

# Razvoj metode za ocjenu djelotvornosti višemetalnih parnofaznih inhibitora

---

Lovrinčić, Ema

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:534594>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-17**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Ema Lovrinčić

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Emma Lovrinčić

RAZVOJ METODE ZA OCJENU DJELOTVORNOSTI VIŠEMETALNIH  
PARNOFAZNIH INHIBITORA

ZAVRŠNI RAD

Voditeljica rada: prof. dr. sc. Sanja Martinez

Članovi povjerenstva: prof. dr. sc. Sanja Martinez

izv. prof. dr. sc. Helena Otmačić Ćurković

prof. dr. sc. Igor Sutlović

Zagreb, rujan 2018.

*Završni rad izrađen je u Zavodu za elektrokemiju Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom prof. dr. sc. Sanje Martinez u akademskoj godini 2017./2018.*

*Zahvaljujem mentorici prof. dr. sc. Sanji Martinez na pruženoj prilici i savjetima prilikom izrade ovog rada.*

*Hvala djelatnicima Zavoda za elektrokemiju na omogućenom radu u laboratoriju i hvala asistentici Ivani Šoić na pomoći prilikom pisanja rada.*

*Hvala djelatnicima Ustanove METRIS na pomoći pri analizi uzoraka na FT-IR spektrometru.*

*Najveće hvala mojoj obitelji koja je bezuvjetno uz mene. Hvala Toniju i dragim ljudima na podršci i strpljenju tijekom studiranja.*

## SAŽETAK

Parnofazni inhibitori korozije danas su jedna od najučestalijih metoda antikorozivne zaštite zbog svoje visoke djelotvornosti. Budući da broj inhibitora dostupnih na tržištu kontinuirano raste, od velike važnosti su ispitivanja provedena u laboratorijskim i realnim uvjetima kojima se određuje njihova djelotvornost i vijek trajanja.

U ovom radu prikazan je razvoj metode za ocjenu djelotvornosti višemetalnih parnofaznih inhibitora na bakru uz simuliranje kloridima i jodom izazvane korozije. Tijekom ispitivanja, uzorci su bili izloženi agresivnom okolišu, a za zaštitu od korozije korišten je parnofazni inhibitor u obliku filma, VpCI-126<sup>®</sup>. Korozija je izazvana uranjanjem uzoraka u otopinu natrijeva klorida, čija se koncentracija optimirala, kako bi se ispitala djelotvornost inhibitora ovisno o koncentraciji kloridnih iona u zatvorenom sustavu. Na temelju dobivenih rezultata, provedeno je i ispitivanje u kojem se ispitala ovisnost djelotvornosti inhibitora o načinu uranjanja bakrenih uzoraka u otopinu klorida. U slučaju testiranja uzoraka jodom, korozija je izazvana injektiranjem otopine joda u zatvoreni sustav. U svakom testu uspoređivali su se uzorci zaštićeni inhibitorom sa nezaštićenim uzorcima. Uzorci su ocjenjeni vizualnim testom, snimljeni digitalnim mikroskopom, te analizirani na FTIR spektrometru.

Dobiveni rezultati pokazali su da VCI ima veću djelotvornost u zatvorenim sustavima u kojima se u parnoj fazi nalazi samo voda. U prisutnosti klorida, VCI pokazuje veću djelotvornost pri niskim koncentracijama. U prisutnosti joda, vidljiv je određen stupanj zaštite kod uzoraka izloženih inhibitoru, no u usporedbi s rezultatima dobivenim u atmosferi bogatoj kloridima, inhibitor je pokazao znatno manju djelotvornost. FTIR spektri pokazali su različite promjene na površini zaštićenoj i nezaštićenoj inhibitorom.

**Ključne riječi:** parnofazni inhibitor, bakar, korozija, metode ispitivanja

## **ABSTRACT**

Vapour phase corrosion inhibitors are nowadays one of most common methods of anti-corrosion protection because of their high efficiency. Since the number of inhibitors available on the market is constantly growing, researches done in laboratory and realistic conditions, that study their efficiency and lifespan, play a really important role.

In this research work, it has been shown how the development of a method for efficiency assessment of multimetal vapour phase inhibitors works on copper with the stimulation of chlorides and iodine that cause the corrosion itself. During the testing, the samples covered in VpCl-126<sup>®</sup>, a vapour phase inhibitor in a form of a protection film, were exposed to an aggressive environment. Samples were soaked in sodium chloride solution to provoke corrosion, whose concentration was optimized, in order to test the efficiency of inhibitors depending on the concentration of chloride ions in a closed system. Because of the produced results, there were also tests with different methods of soaking copper samples in chloride solution. In a test involving iodine, corrosion is caused by injecting the iodine solution into the closed system. Samples saturated with the inhibitor were compared to the samples without inhibitor in every test. The samples were visually evaluated, photographed by a digital microscope and analyzed on FTIR spectrometer.

Received results have shown that VCI has higher efficiency in closed systems in which the vapour phase contains only water. VCI shows better efficiency at low concentrations of chlorides. There is a certain level of protection on samples exposed to inhibitors in the presence of iodine. Comparing both received results from chloride and iodine researches, VCI has shown lower efficiency in atmosphere rich with iodine. FTIR spectra showed different kinds of changes on the surface saturated by inhibitor contrary to an surface without inhibitor.

**Keywords:** vapour phase inhibitor, copper, corrosion, test methods

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OPĆI DIO .....	2
2.1. Metali .....	2
2.1.1. Bakar .....	2
2.2. Korozija metala .....	3
2.2.1. Klasifikacija korozije .....	4
2.3. Zaštita od korozije .....	5
2.3.1. Inhibitori korozije metala .....	5
2.3.2. Klasifikacija inhibitora korozije .....	5
2.3.3. Parnofazni inhibitori korozije .....	5
2.3.3.1. Cortec <sup>®</sup> VpCI <sup>®</sup> -126 .....	8
2.3.4. Određivanje djelotvornosti inhibitora korozije .....	9
2.3.5. Metode ispitivanja parnofaznih inhibitora korozije .....	9
2.4. Korozijska ispitivanja .....	10
2.5. FTIR .....	11
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	12
3.1. Materijali .....	12
3.2. Kemikalije i otopine .....	12
3.3. Instrumenti i aparatura .....	13
3.4. Postupci provedenih ispitivanja .....	14
3.4.1. Utjecaj koncentracije klorida na djelotvornost VCI .....	14
3.4.2. Utjecaj područja uranjanja pločica na djelotvornost VCI .....	17
3.4.3. Utjecaj joda na djelotvornost VCI .....	19
4. REZULTATI .....	21
4.1. Utjecaj koncentracije klorida na djelotvornost VCI .....	21
4.2. Utjecaj područja uranjanja pločica na djelotvornost VCI .....	24



4.3. Utjecaj joda na djelotvornost VCI.....	27
5. RASPRAVA.....	28
5.1. Utjecaj koncentracije klorida na djelotvornost VCI.....	28
5.2. Utjecaj područja uranjanja pločica na djelotvornost VCI.....	28
5.3. Utjecaj joda na djelotvornost VCI.....	29
6. ZAKLJUČAK .....	30
7. POPIS SIMBOLA I KRATICA .....	31
8. LITERATURA .....	32
ŽIVOTOPIS .....	34

## 1. UVOD

Korozija je neizbježni prirodni proces pri kojem dolazi do nenamjernog razaranja konstrukcijskih metala [1]. Budući da se kao takva ne može spriječiti, nužno je pronaći što djelotvornije metode kojima se njezin napredak može usporiti. U posljednjih nekoliko desetljeća u upotrebi su parnofazni inhibitori korozije ili inhibitori u parnoj fazi, VPI (eng. *Vapour Phase Inhibitors*) koji se često nazivaju i hlapljivi inhibitori, VCI (eng. *Volatile Corrosion Inhibitor*), odnosno VpCI (eng. *Vapour phase Corrosion Inhibitor*) [1, 2]. VCI su hlapljive organske tvari koje inhibiraju korozijske procese tako što se adsorbiraju na površinu metala pri čemu stvaraju zaštitni sloj. Najčešće se koriste u obliku filmova za pakiranje metalnih proizvoda, a u posljednje vrijeme i raznih polimernih proizvoda. Vijek trajanja i djelotvornost takvih inhibitora ovisi o raznim čimbenicima kao što su sastav inhibitora, sposobnost inhibitora da se adsorbira na površinu metala, kvaliteta površine metala koji se štiti, temperatura i sastav atmosfere [1, 2, 3, 4, 5].

Cilj ovog rada bio je razviti metodu za ocjenu djelotvornosti višemetallnih parnofaznih inhibitora koja će dati ponovljive rezultate. Ispitivanja su se provodila na bakru izloženom utjecaju kloridnih iona i joda u parnoj fazi u inhibiranom i neinhibiranom zatvorenom sustavu.

U sklopu rada, cilj je bio ispitati može li se primjermom refleksijskog FTIR-a dokazati prisutnost parnofaznog inhibitora na površini bakra budući da su VCI organski spojevi.

