disperzanti i okvašivači – dispergiraju pigmente i punila u tekućoj smjesi otapala i veziva te omogućuju lakše kvašenje;
- katalizatori – ubrzavaju reakciju umrežavanja;
- aditivi za regulaciju površine – sredstva na bazi silikona za povećanje glatkoće i poboljšanje izgleda površine.

5. PREMAZI S INHIBITORIMA KOROZIJE

U metodama zaštite od korozije značajno mjesto zauzimaju inhibitori. To su tvari koje u malim količinama mogu znatno usporiti korozijski proces u agresivnom okruženju. Mogu biti anorganskog ili organskog porijekla. Na izbor inhibitora utječe metal koji se štiti te okruženje i uvjeti u kojima se nalazi sam metal. Najčešća primjena inhibitora je prilikom zaštite od korozije u elektrolitima te se mogu koristiti kod zaštite od atmosferske korozije u zatvorenim sustavima. Postoji širok raspon kemijskih spojeva koji imaju inhibitorska svojstva, no u praktičnim sustavima se koristi mali dio njih. Zbog toga što su u praksi uz svojstvo zaštite metala poželjna i razna druga svojstva, velik utjecaj na primjenu ima cijena, raspoloživost, toksičnost i drugo. [6]

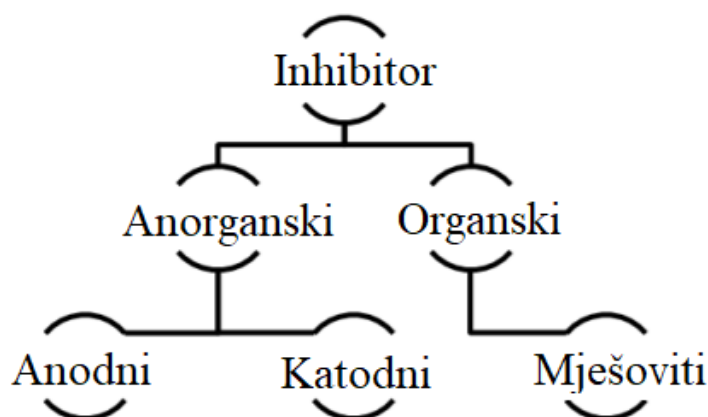
Česta je pojava uporabe dvaju ili više inhibitora zajedno zbog toga što imaju veći učinak. Ta pojava se naziva sinergističkim efektom, a temelji se na kombinaciji katodnih i anodnih inhibitora. U suvremenoj primjeni inhibitori se rijetko upotrebljavaju kao pojedinačni spojevi. Najčešće se kombiniraju dva ili više njih zajedno. Razlog tome je što pojedinačni inhibitori djeluju na ograničen broj metala pa se za zaštitu višemetalnih sustava koriste smjese inhibitora. Zbog kombinacije anodnih i katodnih inhibitora potrebna je manja koncentracija za djelotvornije djelovanje. [6]

5.1. Podjela inhibitora

Postoje razne podjele inhibitora, neke od glavnih podjela su [6]:

- prema sastavu i svojstvima – anorganski i organski; alkalni i neutralni; hlapivi i nehlapivi; oksidirajući i neoksidirajući
- prema sigurnosti – „sigurni“ i „opasni“
- prema mehanizmu djelovanja – anodni, katodni i mješoviti.

Slika 6 prikazuje podjelu inhibitora.



Slika 6. Podjela inhibitora korozije [9]

5.1.1. Anodni inhibitori

Anodni inhibitori koče ionizaciju metala (anodnu reakciju). Djeluju na principu stvaranja barijere koja izolira metal, na anodnim mjestima stvaraju tanki film oksida ili slabo topljivih soli. Jako je važno paziti na koncentraciju anodnih inhibitora, pri nedovoljnoj koncentraciji mogu poticati određene oblike korozije (primjerice rupičastu). Zbog toga su često okarakterizirani kao „opasni“ inhibitori. Najvažniji anodni inhibitori su pasivatori tj. topljive soli oksidativnih aniona koje površinu metala prevode u pasivno stanje (snažno kočenje procesa korozije). Tu su također i „taložni inhibitori“ koji s ionima konstrukcijskog metala, nastalima na lokalnim anodama, daju slojeve netopljivih korozijskih produkata.

Anodni inhibitori prednost imaju u neutralnim i lužnatim sredinama, primjerice soli cinka i nikla s odgovarajućim topljivim hidroksidima. [6, 1]

5.1.2. Katodni inhibitori

Katodni inhibitori koče katodnu reakciju (redukciju vodika ili kisika) ili djeluju kao taložni inhibitori, tvoreći na lokalnim katodama netopljive produkte. Katodni inhibitori koče katodni proces tako da djeluju ili na reakciju izdvajanja vodika ili na reakciju redukcije kisika. Katodni inhibitori stvaraju filmove koji su izgledom slični gelu te su deblji od filmova koje tvore anodni inhibitori. Katodni inhibitori su djelotvorni u usporavaju korozije u bilo kojoj količini, za razliku od anodnih inhibitora. Katodni inhibitori prednost imaju u kiselim otopinama, primjerice agar-agar, dekstrin i aldehidi koji se adsorbiraju na katodnim dijelovima metala i povećavaju prenapon izlučivanja vodika. [6, 1]

5.1.3. Mješoviti inhibitori

Mješoviti inhibitori djeluju i kao anodni i kao katodni inhibitori. To su uglavnom organski spojevi koji se adsorbiraju na metalnu površinu pa se često nazivaju i adsorpcijski inhibitori. Njihova djelotvornost ovisi o vrsti i veličini metalne površine na kojoj su adsorbirani, sastavu i strukturi organskog spoja, gustoći elektronskog naboja molekule, prirodi funkcionalnih grupa kao i o veličini adsorbirane molekule. [6, 1]

5.2. Hlapivi inhibitori

Hlapivi inhibitori korozije (VCI, engl. Volatile Corrosion Inhibitor) su organske tvari koje štite metale od atmosferske korozije isparavanjem odnosno sublimacijom, uz dovoljno visok tlak para. Rabe se u obliku praha ili se njihovom alkoholnom otopinom natapaju papiri, odnosno spužvaste tvari. Hlapivi inhibitori uglavnom tvore hidrofoban zaštitni sloj na metalu. [1]

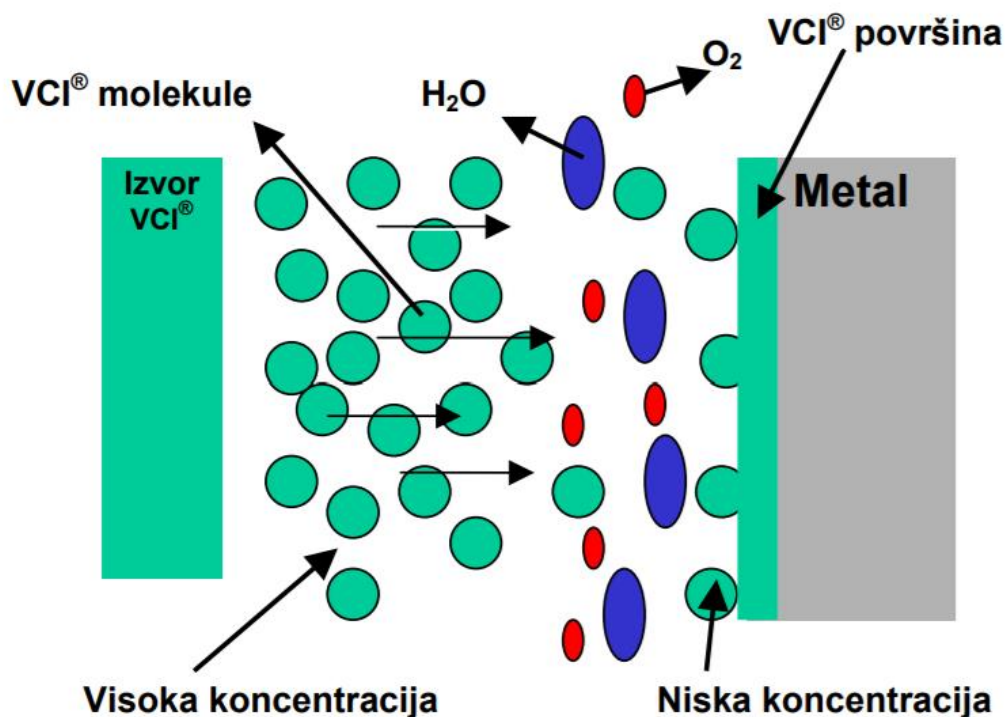
Pravilno odabrana kombinacija hlapivih inhibitora korozije u premazima produžuje vijek trajanja stroja i svodi oštećenja od korozije na minimum. Zahtjevi pri dodavanju hlapivih inhibitora korozije u premaze ovise o uvjetima njihove primjene. [10]

