

ĐENĐI VAŠTAG<sup>1\*</sup>, JELENA NAKOMČIĆ<sup>1</sup>, SUZANA APOSTOLOV<sup>1</sup>, BORKO MATIJEVIĆ<sup>1</sup>, ABDUL SHABAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Srbija, <sup>2</sup>Research Centre for Natural Sciences, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary

Naučni rad  
ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585  
UDC:620.197.3:669.3  
doi:10.5937/ZasMat1504429V



Zastita Materijala 56 (4)  
429 - 434 (2015)

## Inhibicija korozije bakra primenom derivata tiazola

### IZVOD

Primenom elektrohemijske impedansne spektroskopije (EIS) i skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM) ispitivano je inhibitorsko dejstvo 5-(4-dimetilaminobenziliden)-2,4-dioksotetrahidro-1,3-tiazola, DABDT, na koroziju bakra u kiselu-sulfatnoj sredini ( $0,1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{pH}=3$ ). Dobijeni rezultati ukazuju na dobru inhibitorsku efikasnost ispitivanog derivata, koja raste sa porastom primenjene koncentracije. Zaštitni efekat DABDT-a ostvaruje putem hemisorpcije (prateći Langmirovu izotermu) u obliku vrlo tankog inhibitorskog filma na bakarnu površinu, što se manifestuje povećanjem ukupnog otpora, sniženjem kapaciteta dvojnog sloja, kao i manje oštećenom bakarnom površinom u odnosu na korozionu sredinu.

**Ključne reči:** korozija bakra, derivat tiazola, EIS, SEM

### 1. UVOD

Bakar i njegove legure spadaju u važan konstrukcioni materijal koji je često izložen kiseloj sredini prilikom prečišćavanja, pri otklanjanju korozionih proizvoda sa prenosnika toplote, elektrohemijskog glačanja, itd. Najčešće korišćena kiselina u ovim procesima je sumporna kiselina, u čijem prisustvu može doći do korozije bakra, pošto je formiranje pasivnog oksidnog sloja na površini metala onemogućeno [1]. Zaštita bakra u kiseloj sredini se najčešće vrši primenom korozionih inhibitora. Veliki broj molekula je do sada ispitivan kao potencijalni inhibitor korozije bakra. Na osnovu objavljenih rezultata uočljivo je da dobre inhibitorske osobine imaju organski molekuli koji u svojoj strukturi sadrže heteroatome azota, sumpora ili kiseonika [2-8]. Najveći broj njih ispoljava dobru inhibitorsku efikasnost u neutralnoj sredini, dok je broj jedinjenja sa dobrim zaštitnim osobinama u kiseloj sredini limitiran [9-13].

Derivati tiazola spadaju u grupu jedinjenja koja se pokazala kao dobar inhibitor korozije bakra u kiselu-sulfatnoj sredini. Ovi organski molekuli svoje inhibitorsko dejstvo na koroziju pretežno ispoljavaju adsorpcijom na metalnu površinu usled čega se stepen korozije metala smanjuje [14-15].

\*Autor za korespondenciju: Đenđi Vaštag

E-mail: [djendji.vastag@dh.uns.ac.rs](mailto:djendji.vastag@dh.uns.ac.rs)

Rad primljen: 11. 06. 2015.

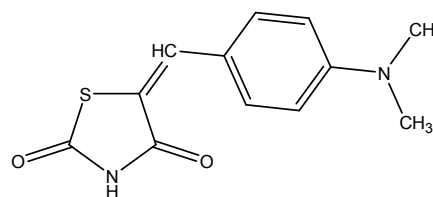
Rad prihvaćen: 10. 08. 2015.

Rad je dostupan na sajtu: [www.idk.org.rs/casopis](http://www.idk.org.rs/casopis)

Cilj ovog rada je bio da se ispita inhibitorsko dejstvo derivata tiazola 5-(4-dimetilaminobenziliden)-2,4-dioksotetrahidro-1,3-tiazola (DABDT) na koroziju bakra u kiselom rastvoru ( $\text{pH}=3$ ) natrijum-sulfata koncentracije  $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$  primenom elektrohemijske impedansne spektroskopije (EIS) i skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM).