## 2. OPĆI DIO

### 2.1. Metali

Metali su elementi koji se nalaze na lijevoj strani i u sredini periodnog sustava elemenata [1]. Općenito, svojstva metala jesu:

- metalni sjaj
- kovkost i duktilnost
- uglavnom velika gustoća
- velika električna i toplinska vodljivost

Rijetko se primjenjuju u elementarnom stanju, a kako bi im se poboljšala svojstva dodaju im se drugi metali u raznim omjerima ili pak nemetali. Tako dobiveni produkti nazivaju se legure.

#### 2.1.1. Bakar

Bakar je metal karakteristične svjetlo crvenkaste boje (slika 2.1.) žilav, mekan i rastezljiv [1]. Ima vrlo dobru električnu i toplinsku vodljivost, dobra mehanička svojstva, te dobru korozijsku otpornost. Navedena svojstva mu omogućuju široko područje primjene pa je često upotrebljavani materijal. Dodatkom drugih metala (cink, nikal, kositar) dobivaju se legure koje su znatno otpornije na koroziju od samog bakra.



**Slika 2.1.** Bakar i bakreni predmeti [6, 7, 8].

Standardni elektrodni potencijali bakra iznose:

$$E^0 (\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}) = + 0,337 \text{ V}$$

$$E^0 (\text{Cu}/\text{Cu}^+) = + 0,520 \text{ V}$$

iz čega je vidljivo da bakar ne korodira uz razvijanje vodika. To je razlog zbog kojeg se ubraja u materijale korozijski otporne u neoksidirajućim kiselinama.

U oksidirajućem mediju moguće je vrlo brzo otapanje jer se bakar u tom slučaju ne pasivira. Tijekom korozijskog procesa, na površini bakra, stvara se dobro prijanjajući zaštitni sloj, pa se bakreni materijali mogu bez problema staviti u vode koje sadrže kisik. Otapanje bakra može izazvati prisustvo kisika,  $\text{Cu}^{2+}$  i  $\text{Fe}^{3+}$  iona te oksidirajućih kiselina. Bakar korodira u klorovodičnoj, sumpornoj i koncentriranoj dušičnoj kiselini. U jako koncentriranoj klorovodičnoj kiselini i u amonijakalnim kiselinama dolazi do nastajanja kompleksa.

U atmosferi bogatoj vlagom, vodi i tlu na bakaru dolazi do stvaranja karakterističnog zelenkastog i plavkastog sloja produkata korozije (slika 2.2.). Nastali sloj naziva se patina i ima snažno zaštitno djelovanje. Uglavnom se radi o smjesi bakrova hidroksida i soli čiji sastav ovisi o mediju u kojem se bakar nalazi. Zahvaljujući nastalom sloju patine, očuvani su mnogi predmeti od bakra i bakrenih legura. U čistoj atmosferi, slatkoj vodi i mnogim vrstama tla nastaje karbonatna patina, u morskoj vodi i slanom tlu nastaje kloridna patina dok u industrijskoj atmosferi i u tlu sa sulfatima dolazi do nastajanja sulfatne patine.

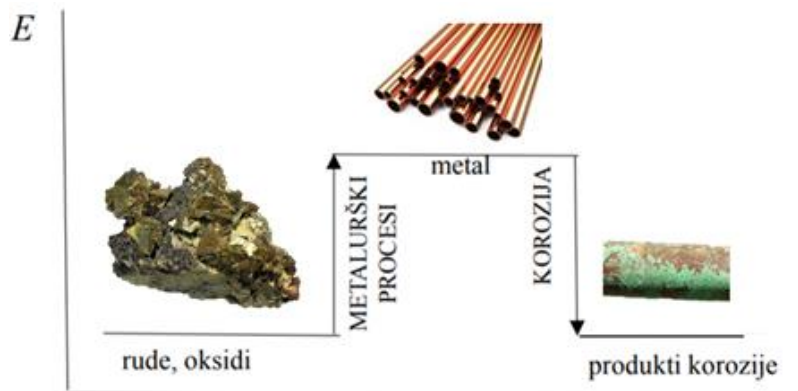


**Slika 2.2.** Zdenac života, bakreni spomenik postavljen 1912. na Trgu Republike Hrvatske, prekriven slojem patine [9].

## 2.2. Korozija metala

Korozija je prirodni fenomen nenamjernog razaranja konstrukcijskih metala [1, 3]. Uzrokovana je fizikalnim, kemijskim i biološkim agensima. Do pogoršanja svojstava materijala dolazi zbog reakcije materijala s okolinom. Osim metala, koji najčešće korodiraju, korodirati mogu i keramika, staklo, polimerni materijali, te beton. Korozija može izazvati opasnost i skupa oštećenja sve od automobila i raznih instrumenata pa do cjevovoda, mostova i javnih građevina.

Budući da je korozija spontani proces, ne može se spriječiti već se može samo usporiti [1]. Koroziju čini skup kemijskih i elektrokemijskih promjena tijekom kojih metal prelazi iz obrađenog stanja u spojeve u kojima se najčešće nalazi u prirodi. Metali se u prirodi nalaze u obliku ruda ili spojeva. Raznim procesima, koji zahtijevaju dovođenje energije, prevode se u metalno stanje koje je karakterizirano visokim sadržajem energije. Težnja metala u takvom stanju je postići stanje niže energije. Metali spontano reagiraju s drugim tvarima i oslobađaju energiju kako bi se vratili u prirodan oblik. Upravo je ta razlika energije pokretačka sila procesa korozije (slika 2.3.).



**Slika 2.3.** Prikaz energetske promjene pri dobivanju i koroziji metala [10, 11, 12, 13].

### 2.2.1. Klasifikacija korozije

Područje korozije je vrlo široko i raznovrsno, pa postoji više različitih podjela.

Korozija se prema mehanizmu djelovanja dijeli na kemijsku i elektrokemijsku [1]. Kemijska korozija se odvija prema zakonima kemijske kinetike heterogenih reakcija u plinovima ili u odsutnosti vode na površini metala i to obično pri visokim temperaturama. Elektrokemijska korozija se odvija u elektrolitu prema zakonima elektrokemijske kinetike

Prema izgledu korozijskog oštećenja korozija se dijeli na: jednoliku, jamičastu, lokalnu, u procjepu, interkristalnu, transkristalnu, kontaktnu ili galvansku, selektivno otapanje [10]. Posebne vrste korozije jesu: napetosna, tarna, erozijska i kavitacijska korozija te korozijski zamor, vodikova krutost, biokorozija i mikrobiološka korozija.

Korozija se dijeli prema korozivnim sredinama na: atmosfersku koroziju, koroziju u tlu, koroziju zbog lutajućih struja, koroziju u suhim plinovima, koroziju u neelektrolitima, koroziju u elektrolitima, koroziju u moru, koroziju u betonu, koroziju u ljudskom tijelu i kontaktnu koroziju.

## 2.3. Zaštita od korozije

Budući da se korozijski procesi ne mogu spriječiti, od velike važnosti je usporavanje njihovog napretka [1]. Materijali se različitim metodama mogu zaštititi od korozije. Najčešći načini zaštite od korozije jesu:

- elektrokemijska zaštita koja se dijeli na katodnu i anodnu
- zaštita obradom korozijske sredine koja se provodi uklanjanjem aktivatora korozije iz agresivne sredine ili uvođenjem inhibitora korozije u agresivnu sredinu
- zaštita prevlakama (metalnim, anorganskim, organskim)

### 2.3.1. Inhibitori korozije metala

Inhibitori korozije su tvari koje dodane u malim količinama u agresivni medij mogu u velikoj mjeri smanjiti brzinu korozije metala [1]. U velikom broju slučajeva se primjena inhibitora korozije odnosi na atmosfersku koroziju, vodene sustave i tehnologiju nafte. Prilikom odabira inhibitora treba uzeti u obzir vrstu metala koji se štiti, sredinu i uvjete u kojima se metal nalazi.

### 2.3.2. Klasifikacija inhibitora korozije

Danas se inhibitori korozije klasificiraju na razne načine, pri čemu jedan te isti inhibitor može biti svrstan u više grupa budući da se one međusobno ne isključuju [1]. Osnovne klasifikacije su prema:

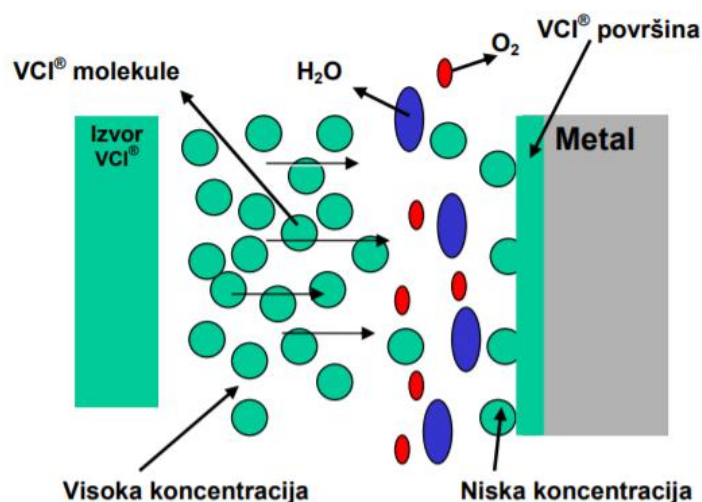
- mehanizmu djelovanja: anodni, katodni i mješoviti
- sastavu i svojstvima: anorganski i organski, alkalni i neutralni, hlapljivi i nehlapljivi, oksidirajući i neoksidirajući
- sigurnosti: sigurni i nesigurni

### 2.3.3. Parnofazni inhibitori korozije

Parfnofazni inhibitori ili inhibitori u parnoj fazi, VPI (eng. *Vapour Phase Inhibitors*) često se nazivaju i hlapljivi inhibitori, VCI (eng. *Volatile Corrosion Inhibitor*), odnosno VpCI (eng. *Vapour phase Corrosion Inhibitor*) [1, 2]. To su organski spojevi koji pod atmosferskim uvjetima imaju nizak tlak zasićene pare i inhibiraju koroziju adsorpcijom na površinu metala [2]. Oni mijenjaju kinetiku elektrokemijske reakcije. Najučinkovitiji su oni čiji se tlak pare kreće u rasponu od  $10^{-5}$  do  $10^{-7}$  mm Hg.