Svojstva VCI-a [11]:

- Visoka otpornost adsorbiranog zaštitnog sloja – Organski spojevi velike molekularne težine, koji snažno prijanjaju uz metalne površine, stvaraju zaštitni sloj koji štiti metal od uzročnika korozije (atmosfera, H₂S, kiseline, lužine, soli, itd.). Upijajući zaštitni sloj fizički štiti metalnu površinu i sprječava dodir fluida i metala. Usto zaštitni sloj inhibitora priječi ione da migriraju s površine metala u otopinu. Zaštitni sloj se zadržava i štiti kod niskih pH vrijednosti.
- Dobra temperaturna postojanost – Svi inhibitori korozije pokazuju dobru toplinsku stabilnost pri temperaturama do 300°C. Neki organski spojevi pri tim temperaturama neće imati dobra svojstva inhibicije, ali ih je potrebno staviti u područje visokih temperatura da bi inhibitor dospio do mjesta hlađenja i kondenziranja tijekom tehnološkog procesa i tada djelovao zaštitno.

5.2.1. Mehanizam djelovanja hlapivih inhibitora korozije

Isparavanjem, VCI-i putuju iz premazanog područja u nezaštićene dijelove metala te pri dodiru s metalnom površinom para VCI-ja kondenzira u tanki monomolekulski film koji putem ionskog djelovanja štiti metal. Nastali film je samoobnovljiv tako što para VCI-ja putuje i taloži se na područjima gdje je premaz oštećen. Molekule organskih inhibitora su dipolne, tako da se pozitivni dio molekule veže za površinu, a negativni dio je okrenut prema mediju i on je hidrofoban, odnosno odbija vodu i kisik iz okoline. [1, 12] Slika 7 prikazuje mehanizam djelovanja hlapivih inhibitora korozije.



Slika 7. Mehanizam djelovanja hlapivog inhibitora korozije [10]

5.2.2. Djelotvornost inhibitora

Uspješnost inhibicije izražava se faktorom usporenja (retardacije) f_u definiranim izrazom (1)

$$f_u = \frac{(v_{kor})_{ni}}{(v_{kor})_i} \quad (1)$$

odnosno stupnjem inhibicije η_i jednakim (2)

$$\eta_i = \frac{(v_{kor})_{ni} - (v_{kor})_i}{(v_{kor})_{ni}} \quad (2)$$

gdje je:

$(v_{kor})_{ni}$ – brzina korozije u neinhibiranu mediju;

$(v_{kor})_i$ – brzina korozije u inhibiranu mediju.

Najčešće zahtijevani iznos za η_i je 80-98 %, čemu odgovara iznos f_u od 5 i 50, odnosno inhibitor toliko puta usporava proces korozije. Na optimalno područje koncentracije inhibitora utječe vrsta metala, sastav i koncentracija elektrolita, njegova pH vrijednost, temperatura i vrsta inhibitora te je zbog cijene poželjno dobro djelovanje inhibitora već pri malim koncentracijama. [1]

Kako bi inhibitori bili djelotvorni potrebno je odrediti optimalnu koncentraciju. Ako je inhibitor prisutan u neodgovarajućoj količini on može samo mijenjati raspored korozije bez da smanji intenzitet korozije (tako opća korozija može postati lokalizirana).

Prekrivenost metalne površine Θ adsorbiranim inhibitorom izražava se odnosom brzine korozije metala u otopini s inhibitorom i bez njega [6]:

$$\Theta = \frac{k_o - k_i}{k_o} \quad (3)$$

gdje je:

Θ – prekrivenost površine metala inhibitorom;

k_o – brzina korozije u sustavu bez inhibitora;

k_i – brzina korozije u sustavu s inhibitorom.

Ovisnost prekrivenosti metalne površine Θ o koncentraciji prisutnog inhibitora najčešće se prikazuje prema Frumkinovoj izotermi [6]:

$$\frac{\Theta}{1-\Theta} \exp[f(\Theta)] = K \cdot c \quad (4)$$

gdje je:

c – koncentracija inhibitora;

K – ravnotežna konstanta reakcije adsorpcije;

f – parametar koji se odnosi na promjenu adsorpcijske izoterme s prekrivenosti metalne površine (Θ);

$\Theta/(1-\Theta)$ – stupanj prekrivenosti površine.

5.2.3. Prednosti i nedostaci hlapivih inhibitora korozije

Prednosti korištenja hlapivih inhibitora korozije su [13]:

- stvaranje monomolekularnog inhibirajućeg sloja koji štiti i nedostupne površine;
- samoobnovljivost hlapljenjem;
- potrebna je mala ili nikakva priprema površine;
- sprječava daljnju koroziju obojenih površina;
- jednostavan za primjenu;
- VCI-sloj nije potrebno ukloniti prije obrade ili upotrebe; a ukoliko je lako se uklanja ispuhivanjem ili ispiranjem;
- VCI-sloj ne utječe negativno na rad mehaničkih komponenti;
- ne sadrži silikone, nitrite, fosfate ni teške metale.

S ciljem očuvanja okoliša određene su strože mjere korištenja kemikalija koje na bilo koji način mogu štetno djelovati na okoliš. To je dovelo do potpunog prestanka ili smanjene uporabe određenog broja vrlo djelotvornih korozijskih inhibitora. Zbog toksičnog djelovanja kromati su potpuno zabranjeni, a smanjena je uporaba amina koji su se koristili u parnim kotlovima. Smanjena je uporaba polifosfata jer svojim ispuštanjem u prirodne vodotokove može dovesti do pretjeranog razvoja algi. Spojevi koji su se koristili kao inhibitori korozije naftnih bušotina, poput oksida arsena i propargil alkohola, zbog svoje velike otrovnosti morale su se potpuno zamijeniti s manje toksičnim inhibitorima. [14]

5.3. Primjena hlapivih inhibitora korozije

Inhibitori korozije su pronašli primjenu na različitim tehničkim područjima na kojima druge metode zaštite od korozije nisu bile toliko uspješne. Primjenjuju se u sustavima za grijanje i hlađenje, u parnim kotlovima, pri dobivanju i preradi nafte i plina, u kemijskoj industriji, pri hlađenju i podmazivanju tijekom obrade rezanjem, pri kiselinskom nagrizanju metalnih predmeta, za zaštitu čelične armature u betonu i ostalo. [15]

Zbog jednolikog ispunjavanja prostora i stvaranja zaštitnog filma na površini metala, čime se sprječava dodir s okolinom i medijem, hlapljivi inhibitori nalaze primjenu za zaštitu nepristupačnih mjesta. Inhibitori hlape i adsorbiraju se na svim površinama metala, pri čemu se inhibirani sloj kontinuirano obnavlja tako da nije potrebna regeneracija zaštitnog sustava u vrijeme njegove trajnosti. [1]

5.3.1. Zaštita u preradi metala

Tijekom prerade tehničkih kovina upotrebljavaju se različite tehnološke tekućine i maziva kako bi se postigla bolja svojstva površine, brzina proizvodnje te duži vijek trajanja alata. Nakon što je element obrađen on je izložen koroziji te se primjenom isparljivih inhibitora u tehnološkim tekućinama sprječava pojava korozije. Na taj način se također smanjuju troškovi naknadne obrade čišćenja korozijskih produkata s površine prije daljnje upotrebe elementa.