### 2. EKSPERIMENTALNI DEO

U okviru ovog rada ispitivan je 5-(4-dimetilaminobenziliden)-2,4-dioksotetrahidro-1,3-tiazol, DABDT (slika 1) kao inhibitor korozije bakra u kiseloj sulfatnoj sredini:



Slika 1 - Struktura inhibitora

Zbog male rastvorljivosti jedinjenja u vodi, prvo je pripremljen osnovni rastvor inhibitora koncentracije  $1 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$  u etanolu. Razblaživanjem osnovnog rastvora destilovanom vodom i dodatkom  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dobijeni su rastvori željenih koncentracija i sastava ( $\sim 4\%$  etanola). U svim ispitivanim rastvorima pH vrednost je podešena na 3, dodatkom razblažene sumporne kiseline.

Za elektrohemijska merenja korišćen je kompjuterski kontrolisan potencijostat VoltaLab PGZ 301. Merenja elektrohemijske impedanse vršena

su u standardnoj troelektrodnoj elektrohemijskoj ćeliji. Kao radna elektroda korišćena je bakarna elektroda, pomoćna elektroda je bila platinska mreža, a kao referentna elektroda korišćena je zasićena kalomelova elektroda. Pre svakog merenja radna elektroda je polirana papirom za glačanje SiC, finoće 1200, oprana i uronjena u ispitivani rastvor. Merenja elektrohemijske impedanse vršena su na korozionom potencijalu elektrode nakon relaksacionog vremena od 30 minuta, u osnovnom rastvoru elektrolita ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $c=0,1\text{mol dm}^{-3}$ ,  $\text{pH}=3$ ) i u rastvorima inhibitora u opsegu koncentracija od  $0,001\text{ mmol dm}^{-3}$  do  $0,01\text{ mmol dm}^{-3}$ . Sva merenja su vršena na sobnoj temperaturi, 298K, uz stalno mešanje rastvora. Nametnuti potencijal je bio sinusoidne amplitude od 10mV, a merenja su vršena u opsegu frekvencija od 0,01Hz do 10kHz, sa 10 tačaka u dekadi. Kvantitativna analiza eksperimentalnih rezultata rađena je nelinearnom metodom najmanjih kvadrata, primenom programa *Eissa\_0.1b*.

Morfologija bakarne površine praćena je primenom skenirajućeg elektronskog mikroskopa modela ZEISS EVO40 XVP instrument. Pre snimanja pločice bakra su polirana papirom za glačanje SiC, finoće 2000, nakon toga dijamantskom suspenzijom veličine zrna  $0,25\mu\text{m}$ , oprane i uronjene u korozioni rastvor ili rastvor inhibitora koncentracije  $0,01\text{ mmol dm}^{-3}$  48 sati. Snimanje morfologije bakarne površine rađeno je pri uvećanju od 15000.

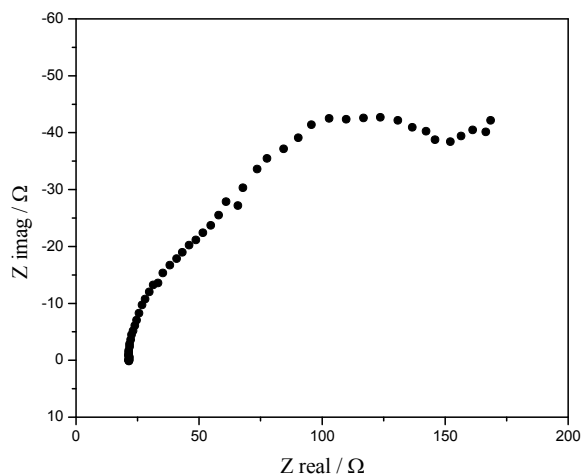
### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