Ako je tlak para previsok dolazi do brzog oslobađanja velike količine inhibitora što osigurava kratkotrajnu zaštitu. Niži tlak osigurava dužu i postojaniju zaštitu, ali je potrebno puno više vremena za postizanje zaštitne koncentracije.

Inhibitori procesom difuzije prolaze kroz plinsku fazu, adsorbiraju se na površinu metala u gustoći od nekoliko monoslojeva i tako štite metal od korozije (slika 2.1.).



**Slika 2.1.** Mehanizam djelovanja parnofaznih inhibitora [2].

Reakcijom derivata amina i organskih kiselina dobivaju se aminokarboksilati kao produkti koji su najviše upotrebljavani parnofazni inhibitori [1]. Cikloheksilamini, diciklogvanidini, aminoalkoholi, soli primarnih, sekundarnih i tercijarnih amina čine temeljni kemijski sastav velikog broja parnofaznih inhibitora [4]. Amini i amonijevi nitriti su najčešće komponente VCI. Primarni amini ( $R-NH_2$ ) nisu učinkoviti korozijski zaštitnici kao sekundarni amini ( $R_1-NH-R_2$ ). Sekundarni amini su široko rasprostranjeni u korozijskoj zaštiti. Anorganski nitrati (natrijev, kalijev i kalcijev nitrati) su dobro poznati korozijski inhibitori. Najčešće je upotrebljavan natrijev nitrit. Budući da VCI spojevi uglavnom sadržavaju dušikov atom koji posjeduje slobodni elektronski par dolazi do stvaranja koordinativne veze s metalima. Nastali sloj inhibitora predstavlja difuzijsku barijeru kisiku i smanjuje reakciju katodne redukcije.

Glavna zadaća VCI-a je sprječavanje procesa korozije na metalnim dijelovima tijekom cjelokupnog životnog ciklusa od proizvodnje, pakiranja, skladištenja, transporta i tijekom primjene [14]. Za skladištenje u zatvorenim prostorima, u periodu do jedne godine, ili za transporte koji traju vrlo kratko mogu se koristiti uljni premaz ili dobar voštani papir.

Međutim, za skladištenje u periodu od 3 do 5 godina ili za prekomorski transport, za zaštitu od atmosferske korozije potrebna je puno kvalitetnija i sigurnija zaštita kao što su premazi, poliuretanske spužve te sredstva za zamatanje ili prekrivanje na bazi polimera. Privremena zaštita od korozije postiže se dodavanjem hlapljivih inhibitora korozije u premaze i spužve, te u polimerni film tijekom ekstruzije. Navedena sredstva djeluju kao nosači i izvori inhibitora. Nosači mogu biti razni kao što su: tekućina, prah, papir, premaz (mokri ili suhi film), spužva ili polietilenske folije.

Raznim ispitivanjima došlo se do spoznaja da zaštita od korozije parnofaznim inhibitorima ovisi o:

- materijalu, složenosti i veličini
- sastavu, temperaturi i vlažnosti okoliša
- tehnologiji proizvodnje
- skladištenju, prijevozu i primjeni
- kvaliteti površine metala koji se štiti
- sastavu inhibitora [15, 16]

Danas je poznato više od 1000 VCI spojeva, ali samo dio njih je učinkovit, te cjenovno i ekološki prihvatljiv [15]. U većini slučajeva upotrebljavaju se VCI impregnirane poliesterske vrećice. VCI filmovima najčešće se štite željezni metali (korozijski manje otporni), neželjezni metali (korozijski otporniji) i legure u čistim i suhim uvjetima. Ambalažni VCI filmovi za industrijsku primjenu proizvedeni su od poliesterskih smola niske i visoke gustoće zbog čega su otporni na vlagu do određene temperature. Zbog nepravilnog zatvaranja ili rupe na vrećici može doći do ulaska zraka i slabljenja djelovanja zaštite. Agresivne komponente atmosfere su osobito problematične u prisustvu vode.

Iako je lista VCI prilično duga, samo za mali broj tvari su dati pouzdani podaci o netoksičnosti, kancerogenosti, genotoksičnosti i sigurnosti [4]. Polimerni materijali koji sadržavaju hlapljive korozijske inhibitore su u proteklih 20 godina postigli veliku popularnost u zaštiti metalnih površina. Rastuća popularnost ovih filmova dovodi do sve veće proizvodnje što za problem ima sigurnost tih proizvoda. Prilikom prerade polimera dolazi do pretvorbe nekih parnofaznih inhibitora u opasne produkte. VCI je kožni iritans ako se, tijekom proizvodnje, u zraku nalazi u koncentraciji većoj od dopuštene.



U konačnom produktu se VCI većinskim dijelom nalazi unutar polimernog filma dok se na površini uvijek nalazi mala količina VCI.

Parnofazni inhibitori imaju svoje prednosti [17]. Mogu biti dodani u ljepila, prevlake, pjene, praške, plastiku ili raspršivače. Mogu se koristiti kod ambalažnih materijala kako bi usporili koroziju pohranjenih predmeta. Lako isparavaju i brzo se adsorbiraju na metalnu površinu sve do njezinog zasićenja. Mehanizam djelovanja omogućuje potpuno ispunjavanje površine, uključujući pukotine i pore u koje klasični inhibitori ne mogu prodrijeti. Tanki film stvoren adsorpcijom na površinu metala se može lako ukloniti bez utjecaja na svojstva površine. Mogu se koristiti u raznim područjima kao što su vojna, nuklearna i petrokemijska postrojenja, automobilska industrija. Primjenu su našli i u zaštiti kirurške opreme, te elektroničkih komponenti.

#### **2.3.3.1. Cortec® VpCI®-126**

Korišteni VpCI-126<sup>®</sup> inhibitor je plavi polietilenski film s vrlo velikom efikasnošću zaštite od atmosfere korozije svih vrsta metala [16]. Primjena je vrlo jednostavna, proizvod je potrebno samo umotati u film. Zahvaljujući ovakvim sustavima za pakiranje, materijali ne zahtijevaju čišćenje, odmašćivanje ili uklanjanje raznih premaza s površine prije obrade ili upotrebe. VpCI-126<sup>®</sup> je ekološki prihvatljiv i siguran za zdravlje ljudi u odnosu na tradicionalne inhibitore korozije jer ne sadrži amine, fosfate ili nitrite. U procesu proizvodnje folija koristi se široka paleta visokokvalitetnih smola, koje daju odlična svojstva filmu kao što su čvrstoća na probijanje, kidanje ili istezanje. Antikorozivne folije izrađuju se u različitim standardnim veličinama i debljinama. Mogu biti vrećice s i bez zatvarača, po stranama perforirane vrećice, vrećice u rolama, plahte, skupljajuće folije ili role različitih dimenzija. Štite metale kao što su ugljični čelik, kositar, galvanizirani čelik, aluminij, bakar, silicijski čelik, mjed i srebro. Metalni dijelovi upakirani u VpCI-126<sup>®</sup> kontinuirano su zaštićeni od utjecaja soli, povećane vlage, kondenzacije, agresivne industrijske atmosfere i korozije.

Danas je VpCI-126<sup>®</sup> najprodavanija antikorozivna zaštita za pakiranje na svijetu. Posjeduje visoki stupanj zaštite od korozivnog djelovanja koji je potvrđen standardnim test metodama i internim Cortec<sup>®</sup> test metodama.



**Slika 2.2.** VpCI-126<sup>®</sup> folija i vrećica sa zatvaračem [18, 19].

#### 2.3.4. Određivanje djelotvornosti inhibitora korozije

Najčešće upotrebljavane metode za određivanje djelotvornosti inhibitora su [1]:

- gravimetrijsko određivanje koje se temelji na određivanju brzine korozije mjerenjem gubitka mase metala u elektrolitu bez i s inhibitorom
- elektrokemijske metode koje se temelje na snimanju anodnih i katodnih polarizacijskih krivulja u otopini bez i s inhibitorom

#### 2.3.5. Metode ispitivanja parnofaznih inhibitora korozije

Kako bi se postigli što bolji rezultati u zaštiti od korozije, potrebno je provoditi ispitivanja vezana uz zadržavanje postojećih inhibitora korozije na proizvodima koji se štite. Neke od danas najčešće upotrebljavanih metoda su VIA test, *Razor Blade test*, ispitivanje u slanoj komori, metoda Erlenmeyerovom tikvicom, metoda vruće cijevi i Stevensonov komorni test.