Hlapivi inhibitori korozije na površini stvaraju monomolekularni film te svojim isparavanjem ispunjavaju prostor u koji bi mogao prodrijeti korozivni medij. Koriste se za zaštitu svih vrsta čelika. [13]

5.3.2. Zaštita električnih komponenti

Hlapivi inhibitori korozije se koriste tijekom proizvodnje, montaže, skladištenja, transporta i primjene električnih komponenti. Štite važne komponente u rasklopnim i osiguračkim kutijama, komunikacijskim i pomorskim uređajima, električkim upravljačkim sklopovima, tiskanim pločama, kontaktima, motorima i generatorima. [11]

Inhibitori osiguravaju konstantnost električnih i mehaničkih svojstava prilikom eksploatacije ili mirovanja navedenih elemenata. [13]

Slika 8 prikazuje primjenu inhibitora za zaštitu metalnih elemenata u osiguračkim kutijama.



Slika 8. Zaštita osiguračke kutije korištenjem inhibitora [16]

5.3.3. Zaštita prilikom skladištenja

Inhibitori su prikladni za zaštitu od korozije unutrašnjosti cijevi i drugih šupljih predmeta u vrijeme njihova rada ili skladištenja. [13]

Primjenom hlapivih inhibitora korozije kod skladištenja oružja i opreme izbjegava se dugotrajan proces konzervacije (nanošenje zaštitnog sredstva, obrada sredine u kojoj se sredstvo čuva) i naknadne dekonzervacije prilikom upotrebe. Primjerice pješačko oružje se zapakira u vrećice u koje su impregnirani hlapivi inhibitori korozije, oni svojim isparavanjem ispunjavaju prostor oko oružja čineći ga nekorozivnim. Kako bi se oružje dodatno osiguralo, u slučaju oštećenja vrećica, skladišti se u sanducima s emiterima koji također sprječavaju pojavu korozije. [11]

Slika 9 prikazuje primjer skladištenja te zaštita elemenata korištenjem zaštitne folije s inhibitorima korozije.



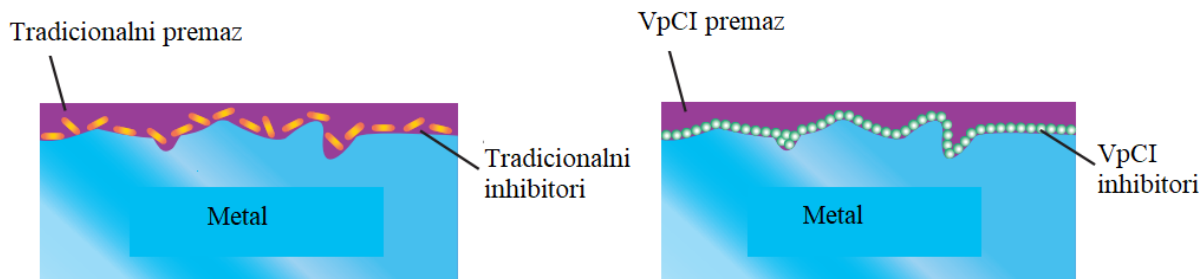
Slika 9. Skladištenje elemenata zaštitnom folijom s inhibitorima korozije [17]

5.4. Hlapivi inhibitori korozije u premazima

Dodavanjem hlapivih inhibitora korozije u premaze postižu se brojne prednosti. Premazivanje elemenata premazima koji sadrže hlapive inhibitory korozije omogućava zaštitu tih elemenata i za vrijeme skladištenja i za vrijeme uporabe, bez dodatne potrošnje vremena i novca za dodatnu zaštitu od korozije. Kako bi se postigla najučinkovitija zaštita od korozije potrebno je dobro kombinirati premaze i hlapive inhibitory korozije. Odabir hlapivih inhibitora ovisi o uvjetima njihove primjene. Poželjno je odabrati inhibitory koji su ekonomski i ekološki više prihvatljivi.

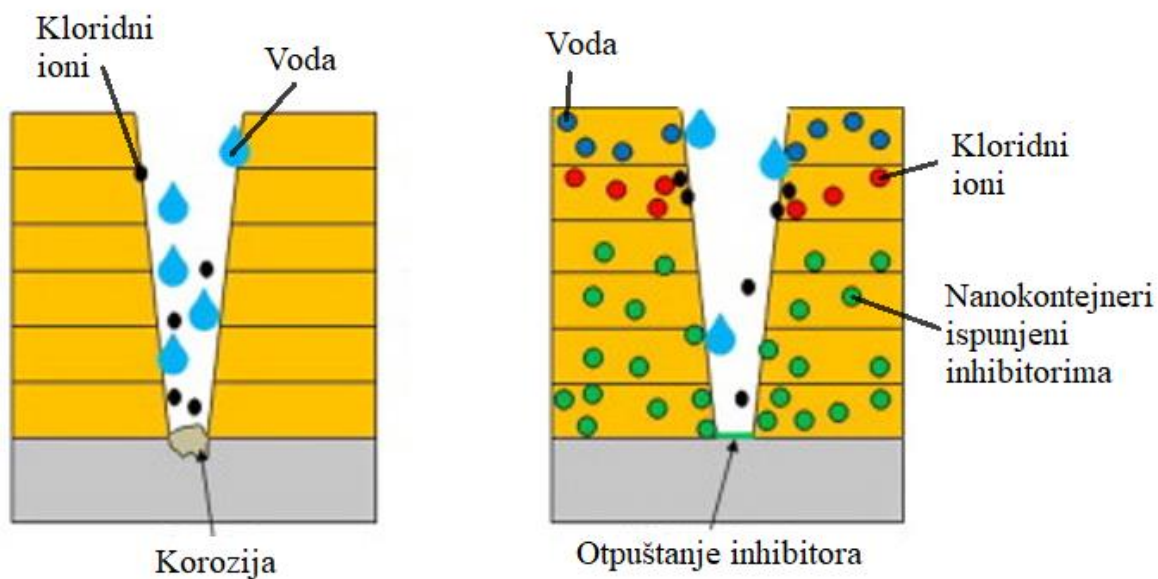
Tradicionalni premazi djeluju na osnovi „žrtvovanih“ metala (Zn, Al) za inhibiciju. Zbog veličine čestica tih inhibitora, javljaju se praznine koje omogućavaju nastanak korozije i njeno širenje, što za posljedicu ima oštećivanje premaza. Za razliku od njih premazi s hlapivim inhibitorima korozije stvaraju cjeloviti inhibirajući film koji sprječava nastanak korozije. [18]

Razliku u djelovanju tradicionalnih premaza i onih s hlapivim inhibitorima korozije možemo vidjeti na slici 10. [18]



Slika 10. Djelovanje tradicionalnog premaza (lijevo) i premaza s hlapivim inhibitorima korozije (desno) [18]

Slika 11 prikazuje mehanizam oslobađanja inhibitora iz premaza.



Slika 11. Mehanizam oslobađanja inhibitora iz premaza [19]

Učinkovito djelovanje hlapivih inhibitora korozije možemo vidjeti na primjeru poliamidnog epoksidnog temeljnog premaza sa i bez hlapivih inhibitora korozije. Uzorci zaštićeni tim premazima su bili izloženi 500 sati u slanoj komori. Slika 12 prikazuje ispitivane uzorke. [20]



Slika 12. Učinkovitost premaza s hlapivim inhibitorima korozije [20]

Iz slike je vidljivo da su uzorci zaštićeni premazima koji sadrže hlapive inhibitore korozije manje skloni pojavi korozije nego uzorci koji su zaštićeni premazima bez hlapivih inhibitora korozije.

6. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu rada provedeno je ispitivanje uzoraka zaštićenih premazima koji sadrže hlapive inhibitore korozije. Ispitivano je pet vrsta premaza, od svake vrste po tri uzorka. Od svake vrste po jedan uzorak je ispitivan u vlažnoj komori jedan u slanoj komori te je provedeno ispitivanje na udar.

U nastavku su opisani korišteni premazi [21]:

- VpCI 374 – Akrilni temeljni premaz na bazi vode koji pruža dobru zaštitu od korozije u gotovo svim uvjetima.
- VpCI 375 – Jedinstveni jednoslojni akrilni sustav na bazi vode (osnovni premaz i završni premaz) koji uspješno pruža zaštitu u teškim, vanjskim, nezaštićenim primjenama. Složena mješavina netoksičnih, organskih inhibitora nudi zaštitu koja može konkurirati većini boja i temeljnih premaza bogatih cinkom.
- VpCI 384 – Dvokomponentni bijeli uretanski završni premaz na bazi otapala, dizajniran za korištenje preko uretanskog temeljnog premaza koji se otvrdnjava vlagom. Može se pripremiti u gotovo bilo kojoj željenoj boji. Glavna prednost ovog gornjeg premaza je izvrsno prijanjanje na uretan koji se otvrdnjava vlagom čak i nakon što je potpuno otvrdnuo.
- VpCI 386 – Brzosušeci akrilni jednoslojni sustav (završni premaz) na bazi vode koji se može nanositi direktno na metal i pruža zaštitu u teškim, vanjskim, nezaštićenim aplikacijama. Složena mješavina netoksičnih, organskih inhibitora nudi zaštitu koja se može usporediti s većinom boja i temeljnih premaza bogatih cinkom. Pruža multimetalnu zaštitu. Izvrsna UV otpornost. Zavarljiv je i može se koristiti za održavanje površina bez korozije prije zavarivanja. Može se uskladiti s većinom prilagođenih boja.
- VpCI 396 – Uretan koji otvrdnjava uz pomoć vlage iz zraka. Temeljni premaz koji ide izravno na metal za multimetalnu zaštitu. Za najbolje rezultate treba biti premazan gornjim slojem alifatskog uretana. Osim izvanredne zaštitne barijere također sadrži inhibitore korozije parne faze za dodatnu zaštitu. Tvori vrlo tvrd, ali fleksibilan premaz koji otvrdnjava u prisutnosti vlage u zraku.

6.1. Mjerenje debljine uzoraka

Debljina uzorka ima veliku ulogu u kvaliteti određenog zaštitnog premaza. Što je debljina veća poroznost premaza je manja i obrnuto. Mjerenje je provedeno pomoću uređaja „Elcometer 456“. Na svakom ispitnom uzorku je provedeno 10 mjerenja te su dobiveni podaci prikazani u tablici 1. Slika 13 prikazuje uređaj kojim je provedeno ispitivanje.



Slika 13. Uređaj za mjerenje debljine „Elcometer 456“

Debljina suhog sloja premaza vrlo je važan parametar za određivanje kvalitete izolacije metalne površine od korozivne sredine. Korozivna otpornost raste kod većine premaza povećanjem debljine, ali također rastu i proizvodni troškovi, pa je poznavanje minimalne vrijednosti debljine premaza potrebno iz ekonomskih razloga. Postupak mjerenja debljine premaza na uzorcima prikazan je slikom 14. Mjerenje je provedeno metodom magnetske indukcije.



Slika 14. Način mjerenja debljine

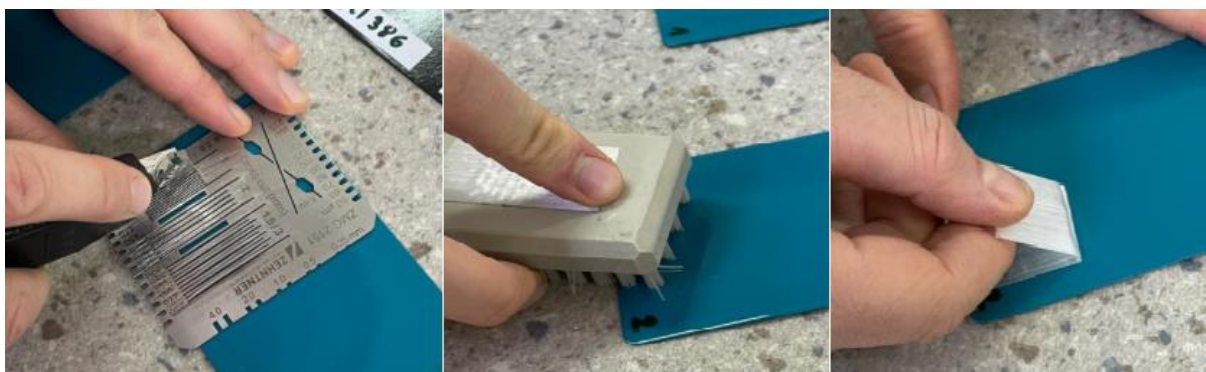
Tablica 1. Rezultati mjerenja debljine premaza

Uzorak	Minimalna debljina premaza (μm)	Maksimalna debljina premaza (μm)	Srednja vrijednost debljine premaza (μm)
Temeljni akrilni premaz			
VpCI 374-1	48,70	61,70	56,84
VpCI 374-2	74,40	91	81,48
VpCI 374-3	42,60	48,40	46,08
Akrilni premaz			
VpCI 375-1	86,20	109	96,22
VpCI 375-2	78,30	112	96,54
VpCI 375-3	83,40	102	93,82
Dvokomponentni uretanski premaz			
VpCI 384-1	43,20	52,40	47,82
VpCI 384-2	35,30	42,20	39,14
VpCI 384-3	47,80	55,30	50,96
Jednoslojni, brzosušeći akrilni premaz			
VpCI 386-1	41,30	50,90	46,14
VpCI 386-2	40,80	46,60	43,62
VpCI 386-3	50,10	69,20	61,28
Jednokomponentni uretanski premaz			
VpCI 396-1	33,50	39	37,08
VpCI 396-2	53,40	58,70	56,16
VpCI 396-3	52,20	64,60	58,78

6.2. Ispitivanje prionjivosti premaza pomoću testa „Cross-cut“

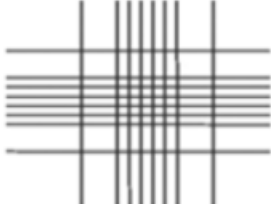
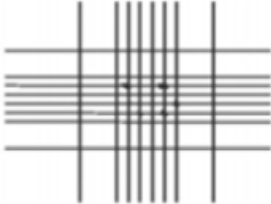
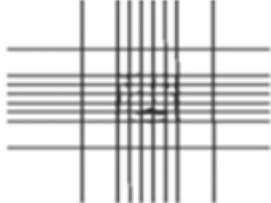
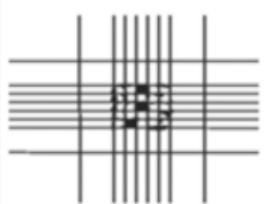
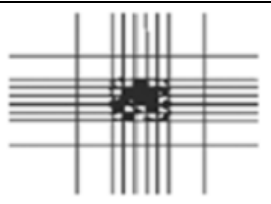
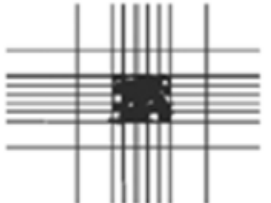
Ispitivanje je provedeno na jednom od tri uzorka, od svake vrste, koji nisu ispitivani u komorama te na svakom uzorku nakon boravka u vlažnoj i slanoj komori. Uzorci koji nisu ispitivani u komorama su oni s najmanjom debljinom premaza.