#### 3.1, Rezultati elektrohemijske impedansne spektroskopije

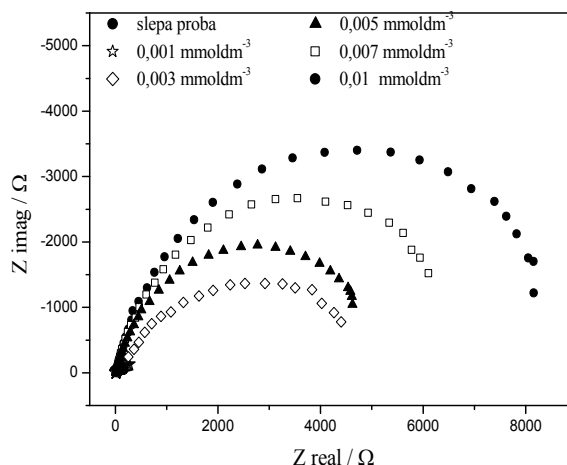
Merenja elektrohemijske impedansne spektroskopije kao što je već ranije navedeno vršena su u kiselom rastvoru natrijum-sulfata, koncentracije  $0,1\text{mol dm}^{-3}$  i u inhibitorским rastvorima, u opsegu koncentracija od  $0,001\text{ mmol dm}^{-3}$  do  $0,01\text{ mmol dm}^{-3}$  pri  $\text{pH}=3$ , nakon relaksacionog vremena od 30 minuta. Na slici 2 prikazana je Nyquistova kriva bakarne elektrode u osnovnom rastvoru ( $0,1\text{ mol dm}^{-3}$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), a na slici 3 Nyquistove krive bakarne elektrode u inhibitorским rastvorima različitim koncentracijama.

Sa slike 2 i slike 3 se vidi da Nyquist-ove krive i u osnovnom i u inhibitorским rastvorima odstupaju od idealnog polukružnog oblika, što je i karakteristično za bakar u kiselom sulfatnoj sredini. Ovaj fenomen se često pripisuje heterogenosti bakarne površine ili adsorpciji inhibitora [16-17]. Sa slika 2 i 3, takođe, je uočljivo i to da se Nyquist-ove krive u osnovnom rastvoru i u inhibitorским rastvorima razlikuju po obliku. U korozionoj sredini bez prisustva inhibitora, za razliku od inhibitorских rastvora, na krivoj se javlja jedan polukrug pri visokim frekvencijama koji je praćen konstantnim faznim uglom od  $45^\circ$  nezavisnim od frekvencije. Ova pojava je karakteristična za sisteme koji su pod kontrolom

linearne difuzije i mogu se dobro opisati primenom Warburgove impedanse.



Slika 2 - Nyquist-ova kriva bakarne elektrode u korozionom rastvoru



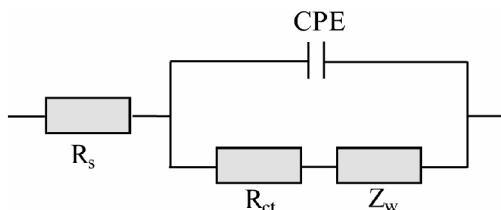
Slika 3 - Nyquist-ove krive bakarne elektrode u rastvorima DABDT

Sa slika 2 i 3 se, takođe, može videti da prisustvo inhibitora dovodi do nestanka konstantanog faznog ugla od  $45^\circ$ , a porast koncentracije do značajnog povećanja kapacitivne petlje na Nyquistovim krivama u oblasti viših frekvencija u odnosu na korozionu sredinu. Ovakva pojava indikacija je da molekuli DABDT-a formiraju barijeru na metalnoj površini i na taj način ga štite od korozije [18]. Sa druge strane, povećanje kapacitivne petlje sa porastom koncentracije inhibitora je znak da otpor prenosu naelektrisanja postaje dominantan u prisustvu tiazola [3].

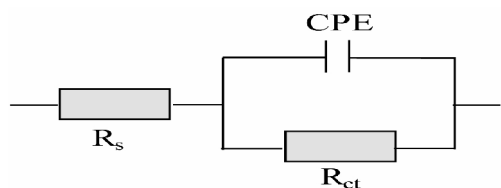
Više informacija o dinamičkim procesima koji se odigravaju na površini elektrode u osnovnom i inhibitorским rastvorima, može se dobiti modeliranjem ispitivanog elektrohemijškog sistema. Modeliranje se vrši primenom nelinearne metode najmanjih kvadrata.

Primenom programa *Eissa\_0.1b* dobijena su dva modela, jedan za osnovni rastvor (slika 4a), a

drugi model se pokazao pogodnim za opisivanje elektrohemijske ćelije u inhibitorским rastvorima (slika 4b).



Slika 4a - Model elektrohemijske ćelije u inhibitorским rastvorima



Slika 4b - Model elektrohemijske ćelije u korozionom rastvoru

gde je:

- $R_s$  - omni otpor rastvora elektrolita,
- $R_{ct}$  - otpor prenosu naelektrisanja,
- $CPE$  - fazno konstantni element dvojnog sloja i
- $Z_w$  - Warburgova impedansa.