U VIA (eng. *Vapor Inhibiting Ability*) testu ispolirani i očišćeni uzorci se postavljaju na kraju cijevi na poklopcu posude te se izlažu glicerinskoj otopini uz termostatanje [20]. Inhibitor se postavlja na dno posude ili se pričvršćuje na poklopac posude ovisno o kakvom se tipu parnofaznog inhibitora radi. Djelotvornost inhibitora se prema propisu određuje vizualno nakon testa.

Kod primjene *Razor Blade* kontaktnog testa, izbrušeni i očišćeni, metalni uzorci u obliku pločicu su u kontaktu s polietilenskom folijom ili papirom impregniranim i neimpregniranim parnofaznim inhibitorom [21]. Na svaku od metalnih pločica nanese se po dvije kapi elektrolita te se pločice prekriju inhibiranom folijom.

Kontrolna pločica se prekrije neinhibiranom folijom. Ovisno o metalu koji se primjenjuje odabire se elektrolit i definira vrijeme izlaganja. Nakon provedenog testa, vizualno se određuje stupanj korozije.

Ispitivanje u slanoj komori jest ubrzana metoda testa na koroziju [1]. Uzorci se izlažu simuliranim uvjetima atmosferske korozije uz more pomoću raspršenih kapljica otopine NaCl. Eksperiment se provodi u ciklusima koji se sastoje od perioda raspršivanja i perioda bez raspršivanja. Kontinuirano se vrše vizualni pregledi.

## **2.4. Korozijska ispitivanja**

Kako bi se dobile što točnije informacije o koroziji i njezinom štetnom djelovanju potrebno je, uz teoriju, provoditi i eksperimentalna ispitivanja koja mogu biti laboratorijska, terenska i eksploatacijska (pogonska) [1]. Razlikuju se po tome što se laboratorijska ispitivanja provode na uzorcima, najčešće ubrzanim metodama, dok se terenska i eksploatacijska provode u stvarnim uvjetima. Ona su obično dugoročna ispitivanja i provode se na predmetima od uporabne vrijednosti.

Metode ispitivanje korozije su brojne, a neke od njih su:

- kontrola površine metala: vizualni pregled promjena na materijalu, optičke metode, indikatori anodnih i katodnih mjesta na željezu, defektoskopske metode, identifikacija korozijskih produkata
- gravimetrijske metode: metoda mjerenja gubitka mase ili prirasta mase
- volumetrijske metode: mjerenje volumena potrošenog kisika ili razvijenog vodika
- analitičke metode
- konduktometrijska metoda
- mjerenje dubine jamica
- ubrzane metode
- elektrokemijske metode: tehnike s istosmjernom (polarizacijska mjerenja) ili izmjeničnom strujom (elektrokemijska impedancijska spektroskopija)

## 2.5. FTIR

FTIR (eng. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) je analitička tehnika koja se koristi za identifikaciju organskih, a u nekim slučajevima i anorganskih spojeva [22]. Daje informacije o kemijskom sastavu, strukturi i konformacijama molekula. Ova tehnika omogućuje karakterizaciju tvari u tekućem i krutom stanju. Tekući uzorci koriste se između dviju pločica kalijevog bromida ili neke druge soli, u obliku tankog filma. Kruti uzorci samelju se u prah i pomiješaju s prahom kalijevog bromida. Dobivena smjesa preša se u pastilu, koja se stavlja u spektrometar. Neki kruti uzorci mogu se staviti u spektrometar i bez pripravljanja pastile. Kao rezultat ispitivanja dobiva se spektar. Sastavnice uzorka se identificiraju analizom adsorpcijskih ili emisijskih spektara infracrvenog zračenja.

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Materijali

- natrijev klorid čistoće p.a. proizvođača „Gram mol“ Zagreb
- 34 bakrene pločice, CA -110, dimenzija 3,8 cm · 7,6 cm · 0,1 cm (slika 3.1.)
- komercijalni parnofazni inhibitor korozije tvrtke Cortec Corporation, VpCI<sup>®</sup>-126 Blue (slika 3.2.)
- pribor za vješanje bakrenih pločica (slika 3.3.): kukice i šipke od nehrđajućeg čelika, drveni štapići i plastične trakice



Slika 3.1. Bakrena pločica



Slika 3.2. VpCI<sup>®</sup>-126 Blue



Slika 3.3. Pribor za vješanje

#### 3.2. Kemikalije i otopine

- otopina joda
- etanol za odmašćivanje i čišćenje
- destilirana voda

### 3.3. Instrumenti i aparatura

Uzorci su odmašćeni u ultrazvučnoj kupelji Bandelin Sonorex (slika 3.4.).



**Slika 3.4.** Ultrazvučna kupelj.

Grijanje uzoraka provedeno je u sušioniku Instrumentaria Zagreb ST-01/02 (slika 3.5.) .



**Slika 3.5.** Sušionik Instrumentaria Zagreb ST-01/02.

Korodirani uzorci snimani su digitalnim mikroskopom Dino – Lite (slika 3.6.).



**Slika 3.6.** Digitalni mikroskop.

Na FT-IR spektrometru Bruker Tensor 27 IR (slika 3.7.) analizirala se prisutnost inhibitora.



**Slika 3.7.** FT-IR spektrometar.

### **3.4. Postupci provedenih ispitivanja**

U eksperimentalnom dijelu rada razvijana je metoda za ocjenu djelotvornosti višemetalnih parnofaznih inhibitora na bakru. Bakreni uzorci u obliku pločica (slika 3.1.) izlagani su kloridima i jodidima u inhibiranom i neinhibiranom okruženju te je ispitivana djelotvornost komercijalnog inhibitora VpCI<sup>®</sup>-126 Blue proizvođača Cortec Corporation, SAD (slika 3.2.). Uzorci su podvrgnuti FTIR analizi kako bi se dokazala prisutnost inhibitora.

#### **3.4.1. Utjecaj koncentracije klorida na djelotvornost VCI**

Prije postavljanja pokusa pripremljena je otopina natrijeva klorida masenog udjela  $w(\text{NaCl}) = 3,5\%$ .

18 uzoraka bakrenih pločica isprano je destiliranom vodom i osušeno na zraku (slika 3.8.).



**Slika 3.8.** Sušenje bakrenih pločica.

U čaše od 250 mL uliveno je 20 mL destilirane vode. Parnofazni inhibitor korozije, VpCI<sup>®</sup>, izrezan je u trake dimenzija 20 cm x 7 cm te pričvršćen za stijenke čaša tako da ne dodiruje otopinu. Razvoj metode započinje optimiranjem koncentracija NaCl-a. 24 bakrene pločice uranjane su u otopine NaCl-a različitih koncentracija (slika 3.9.), 3 pločice u destiliranu vodu nakon čega su osušene na zraku, a 3 pločice nisu uopće uranjane (tablica 3.1).



**Slika 3.9.** Uranjanje bakrenih pločica u razrijeđenim otopinama NaCl-a.



**Tablica 3.1.** Koncentracije otopina i brojevi bakrenih pločica s i bez inhibitora.

otopina	pločice s inhibitorom		pločice bez inhibitora
/	I1	I7	13
destilirana voda	I2	I8	14
w (NaCl) = 0,0035 %	I3	I9	15
w (NaCl) = 0,035 %	I4	I10	16
w (NaCl) = 0,35 %	I5	I11	17
w (NaCl) = 3,5 %	I6	I12	18

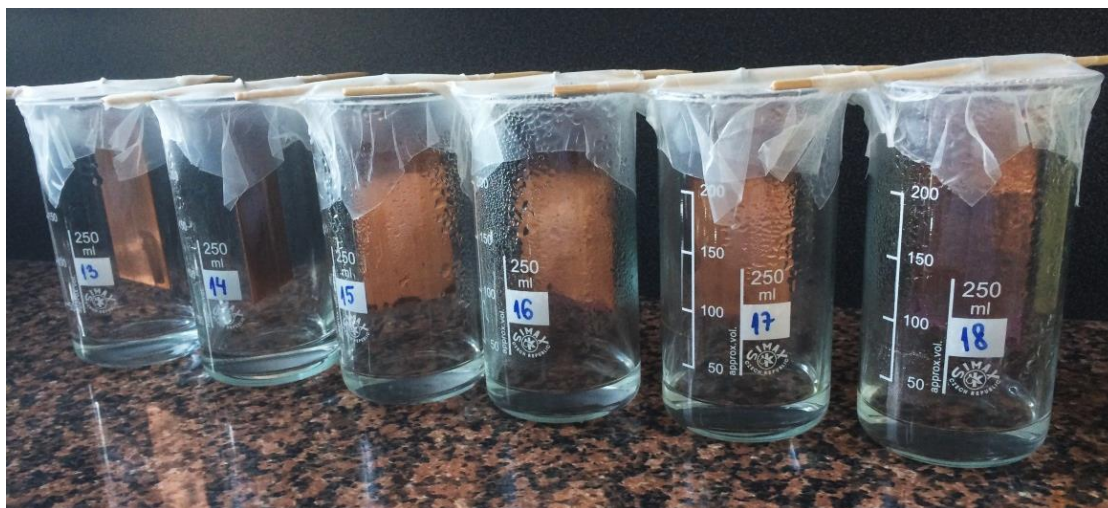
Kako bi se dobili usporedivi rezultati, po dvije uranjane, odnosno ne uranjane pločice su postavljene u čaše s inhibitorom, a po jedna pločica je postavljena u čaše bez inhibitora nakon čega su se čaše dobro zatvorile parafilmom (slika 3.10.).