Ispitivanje se provodi u nekoliko koraka. Prvo je potrebno urezati 6 vodoravnih ureza i 6 horizontalnih ureza tako da se napravi mrežica. Razmak između ureza ovisi o debljini premaza. Na svim premazima osim na akrilnom premazu (VpCI 375-3) debljina premaza je do 60 μm te je korišten razmak od 1 mm. Akrilni premaz (VpCI 375-3) ima debljinu 60-120 μm te je korišten razmak od 2 mm. Nakon urezivanja potrebno je iščerkati mrežicu te potom zalijepiti ljepljivu traku preko nje i naglo povući. Slika 15 prikazuje navedene korake. Zadnji korak je uspoređivanje mrežice na uzorcima sa standardnom skalom prema normi EN ISO 2409 te ocjenjivanje dobivene mrežice. Tablica 2 prikazuje standardnu skalu prema normi EN ISO 2409.



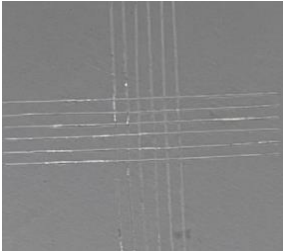
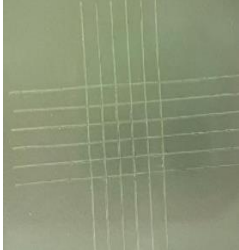
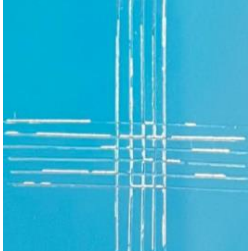
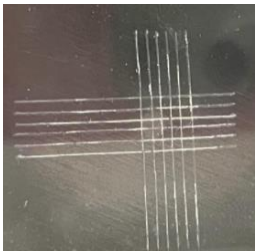
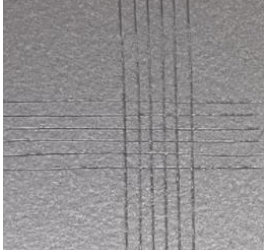
Slika 15. Koraci „Cross-cut“ testa

Tablica 2. Ocjenjivanje rezultata „Cross-cut“ testa, norma EN ISO 2409

Izgled mrežice	Ocjena prema EN ISO 2409	Opis
	0	Rubovi rezova su potpuno glatki, niti jedan od kvadratića nije otkinut.
	1	Na sjecištima rezova dolazi do ljuštenja malog dijela premaza. Oštećeno je manje od 4% površine.
	2	Premaz se ljušti duž rubova i/ili na sjecištima rezova. Oštećeno je od 4% do 30 % površine.
	3	Premaz se ljušti duž rubova djelomično ili u velikim linijama i/ili u cijelosti na različitim dijelovima mrežice. Oštećeno je od 30% do 50% površine.
	4	Premaz se ljušti duž rubova u velikim linijama i/ili neki kvadratići su djelomično ili u cijelosti odvojeni. Oštećeno je od 50% do 65% površine.
	5	Oštećeno je više od 65% površine.

U tablici 3 prikazane su ocjene mrežice, na uzorcima koji nisu ispitivani u komorama.

Tablica 3. Ocjene uzoraka koji nisu ispitivani u komorama

Uzorak	Izgled uzorka	Ocjena
Temeljni akrilni premaz (VpCI 374-3)		1
Akrilni premaz (VpCI 375-3)		0
Dvokomponentni uretanski premaz (VpCI 384-2)		2
Jednoslojni, brzosušeći akrilni premaz (VpCI 386-2)		1
Jednokomponentni uretanski premaz (VpCI 396-1)		0

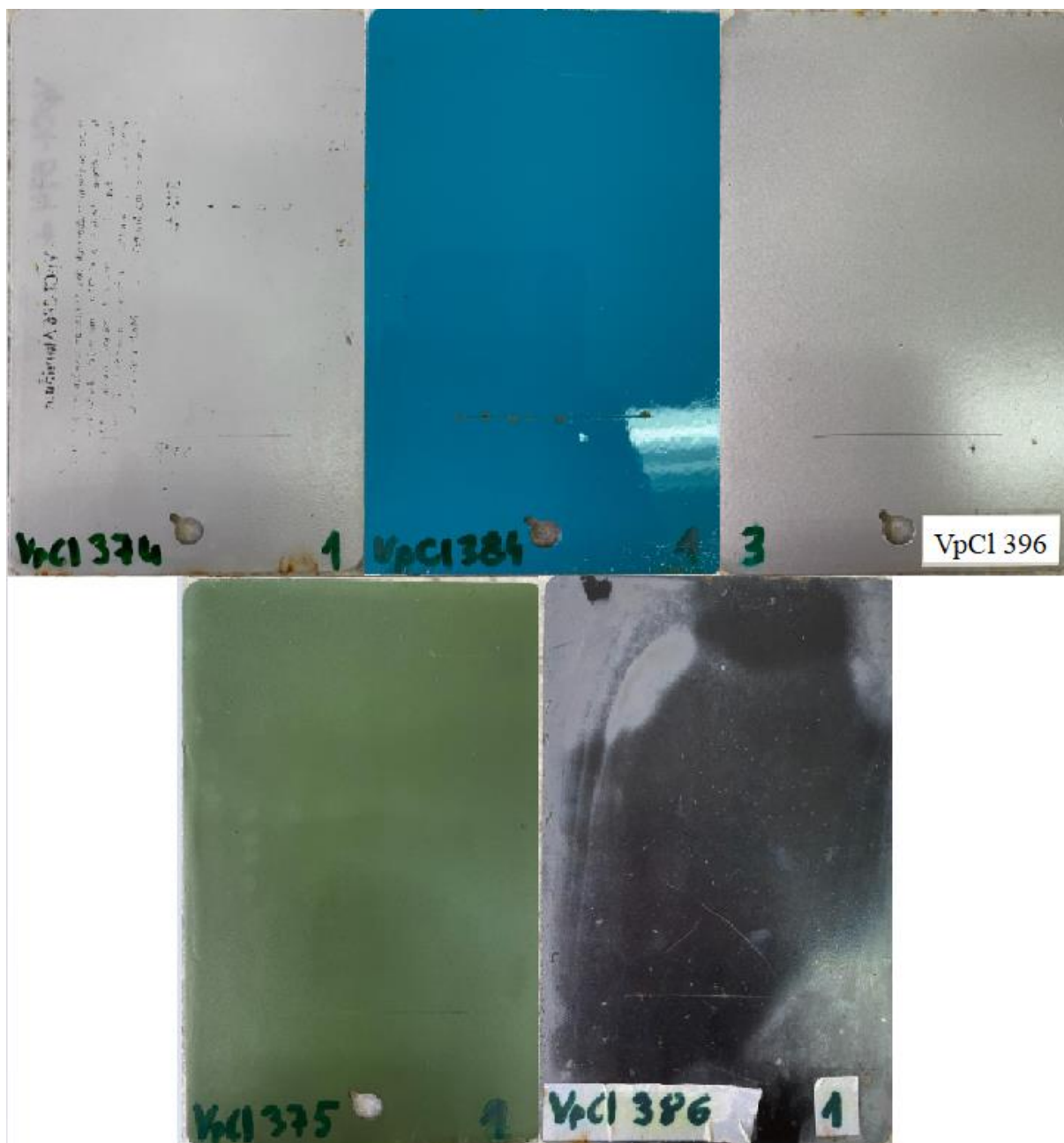
6.3. Ispitivanje uzoraka u vlažnoj komori

U vlažnoj komori je ispitano 5 uzoraka, po jedan od svake vrste. Njihove oznake su sljedeće: 374 – 1, 375 – 1, 384 – 1, 386 – 1, 396 – 3. Ispitni uzorci su bili 5 dana u komori CW Specialist Equipment, model AB6. Ispitivanje je provedeno u Laboratoriju za zaštitu materijala. Slika 16 prikazuje vlažnu komoru u kojoj je provedeno ispitivanje.



Slika 16. Vlažna komora, FSB

Slika 17 prikazuje uzorke nakon što su bili izloženi u vlažnoj komori 5 dana.



Slika 17. Uzorci iz vlažne komore nakon 5 dana

Na uzorku koji je zaštićen dvokomponentnim uretanskim premazom (VpCI 384-1) možemo primijetiti neznatnu pojavu korozije oko ureza. Pojava mjehuranja je najveća kod jednoslojnog, brzosušećeg akrilnog premaza (VpCI 386-1).

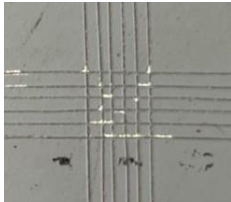

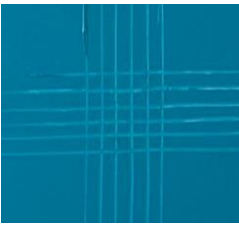

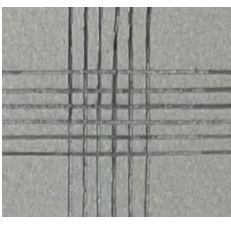
Nakon što su uzorci izvađeni iz vlažne komore ocjenjuje se pojava mjehuranja prema normi ISO 4628-2:2003 (E). Ocjenjivanje se provodi na osnovu uspoređivanja površine uzorka s fotografijama iz norme. Broj ispred zagrade označava gustoću mjehura, a broj unutar zagrade označava veličinu mjehura. Tablica 4 prikazuje ocjene pojedinih uzoraka.

Tablica 4. Ocjena mjehuranja uzoraka nakon vlažne komore

Uzorak	Ocjena
Temeljni akrilni premaz (VpCI 374-1)	2(S2)
Akrilni premaz (VpCI 375-1)	2(S2)
Dvokomponentni uretanski premaz (VpCI 384-1)	2(S2)
Jednoslojni, brzosušeci akrilni premaz (VpCI 386-1)	3(S3)
Jednokomponentni uretanski premaz (VpCI 396-3)	2(S2)

Nakon ispitivanja u vlažnoj komori na uzorcima je provedeno ispitivanje prionjivosti premaza pomoću „Cross-cut“ testa. Tablica 5 prikazuje ocjene pojedinih uzoraka prema normi EN ISO 2409.


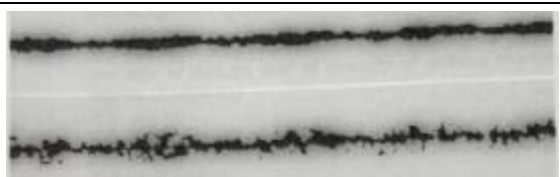
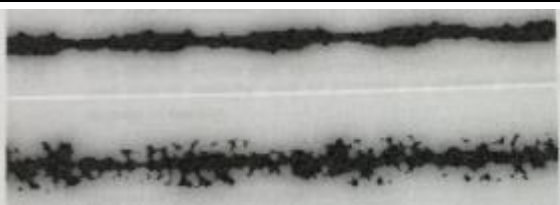
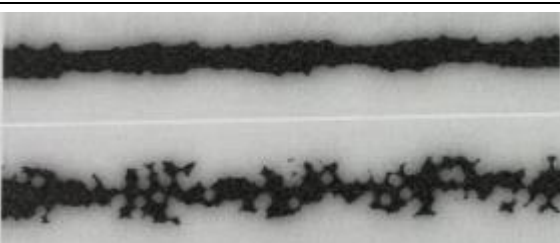
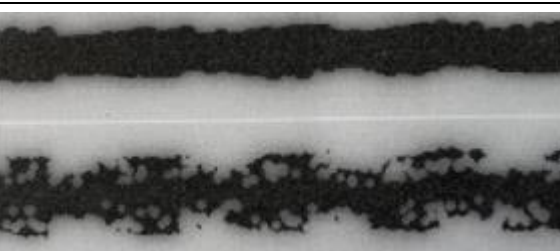
Tablica 5. Ocjene uzoraka ispitivanih u vlažnoj komori

Uzorak	Izgled uzorka	Ocjena
Temeljni akrilni premaz (VpCI 374-1)		2
Akrilni premaz (VpCI 375-1)		5
Dvokomponentni uretanski premaz (VpCI 384-1)		1
Jednoslojni, brzosušeći akrilni premaz (VpCI 386-1)		5
Jednokomponentni uretanski premaz (VpCI 396-3)		1






Na uzorcima koji su zaštićeni akrilnim premazom (VpCI 375-1) i jednoslojnim, brzosušećim akrilnim premazom (VpCI 386-1) je došlo do potpunog odvajanja premaza.

Na ispitanim uzorcima se također provela ocjena stupnja korozije duž ureza napravljenog prije ispitivanja u vlažnoj komori prema normi ISO 4628-8:2005 (E). Procjena je napravljena prije uklanjanja premaza. Tablica 6 prikazuje slikovne standarde za procjenu korozije oko ureza, a tablica 7 prikazuje ocjene stupnja korozije duž ureza uzoraka.

Tablica 6. Slikoviti standardi procjene korozije

Izgled ureza	Ocjena
	1-jako neznatno
	2-neznatno
	3-umjereno
	4-znatno
	5-teško

Tablica 7. Ocjene reza uzoraka ispitivanih u vlažnoj komori

Uzorak	Izgled reza	Ocjena
Temeljni akrilni premaz (VpCI 374-1)		1-jako neznatno
Akrilni premaz (VpCI 375-1)		1-jako neznatno
Dvokomponentni uretanski premaz (VpCI 384-1)		2-neznatno
Jednoslojni, brzosušeci akrilni premaz (VpCI 386-1)		1-jako neznatno
Jednokomponentni uretanski premaz (VpCI 396-3)		1-jako neznatno

Prema normi ISO 4628-8:2005(E) izračunat je stupanj korozije c , u milimetrima, prema izrazu (5). Tablica 8 prikazuje dobivene rezultate.

$$c = \frac{w_c - w}{2} \quad (5)$$

gdje je:

w_c – srednja ukupna širina zone korozije, u milimetrima;

w – širina originalnog ureza, u milimetrima.

Na svakom uzorku je potrebno ukloniti premaz s dijela na kojem se nalazi urez. Zatim se na 6 mjesta jednako udaljenih izmjeri širina zone korozije te se izračuna srednja ukupna širina zone korozije w_c . Širina originalnog ureza w , za sve uzorke je 0,2 mm.

Tablica 8. Stupanj korozije nakon vlažne korozije

Uzorak	Srednja ukupna širina zone korozije (w_c), mm	Stupanj korozije (c), mm
Temeljni akrilni premaz (VpCI 374-1)	-	-
Akrilni premaz (VpCI 375-1)	-	-
Dvokomponentni uretanski premaz (VpCI 384-1)	0,833	0,317
Jednoslojni, brzosušeci akrilni premaz (VpCI 386-1)	0,25	0,025
Jednokomponentni uretanski premaz (VpCI 396-3)	-	-

Najlošiju otpornost na koroziju oko ureza pokazao je dvokomponentni uretanski premaz (VpCI 384-3).