**Slika 3.10.** Postav pokusa.

Uzorci su ostavljeni na sobnoj temperaturi. Međutim, nije došlo do značajnih korozijskih napada pa su podvrgnuti cikličkom zagrijavanju i hlađenju u sušioniku.

Po 5 dana u kontinuitetu, tijekom dva tjedna, uzorci su grijani 7 sati na temperaturu od 35°C (slika 3.11.) i zatim hlađeni preostalih 14 sati u danu što je dovelo do značajnih promjena na bakru.



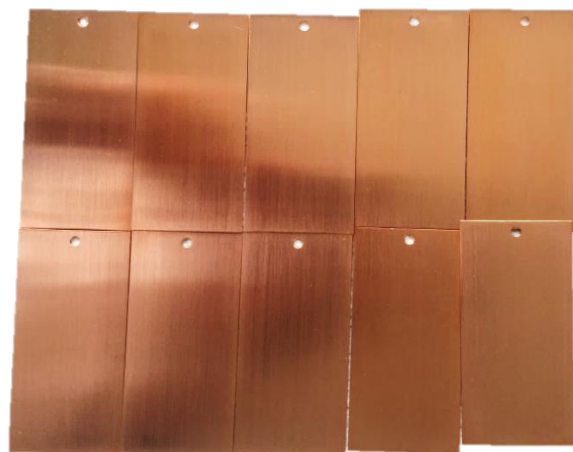
**Slika 3.11.** Uzorci bez inhibitora nakon zagrijavanja.

### **3.4.2. Utjecaj područja uranjanja pločica na djelotvornost VCI**

Na temelju dobivenih rezultata, ponovljen je pokus s otopinom NaCl-a masenog udjela  $w(\text{NaCl}) = 0,035\%$ . Ovog puta sve bakrene pločice su odmašćene u ultrazvučnoj kupelji u trajanju od 3 minute nakon čega su sušene na zraku (slika 3.12.).

Bakrene pločice uronjene su na različite načine u otopinu NaCl-a,  $w(\text{NaCl}) = 0,035\%$ . 4 pločice uronjene su donjom polovicom, 4 su uronjene gornjom polovicom, a 4 su ostale ne uronjene (tablica 3.2.). Inhibitor je u čaše postavljen na isti način i u čaše je uliveno 20 mL destilirane vode. Pločice su fiksirane na nosače od nehrđajućeg čelika ili zavezane plastičnom trakicom na drvene nosače te postavljene u čaše s i bez inhibitora.

Čaše su dobro zatvorene parafilmom i ostavljene jedan dan na sobnoj temperaturi kako bi se inhibitor adsorbirao na površinu bakra. Po 5 dana u kontinuitetu, tijekom dva tjedna, uzorci su grijani 7 sati na temperaturu od  $35^{\circ}\text{C}$  i zatim hlađeni preostalih 14 sati u danu.



**Slika 3.12.** Bakrene pločice nakon odmaščivanja u ultrazvučnoj kupelji.

**Tablica 3.2.** Uronjenost bakrenih pločica, vrsta nosača i broj pločica sa i bez inhibitora.

Uronjenost	inhibitor + nosač od N.Č.	inhibitor + plastični nosač	bez inhibitora + nosač od N.Č.	bez inhibitora + plastični nosač
1/2 uronjena	I19	I20	21	22
1/2 obrnuto uronjena	I23	I24	25	26
ne uronjena	I27	I28	29	30

Nakon provedenih pokusa, uzorci su izvađeni iz čaša i osušeni na zraku (slika 3.13.).



**Slika 3.13.** Sušenje bakrenih pločica.

Od uzoraka izloženih djelovanju klorida, izdvojeni su kao reprezentativni uzorci bakrena pločica zaštićena sa VpCI (I28) i nezaštićena pločica (29), te su analizirane na FTIR spektrometru (slika 3.14.).



**Slika 3.14.** Uzorci za FTIR.

Površina pločica I28 i 29 snimljena je digitalnim mikroskopom, te su putem računala, u software programu DinoCapture 2.0, Version 1.5.27. A, zabilježene dobivene slike.

### 3.4.3. Utjecaj joda na djelotvornost VCI

Za provedbu pokusa s jodom u ultrazvučnoj kupelji odmašćene su 4 bakrene pločice i osušene na zraku. U 4 čaše od 250 mL uliveno je 5 mL destilirane vode. Inhibitor je zarezan na trakice i u većoj količini postavljen na stijenke čaše (slika 3.16.).



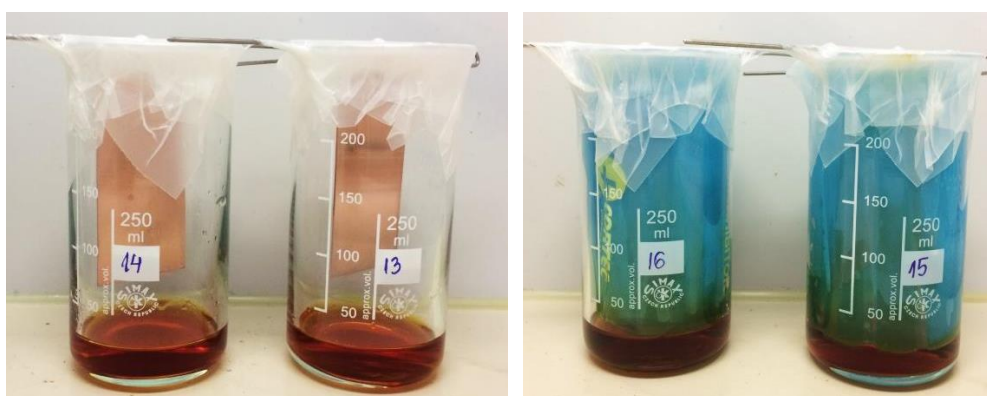
**Slika 3.15.** VpCI postavljen u čaši.

Pločice su postavljene na nosačima u čaše bez i s inhibitorom (tablica 3.3.).

**Tablica 3.3.** Broj pločica postavljenih u čaše bez i s inhibitorom.

	<b>Bez inhibitora</b>	<b>Inhibitor</b>
Ne uronjene pločice	31	I33
	32	I34

Nakon što su se čaše zatvorile parafilmom, injektirano je 15 mL otopine joda. Uzorci su ostavljeni u digestoru na sobnoj temperaturi (slika 3.17.). Pokus se provodio 4 dana iako su već nakon drugog dana posljedice korozije postale vidljive.



**Slika 3.17.** Uzorci izloženi djelovanju joda u čaši bez i s inhibitorom.

## 4. REZULTATI

### 4.1. Utjecaj koncentracije klorida na djelotvornost VCI

Na slici 4.1. prikazane su bakrene pločice koje nisu uranjane niti u vodu, niti u otopinu NaCl-a. Pločice I1 i I7 bile su zaštićene parnofaznim inhibitorom, dok pločica I3 nije imala zaštitu.



**Slika 4.1.** Bakrene pločice I1, I7 i I3 sa prednje i zadnje strane.

Na slici 4.2. prikazane su bakrene pločice koje su uranjene donjom polovicom u destiliranu vodu. Pločice I2 i I8 bile su zaštićene parnofaznim inhibitorom, dok pločica I4 nije imala zaštitu.



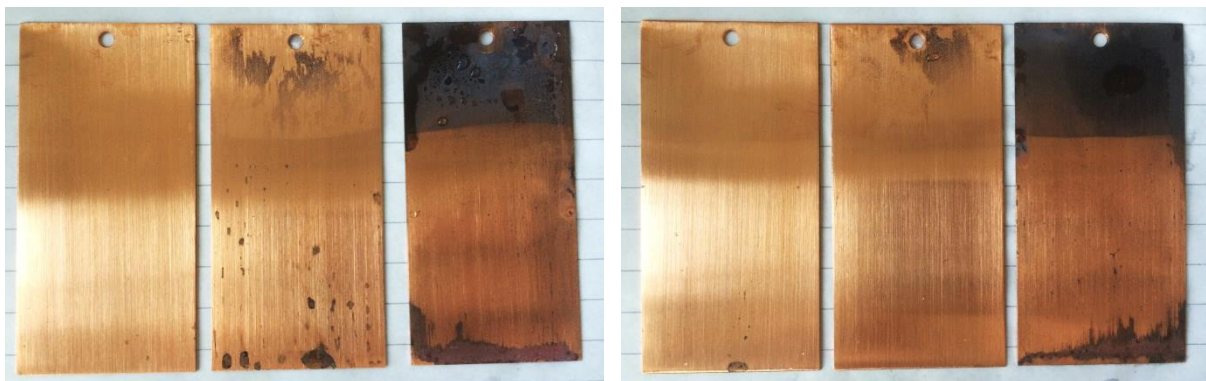
**Slika 4.2.** Bakrene pločice I2, I8 i I4 sa prednje i zadnje strane.

Na slici 4.3. prikazane su bakrene pločice koje su uronjene donjom polovicom u otopinu NaCl-a,  $w(\text{NaCl}) = 0,0035\%$ . Pločice I3 i I9 bile su zaštićene parnofaznim inhibitorom, dok pločica 15 nije imala zaštitu.



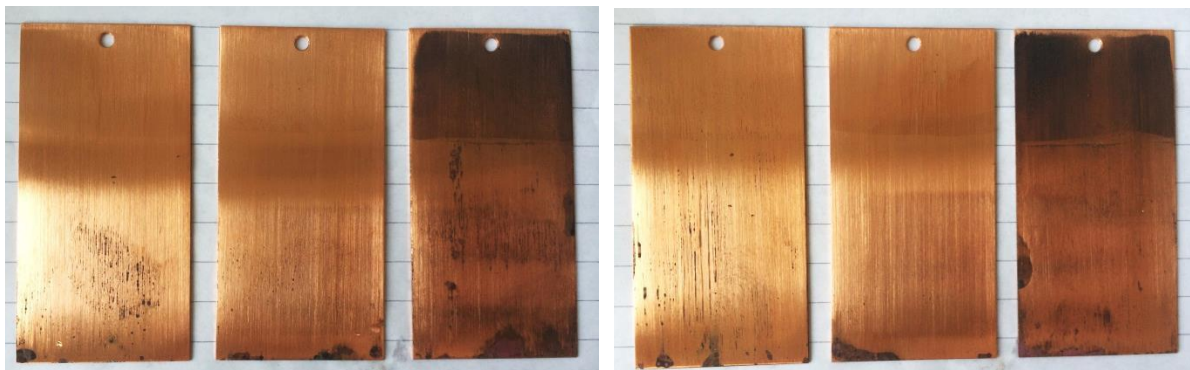
**Slika 4.3.** Bakrene pločice I3, I9 i 15 sa prednje i zadnje strane.

Na slici 4.4. prikazane su bakrene pločice koje su uronjene donjom polovicom u otopinu NaCl-a,  $w(\text{NaCl}) = 0,035\%$ . Pločice I4 i I10 bile su zaštićene parnofaznim inhibitorom, dok pločica 16 nije imala zaštitu.



**Slika 4.4.** Bakrene pločice I4, I10 i 16 sa prednje i zadnje strane.

Na slici 4.5. prikazane su bakrene pločice koje su uronjene donjom polovicom u otopinu NaCl-a,  $w(\text{NaCl}) = 0,35\%$ . Pločice I5 i I11 bile su zaštićene parnofaznim inhibitorom, dok pločica 17 nije imala zaštitu.



**Slika 4.5.** Bakrene pločice I5, I11 i 17 sa prednje i zadnje strane.

Na slici 4.6. prikazane su bakrene pločice koje su uronjene donjom polovicom u otopinu NaCl-a,  $w(\text{NaCl}) = 3,5\%$ . Pločice I6 i I12 bile su zaštićene parnofaznim inhibitorom, dok pločica 18 nije imala zaštitu.



**Slika 4.6.** Bakrene pločice I6, I12 i 18 sa prednje i zadnje strane.



## 4.2. Utjecaj područja uranjanja pločica na djelotvornost VCI

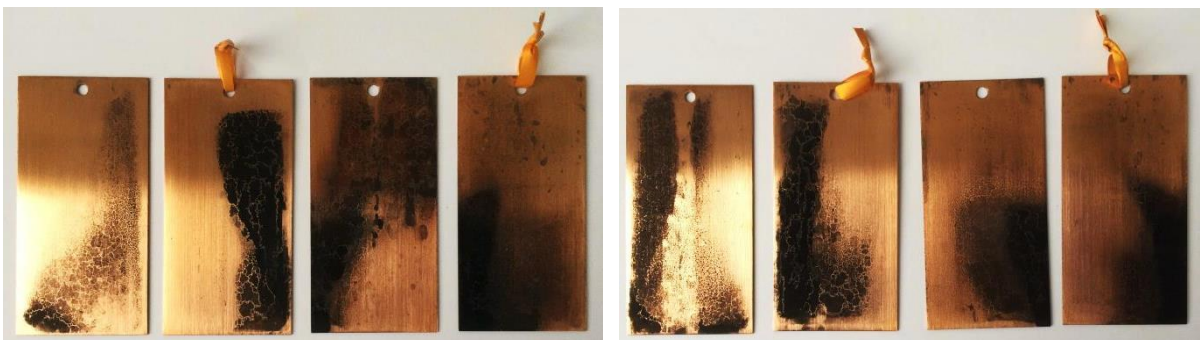
S obzirom na to da je pri koncentraciji otopine NaCl,  $w(\text{NaCl}) = 0,035\%$ , došlo do agresivnijeg korozijskog napada na dijelu pločice koji nije bio uronjen od onog koji je bio uronjen u otopinu, u ovom pokusu pločice su uranjane u otopinu navedene koncentracije, na različite načine. Također, uzeo se u obzir i moguć utjecaj materijala od kojeg je izrađen nosač pločica, pa se osim nehrđajućeg čelika koristila plastična trakica i drveni štapić.

Na slici 4.7. prikazane su bakrene pločice koje su uranjane donjom polovicom u otopinu NaCl-a,  $w(\text{NaCl}) = 0,035\%$ . Pločice I19 i 21 postavljene su na nosač od nehrđajućeg čelika, a pločice I20 i 22 na plastični nosač. Pločice I19 i I20 bile su zaštićene inhibitorom, dok pločice 21 i 22 nisu imale zaštitu.



**Slika 4.7.** Bakrene pločice I19, I20, 21 i 22 sa prednje i zadnje strane.

Na slici 4.8. prikazane su bakrene pločice koje su uranjane gornjom polovicom u otopinu NaCl-a,  $w(\text{NaCl}) = 0,035\%$ . Pločice I23 i 25 postavljene su na nosač od nehrđajućeg čelika, a pločice I24 i 26 na plastični nosač. Pločice I23 i I24 bile su zaštićene inhibitorom, dok pločice 25 i 26 nisu imale zaštitu.



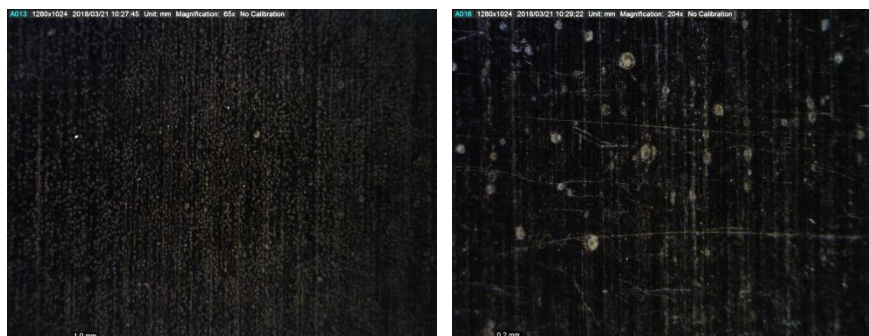
**Slika 4.8.** Bakrene pločice I23, I24, 25 i 26 sa prednje i zadnje strane.

Na slici 4.9. prikazane su ne uranjane bakrene pločice. Pločice I27 i 29 postavljene su na nosač od nehrđajućeg čelika, a pločice I28 i 30 na plastični nosač. Pločice I27 i I28 bile su zaštićene inhibitorom, dok pločice 29 i 30 nisu imale zaštitu.

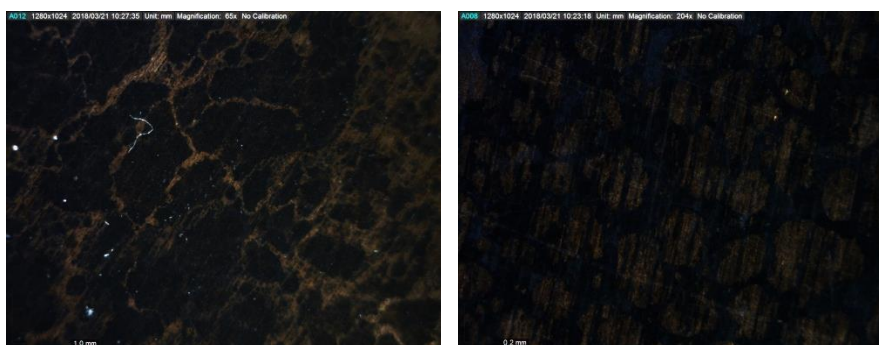


**Slika 4.9.** Bakrene pločice I27, I28, 29 i 30 sa prednje i zadnje strane.

Površine pločice zaštićene inhibitorom (I28) i nezaštićene pločice (29) snimljene su digitalnim mikroskopom na mjestima zahvaćenim korozijom (slika 4.10 i slika 4.11.).