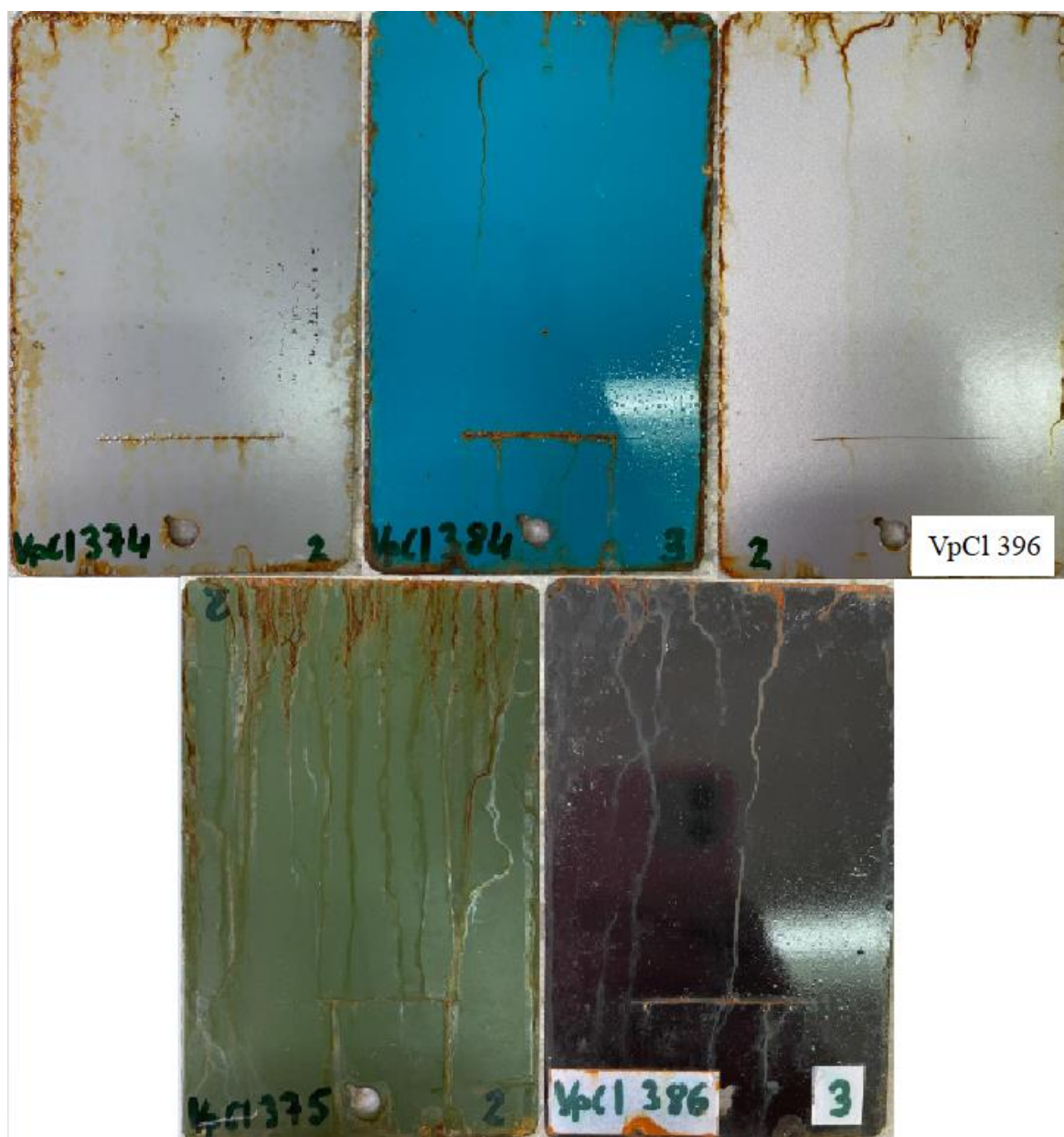
6.4. Ispitivanje uzoraka u slanoj komori

U slanoj komori je također ispitano 5 uzoraka, od svake vrste po jedan. Njihove oznake su sljedeće: VpCI 374-2, VpCI 375-2, VpCI 384-3, VpCI 386-3, VpCI 396-2. Uzorci su bili 5 dana u slanoj komori Ascott. Ispitivanje je provedeno u Laboratoriju za zaštitu materijala. Slika 18 prikazuje slanu komoru u kojoj je provedeno ispitivanje.



Slika 18. Slana komora, FSB

Slika 19 prikazuje ispitne uzorke nakon što su bili izloženi u slanoj komori 5 dana.



Slika 19. Uzorci iz slane komore nakon 5 dana

Na svim uzorcima je došlo do pojave korozije uz rubove. Korozija oko ureza se najviše primijeti na uzorcima koji su zaštićeni temeljnim akrilnim premazom (VpCI 374-2) i dvokomponentnim uretanskim premazom (VpCI 384-3). Najveću pojavu mjehuranja možemo primijetiti kod dvokomponentnog uretanskog premaza (VpCI 384-3) i jednoslojnog, brzosušćeg akrilnog premaza (VpCI 386-3).





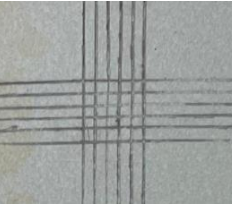
Nakon što su ispitni uzorci bili izloženi u slanoj komori 5 dana izvađeni su te je ocjenjena pojava mjehuranja po površini prema normi ISO 4628-2:2003(E). Ocjenjivanje je kao i kod vlažne komore provedeno usporedbom s fotografijama u normi. Tablica 9 prikazuje ocjene pojedinih uzoraka.

Tablica 9. Ocjena mjehuranja uzoraka nakon slane komore

Uzorak	Ocjena
Temeljni akrilni premaz (VpCI 374-2)	2(S2)
Akrilni premaz (VpCI 375-2)	2(S2)
Dvokomponentni uretanski premaz (VpCI 384-3)	4(S3)-najviše po rubu i uz rez
Jednoslojni, brzосуšeći akrilni premaz (VpCI 386-3)	4(S2)
Jednokomponentni uretanski premaz (VpCI 396-2)	2(S2)

Nakon izlaganja u slanoj komori ponovno je proveden test „Cross-cut“ radi ispitivanja prionjivosti premaza. Tablica 10 prikazuje ocjene pojedinih uzoraka prema normi EN ISO 2409.

Tablica 10. Ocjene uzoraka ispitivanih u slanoj komori


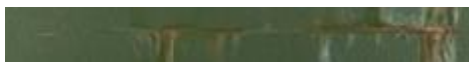



Uzorak	Izgled uzorka	Ocjena
Temeljni akrilni premaz (VpCI 374-2)		5
Akrilni premaz (VpCI 375-2)		4
Dvokomponentni uretanski premaz (VpCI 384-3)		2
Jednoslojni, brzosušeci akrilni premaz (VpCI 386-3)		5
Jednokomponentni uretanski premaz (VpCI 396-2)		1

Na uzorcima koji su zaštićeni temeljnim akrilnim premazom (VpCI 374-2) i jednoslojnim, brzosušecim akrilnim premazom (VpCI 386-3) je došlo do potpunog odvajanja premaza.

Na ispitnim uzorcima se provela ocjena stupnja korozije duž ureza, napravljenog prije ispitivanja u slanoj komori, pomoću slikovitih standarda, prema normi ISO 4628-8:2005(E).

Procjena je napravljena prije uklanjanja premaza. Tablica 11 prikazuje ocjene stupnja korozije duž ureza uzoraka.

Tablica 11. Ocjene reza uzoraka ispitivanih u slanoj komori

Uzorak	Izgled reza	Ocjena
Temeljni akrilni premaz (VpCI 374-2)		3-umjereno
Akrilni premaz (VpCI 375-2)		2-neznatno
Dvokomponentni uretanski premaz (VpCI 384-3)		4-znatno
Jednoslojni, brzосуšeći akrilni premaz (VpCI 386-3)		3-umjereno
Jednokomponentni uretanski premaz (VpCI 396-2)		1-jako neznatno

Isto kao kod uzoraka iz vlažne komore na svakom uzorku je uklonjen premaz s područja na kojem se nalazi urez. Zatim je na 6 mjesta, jednako udaljenih, izmjerena širina zone korozije. Na osnovu tih širina je izračunata srednja ukupna širina zone korozije w_c . Širina originalnog ureza w je 0,2 mm.