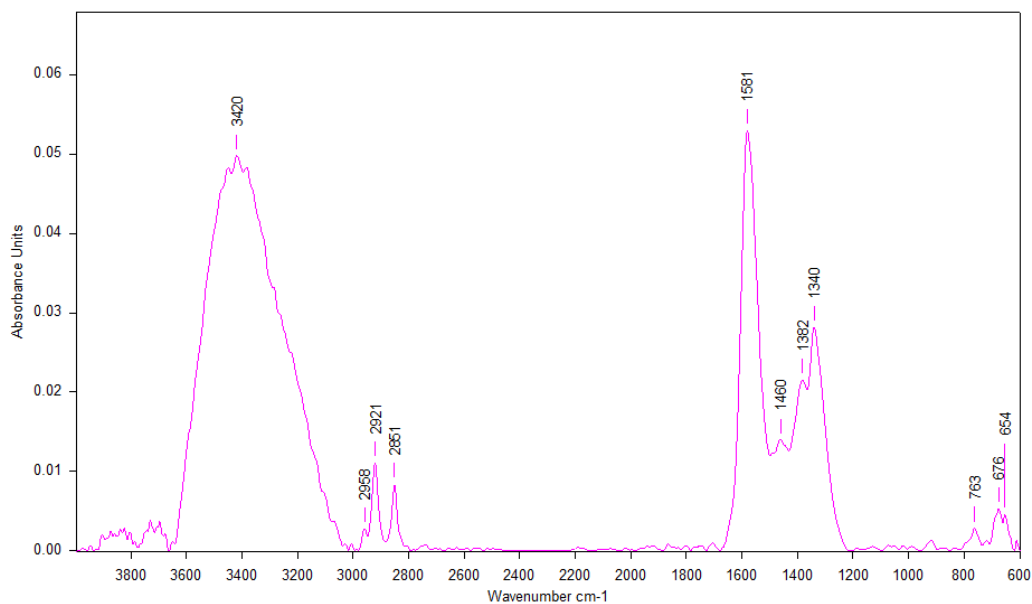


**Slika 4.10.** Površina bakrene pločice zaštićene inhibitorom (I28) pri povećanju  $P = 65 \times$  i  $P = 204 \times$

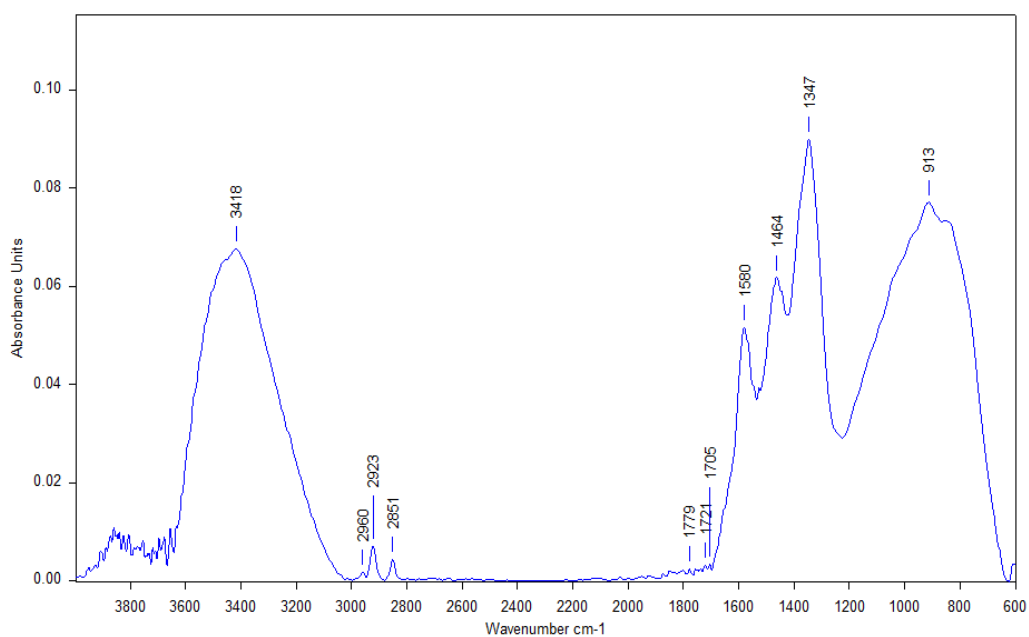


**Slika 4.11.** Površina bakrene pločice nezaštićene (29) inhibitorom pri povećanju  $P = 65 \times$  i  $P = 204 \times$ .

Bakrene pločice I28 i 29 odabrane su za FTIR analizu. Od pločica zaštićenih parnofaznim inhibitorom, pod djelovanjem kloridnih iona, pločica I28 je najmanje oštećena korozijom. Pločica 29 je odabrana jer od nezaštićenih pločica, pod utjecajem kloridnih iona, ima najviše oštećenja uzrokovanih korozijom. Dobiveni FTIR spektri prikazani su na slikama 4.12. i 4.13.



**Slika 4.12.** FTIR spektar područja zahvaćenog korozijom na pločici zaštićenoj inhibitorom.



**Slika 4.13.** FTIR spektar područja zahvaćenog korozijom na pločici nezaštićenoj inhibitorom.

### 4.3. Utjecaj joda na djelotvornost VCI

Na slici 4.14. prikazane su bakrene pločice koje su bile izložene djelovanju joda. Pločice I3 i I34 bile su zaštićene inhibitorom, dok pločice 31 i 32 nisu imale zaštitu.



**Slika 4.14.** Bakrene pločice 31, 32, I33 i I34 sa prednje i zadnje strane.

## **5. RASPRAVA**

### **5.1. Utjecaj koncentracije klorida na djelotvornost VCI**

Nakon provedenog ispitivanja na svim uzorcima bakrenih pločica vidljiva je korozija. Nakon 14 dana izloženosti djelovanju kloridnih iona, vizualnim pregledom se vidi da je površina zaštićena inhibitorom u puno manjoj mjeri oštećena od one nezaštićene. Rezultati ovise o koncentraciji kloridnih iona u otopinama u koje su uranjane bakrene pločice. Porastom koncentracije kloridnih iona uočava se povećanje oštećene površine. Sve pločice koje nisu bile zaštićene inhibitorom su izrazito korodirale. Iz slike 4.1. može se vidjeti da je neinhibirana pločica u potpunosti prekrivena korozijskim produktom. Na slici 4.2. vidljivo je da je gornja polovica neinhibirane pločice podlegla koroziji, dok je iz slike 4.3., slike 4.4. i slike 4.5. vidljivo da su korodirale gornje polovice pločica i samo dno pločice. Pločica broj 18 (slika 4.6.) u potpunosti je korodirala, ali uz nešto intenzivniju koroziju na donjoj polovici pločice. Pločice zaštićene parnofaznim inhibitorom prikazane na slici 4.1. korodirale su samo uz gornji rub pločice, dok su pločice prikazane na slikama 4.2 – 4.4. korodirale na gornjoj polovici i uz donji rub pločice. Na slikama 4.5. i 4.6. vidljivo je da su korodirali donji dijelovi pločica. Pretpostavka je bila da će intenzivnije korodirati dijelovi pločica koji su uranjani u otopine. Međutim, kod srednjih koncentracija otopine NaCl došlo je do korozije na dijelu pločice koji nije uronjen, što je posljedica isparavanja otopine uslijed povišene temperature.

Kako bi dodatno ispitali dobivene rezultate, razvila se ideja o različitom načinu uranjanja pločica u otopinu natrijeva klorida,  $w(\text{NaCl}) = 0,035\%$ . Kako bi se otklonila sumnja da je korozija uzrokovana zbog nosača od nehrđajućeg čelika na koje su pločice bile obješene, u drugom ispitivanju primjenjivane su i plastične trakice s drvenim nosačem. Uz primjenu različitih nosača, prije drugog ispitivanja, pločice su odmašćene u ultrazvučnoj kupelji.

### **5.2. Utjecaj područja uranjanja pločica na djelotvornost VCI**

Nakon 14 dana provedenog ispitivanja, rezultati pločica, koje su prije ispitivanja bile odmašćene u ultrazvučnoj kupelji, razlikuju se od rezultata pločica koje prije prvog ispitivanja nisu bile ni na koji način bile obrađene. Materijali od kojih su izrađeni nosači pločica nisu pokazali nikakav utjecaj na rezultate. Vizualnim testom je na svim pločicama utvrđen određen stupanj oštećenja uzrokovan korozijom.

Pločice nezaštićene parnofaznih inhibitorom korodirale su duž cijele površine neovisno o načinu uranjanja dok su pločice zaštićene inhibitorom korodirale mjestimično, također neovisno o načinu uranjanja (slike 4.7. i 4.8.). Ne uranjane pločice su pokazale iste rezultate (slika 4.9.).

Na slici 4.10. prikazana je površina korozijskog oštećenja na pločici koja je bila zaštićena inhibitorom (I28), a na slici 4.11. površina korozijskog oštećenja površine nezaštićene pločice (29). Korozijska oštećenja snimljena su digitalnim mikroskopom pri povećanjima od 65 X i 204 X. Iz slika je vidljivo da nezaštićena pločica ima površinom znatno veća oštećenja nepravilnog oblika i različite veličine. Površina inhibirane pločice ima oštećenja u obliku sitnih točkica, pravilnog oblika i podjednake veličine.

Kako bi se dokazala prisutnost parnofaznog inhibitora na površini pločice nakon izlaganja kloridima, uzorci I28 i 29 podvrgnuti su analizi na FTIR spektrometru. Na slikama 4.12. i 4.13. prikazani su dobiveni rezultati. Područje koje se naziva „otisak prsta“, tzv. *fingerprint region* nalazimo od  $500\text{ cm}^{-1}$  do  $1500\text{ cm}^{-1}$  iz kojeg se sa potpunom sigurnošću može tvrditi da li postoje razlike u sastavu dva spektra različitih uzoraka [23]. Iz spektara se može uočiti razlika u pikovima na valnoj duljini od  $913\text{ cm}^{-1}$ , iz čega možemo zaključiti da se radi o adsorpciji inhibitora na površinu uzorka.

### **5.3. Utjecaj joda na djelotvornost VCI**

Na slici 4.14. prikazani su rezultati ispitivanja s otopinom joda. Nakon 4 dana ispitivanja vidljive su posljedice korozije na pločicama zaštićenim parnofaznim inhibitorom i na nezaštićenim pločicama. Vidljiv je određen stupanj zaštite kod uzoraka izloženih inhibitoru, no u usporedbi s rezultatima dobivenim u atmosferi bogatoj kloridima, inhibitor je pokazao znatno manju djelotvornost iako ga je u jednakom volumenu bilo znatno više.

## 6. ZAKLJUČAK

Budući da je korozija prirodna i neizbježna pojava, koja ima negativan utjecaj na svojstva metala, potrebno je primjenjivati razne metode zaštite. Jedna od zaštita je primjena parnofaznih inhibitora. U ovom radu ispitivani su uvjeti pri kojima će se moći dobiti ponovljivi rezultati kako bi se razvila metoda za ocjenu djelotvornosti parnofaznih inhibitora u svrhu poboljšanja zaštite od korozije.

Nakon provedenih ispitivanja, vizualno bolji izgled bakrenih pločica indicira djelotvornost inhibitora. U okolini s kloridima, djelotvornost inhibitora ovisi o njihovoj koncentraciji. Veća djelotvornost pokazala se pri nižim koncentracijama, odnosno u manje agresivnim sredinama. Provedenim ispitivanjima u parnoj fazi došlo se do zaključka da na djelotvornost inhibitora utječe i obrađenost površine metala koji se štiti. Također, povišenjem temperature došlo je do hlapljenja otopine što je, u slučaju neobrađenih površina, dovelo do korozije na dijelovima koji nisu bili uranjani u otopinu klorida.

Jod se pokazao kao izrazito agresivni uzročnik korozije na bakru. Do vidljivih posljedica došlo je u vrlo kratkom periodu. Parnofazni inhibitor, VpCI-126<sup>®</sup>, pokazao je slabiju zaštitu u atmosferi bogatoj jodom, u odnosu na atmosferu klorida.

FTIR analizom može se dokazati razlika u stanju zaštićenih i nezaštićenih metalnih površina nakon izlaganja korozijskom okolišu, te možemo zaključiti da je došlo do adsorpcije određene količine parnog inhibitora na površinu uzorku .

## 7. POPIS SIMBOLA I KRATICA

### Simboli

$w$  – masena koncentracija, %

$E^0$  – standardni elektrodni potencijal, V

### Kratice

VPI (eng. *Vapour Phase Inhibitors*) – parnofazni inhibitori

VCI (eng. *Volatile Corrosion Inhibitor*) – hlapljivi inhibitori korozije

VpCI (eng. *Vapor phase Corrosion Inhibitor*) – parnofazni inhibitori korozije

FTIR (eng. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) – infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom

I - inhibitor

P - povećanje



## 8. LITERATURA

- [1] Stupnišek – Lisac, E., Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, FKIT, Zagreb, 2007.
- [2] Kharsan, M., Furman, A., Mikšić, B., Rogan, I., Hlapljivi inhibitori korozije u mazivima, Cortec Corporation, Minnesota, USA, 2006.
- [3] Koch, G., Brongers, M., Thompson, N., Corrosion Costs and Preventive Strategies In The United States, CC Technologies Laboratories, Inc., Dublin, Ohio
- [4] Shanina, Y., L., Health and Safety Considerations of VCI Corrosion-Inhibiting systems in Polymer Films, Nace International, 2004.
- [5] Dante, J., Tormoen, G., Sridhar, N., In-Situ Measurements of Volatile Corrosion Inhibitor (VCI) Performance, Nace International, 2006.
- [6] <http://scienceviews.com/geology/copper.html> (pristup 6. kolovoz, 2018.)
- [7] <https://www.moneymetals.com/pre-1983-95-percent-copper-pennies/4> (pristup 6. kolovoz, 2018.)
- [8] <https://parawire.com/craft-store/bare-copper-wire/> (pristup 6. kolovoz, 2018.)
- [9] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Konzervacija\\_javnih\\_bron%C4%8Danih\\_sкулptura#/media/File:Zdenac\\_%C5%BEivota\\_\(Me%C5%A1trovi%C4%87\)\\_1.jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Konzervacija_javnih_bron%C4%8Danih_sкулptura#/media/File:Zdenac_%C5%BEivota_(Me%C5%A1trovi%C4%87)_1.jpg) (pristup 7. kolovoz, 2018.)
- [10] Ćurković Otmačić, H., Metalni materijali, korozija i zaštita, materijali za predavanja, FKIT, Zagreb, 2018.
- [11] <http://www.dinop.hr/hr/katalog/grijanje/bakrene-cijeve-i-fiting/bakrene-cijeve> (pristup 8. kolovoz, 2018.)
- [12] <http://www.itsnotworkitsgardening.com/2011/07/creating-copper-patina-fast.html> (pristup 8. kolovoz, 2018.)
- [13] <https://en.wikipedia.org/wiki/Chalcopyrite#/media/File:Chalcopyrite-199453.jpg> (pristup: 18. kolovoz, 2018.)
- [14] Mikšić, B., Rogan, I., Alar, V., Primjena hlapljivih inhibitora korozije u zaštiti opreme kod skladištenja i prekomorskog transporta, Kormat, 2016.

[15] Lyublinski, E., Y., Kubik, D. A., Efficiency of combined corrosion protection methods including VCI, NACE International, 2003.

[16] <http://www.cortecros.hr/Uploads/Cortec%20proizvodi-TLP/VpCI-126.pdf>  
(pristup 7. kolovoz, 2018.)

[17] Ansari, F.A., Verma, C., Siddiqui, Y.S., Ebenso, E.E., Quraishi, M.A., Volatile corrosion inhibitors for ferrous and non-ferrous metals and alloys, Int. J. Corros. Scale Inhib., 2018., 137

[18] [http://qpac.com.sg/index.php?route=product/product&path=120&product\\_id=178](http://qpac.com.sg/index.php?route=product/product&path=120&product_id=178)  
(pristup 7. kolovoz, 2018.)

[19] [https://www.productpackagingsupplies.com/Item/4x6\\_Cortec\\_VpCI\\_Anti\\_Corrosion\\_Zipper\\_Poly\\_Bag](https://www.productpackagingsupplies.com/Item/4x6_Cortec_VpCI_Anti_Corrosion_Zipper_Poly_Bag) (pristup 7. kolovoz, 2018.)

[20] Carlson, A., Austin, L., Cortec Corporation work instruction, VIA test, Version 17, 2016.

[21] Cortec Corporation work instruction, Razor Blade test, 2016.

[22] Hrnjak – Murgić, Z., Jelenčić, J., Interna skripta iz kolegija Karakterizacija materijala, Zagreb, FKIT, 2017./2018.

[23] Škorić I., Molekulska spektroskopija, nastavni tekst, FKIT

## ŽIVOTOPIS

Ema Lovrinčić, [REDACTED] Svoje obrazovanje započinje u Osnovnoj školi Vidikovac te ga nastavlja upisom u opću gimnaziju, Gimnaziju Pula. Studiranje započinje upisom na preddiplomski studij Kemija i inženjerstvo materijala na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Stručnu praksu na preddiplomskom studiju odrađuje u Metrisu, Ustanovi Centru za istraživanje materijala Istarske županije. Godine 2018. sudjeluje na prvoj međunarodnoj studentskoj GREEN konferenciji sa posterom na temu Biorazgradnja bisfenola A. U akademskoj godini 2017. / 2018. nagrađena je Rektorovom nagradom za rad na temu Biorazgradnja bisfenola A u vodi.