Prema normi ISO 4628-8:2005(E) izračunat je stupanj korozije c , u milimetrima, prema izrazu (1). Tablica 12 prikazuje dobivene rezultate.

Tablica 12. Stupanj korozije nakon slane komore

Uzorak	Srednja ukupna širina zone korozije (w_c), mm	Stupanj korozije (c), mm
Temeljni akrilni premaz (VpCI 374-2)	1	0,4
Akrilni premaz (VpCI 375-2)	1,667	0,734
Dvokomponentni uretanski premaz (VpCI 384-3)	0,467	0,133
Jednoslojni, brzosušajući akrilni premaz (VpCI 386-3)	1,417	0,609
Jednokomponentni uretanski premaz (VpCI 396-2)	-	-

Najlošiju otpornost na koroziju oko ureza je pokazao akrilni premaz (VpCI 375-2), a najbolju otpornost je pokazao jednokomponentni uretanski premaz (VpCI 396-2).

6.5. Ispitivanje otpornosti premaza na udar

Ispitivanje na udar je provedeno na svim uzorcima. Ispitivanje je provedeno pomoću mjerača udarne otpornosti premaza „Elcometer 1615“. Ispitni uzorak se fiksira na svoje mjesto, zatim se uteg, mase 1000 g, podiže na određenu visinu. Nakon toga se uteg oslobađa te se promatra nastala deformacija na uzorku. Uteg se spušta s različitih visina te je potrebno utvrditi visinu na kojoj ne dolazi do oštećenja premaza, u vidu stvaranja pukotina ili ljuštenja. Slika 20 prikazuje fiksirani uzorak, rezultati ispitivanja su prikazani u tablici 13.



Slika 20. Ispitivanje otpornosti premaza na udar

Tablica 13. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar

Uzorak	Ispitna metoda	Rezultat ispitivanja (visina, cm)
Temeljni akrilni premaz		
VpCI 374-1	Vlažna komora	100
VpCI 374-2	Slana komora	100
VpCI 374-3	-	35
Akrilni premaz		
VpCI 375-1	Vlažna komora	20
VpCI 375-2	Slana komora	17
VpCI 375-3	-	23
Dvokomponentni uretanski premaz		
VpCI 384-1	Vlažna komora	90
VpCI 384-2	-	100
VpCI 384-3	Slana komora	65
Jednoslojni, brzosušeci akrilni premaz		
VpCI 386-1	Vlažna komora	35
VpCI 386-2	-	40
VpCI 386-3	Slana komora	20
Jednokomponentni uretanski premaz		
VpCI 396-1	-	35
VpCI 396-2	Slana komora	25
VpCI 396-3	Vlažna komora	30

Najveću otpornost na udar su pokazali temeljni akrilni premaz (VpCI 374) te dvokomponentni uretanski premaz (VpCI 384), a najmanju akrilni premaz (VpCI 375).

7. ZAKLJUČAK

U eksperimentalnom dijelu ispitani su uzorci koji su zaštićeni premazima koji sadrže hlapive inhibitore korozije. Dodatak inhibitora korozije u premazima generalno povećava otpornost na širenje korozije oko ureza i povećava trajnost zaštite.

Prionjivost je ispitivana na svim uzorcima. Jednokomponentni uretanski premaz ima najbolju prionjivost nakon ispitivanja i u vlažnoj i u slanoj komori. Na uzorku koji je zaštićen jednoslojnim, brzosušećim akrilnim premazom je nakon oba ispitivanja došlo do potpunog odvajanja premaza.

Pojava mjehuranja je najmanja na uzorcima koji su zaštićeni temeljnim akrilnim premazom, akrilnim premazom te jednokomponentnim uretanskim premazom, a najveća kod jednoslojnog, brzosušećeg akrilnog premaza.

Ocjena korozije oko ureza je najbolja na uzorku koji je zaštićen jednokomponentnim uretanskim premazom nakon ispitivanja i u vlažnoj i u slanoj komori. Na uzorku koji je zaštićen dvokomponentnim uretanskim premazom je zabilježena najveća pojava korozije oko ureza.

Stupanj korozije je najveći na uzorcima koji su zaštićeni dvokomponentnim uretanskim premazom i jednoslojnim, brzosušećim akrilnim premazom. Na uzorku koji je zaštićen jednokomponentnim uretanskim premazom nije zabilježena pojava korozije.

Najveću otpornost na udar imaju temeljni akrilni premaz te dvokomponentni uretanski premaz, a najmanju akrilni premaz.

Prema svim ispitivanjima najdjelotvorniji je jednokomponentni uretanski premaz, pokazao je najbolja svojstva zaštite nakon ispitivanja u vlažnoj i u slanoj komori.

LITERATURA

- [1] I. Juraga, V. Alar, I. Stojanović: Korozija i zaštita premazima, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.
- [2] M. V. Biezma, J. R. San Cristobal: Methodology to study cost of corrosion. Corrosion Engineering, Science and Technology, 2005., Svez 4, 40
- [3] https://www.fsb.unizg.hr/korozija/PROIZVODNI_POSTUPCI.pdf (pristupljeno 3.1.2022.)
- [4] <https://oxyplastuk.com/technical/different-types-of-corrosion/> (pristupljeno 3.1.2022.)
- [5] V. S. Sastri, E. Ghali, M. Elboudjaini: Corrosion prevention and protection: practical solutions, John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, Velika Britanija, 2007.
- [6] E. Stupnišek-Lisac: Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2007.
- [7] Površinska zaštita čeličnih konstrukcija, SN 555 011, Službena norma Švicarskog udruženja za normizaciju (SVN), 1990.
- [8] I. Esih: Osnove površinske zaštite, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.
- [9] M. Aliofkhazraei: Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications, 2018.
- [10] M. Kharshan, A. Furman, B. Mikšić, I. Rogan: Hlapljivi inhibitori korozije u mazivima
- [11] T. Madžar: Učinkovitost primjene hlapljivih inhibitora korozije u zaštiti pješačkog naoružanja, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005.
- [12] M. Prenosil: Volatile Corrosion Inhibitor Coatings
- [13] I. Juraga, V. Šimunović, I. Stojanović: Primjena inhibitora u zaštiti od korozije u brodogradnji, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2006.
- [14] J. Radošević: Ekološki prihvatljivi inhibitori korozije legura aluminija i bakra, Originalni naučni rad
- [15] M. Ivanušić: Primjena praškastih hlapivih inhibitora korozije u zaštiti od korozije razne metalne opreme – iskustva zaštite u Hrvatskoj, Seminar: „Primjena inhibitora korozije u zaštiti inženjerskih konstrukcija“, HDZaMa, Zagreb, 2001.
- [16] <https://www.cortecvci.com/Publications/Brochures/Electric-Electronics-brochure.pdf> (pristupljeno 15.2.2022.)
- [17] <https://www.indiamart.com/proddetail/cortec-vpci-126-film-in-48-x-500ft-roll-22448706133.html> (pristupljeno 15.2.2022.)

- [18] <https://www.cortecvci.com/Publications/Brochures/Coatings-Brochure.pdf> (pristupljeno 17.2.2022.)
- [19] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0010938X14001693> (pristupljeno 17.2.2022.)
- [20] <http://ages1.com/vci.htm> (pristupljeno 21.2.2022.)
- [21] <https://www.cortecvci.com/products/> (pristupljeno 15.2.2022.)

PRILOZI

I. CD-R disc