Prilikom modeliranja, umesto kapaciteta dvojnog sloja,  $C_{ds}$ , koristio se fazno konstantni element,  $CPE$ . Bolje slaganje eksperimentalnih podataka prilikom modeliranja sa fazno konstantnim elementom ukazuje na prisustvo nehomogenosti elektrodne površine, koja utiče na neravnomernu raspodelu površinskih osobina bakarne elektrode.

Impedansa fazno konstantnog elementa data je jednačinom:

$$Z_{CPE} = \frac{1}{Y_0} (j\omega)^{-\alpha} \quad (1)$$

gde je:

- $Y_0$  - magnituda od  $CPE$ ,
- $\omega$  - ugaona frekvencija, a
- $\alpha$  - eksponencijalni pojam od  $C_{ds}$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) [15-16].

Vrednost  $\alpha$  ukazuje na distribuciju vremenskih konstanti pod uticajem nehomogenosti elektrodne površine ili usled formiranja inhibitorskog filma [19]. Mala vrednost  $\alpha$  indikacija je za veću hrapavost elektrodne površine [20]. Vrednost  $\alpha \sim 0,5$  je znak da se u toku korozionog procesa javlja difuzija, a ako je vrednost  $\alpha$  veća (kao u slučaju  $DABDT$ -a) kapacitivna petlja u Nyquist-ovoj krivi potiče od oksido-redukcijskih procesa korozionih produkata ili rastvorenog kiseonika [21].

Dobijene vrednosti fazno konstantnog elementa su preračunate u kapacitet dvojnog sloja primenom Hsu i Mansfeldove formule koja se najčešće primenjuje za korozione inhibitore [22,23].

U tabeli 1 su prikazane vrednosti za korozioni potencijal ( $E$ ) kao i vrednosti dobijene modeliranjem elektrohemijskog sistema za polarizacioni otpor ( $R_{ct}$ ), kapacitet dvojnog sloja ( $C_{ds}$ ), nehomogenost površine ( $\alpha$ ) i inhibitoršku efikasnost ( $\eta$ ) u osnovnom rastvoru i rastvorima ispitivanog derivata tiazola pri različitim koncentracijama. Vrednost Warburgove impedanse za osnovni rastvor iznosila je  $5\Omega$ . Inhibitorska efikasnost ( $\eta$ ) računata je na osnovu jednačine:

$$\theta = \frac{R_{ct}(inh) - R_{ct}(o)}{R_{ct}(inh)} \quad (2)$$

$$\eta(\%) = \theta \cdot 100 \quad (3)$$

gde je:

- $\theta$  - prekrivenost bakarne površine,
- $R_{ct}(inh)$  - polarizacioni otpor u inhibitorском rastvoru, a
- $R_{ct}(o)$  - polarizacioni otpor u osnovnom rastvoru.

Tabela 1 - Vrednosti korozionog potencijala, polarizacionog otpora, kapaciteta dvojnog sloja, nehomogenosti površine i inhibitorške efikasnosti osnovnog rastvora i inhibitorских rastvora

$c/\text{mmoldm}^{-3}$	$E/\text{mV}$	$R_{ct}/\Omega$	$C_{ds}/\text{mFcm}^{-2}$	$\alpha$	$\eta(\%)$
0	-43	170	18,09	0,53	/
0,001	-48	430	16,22	0,70	60,5
0,003	-51	1690	10,20	0,75	89,9
0,005	-58	5500	7,33	0,80	96,9
0,007	-56	7350	3,92	0,80	97,7
0,010	-57	10000	3,70	0,75	98,3

Iz podataka prikazani u tabeli 1, ako se posmatraju vrednosti izmerenih korozionih potencijala u svim sistemima, može se uočiti, da ne dolazi do njegovog pomeranja usled prisustva različitih

koncentracija  $DABDT$ -a. Takođe se može primetiti da u prisustvu inhibitora dolazi do smanjenja nehomogenosti elektrodne površine, odnosno do porasta vrednosti  $\alpha$  faktora. Pored opisivanja ne-

homogenosti elektrodne površine, kao što je već ranije navedeno vrednost  $\alpha$  faktora se često koristi i za predviđanje tipa procesa koji kontroliše brzinu elektrohemijske reakcije u datom sistemu. Vrednosti  $\alpha$  faktora koje se kreću u granicama od 0,70-0,90 ukazuju da je dominantan faktor koji utiče na brzinu korozione reakcije prenosa naelektrisanja, dok vrednost manja od toga je znak da je elektrohemijski sistem pod difuzionom kontrolom. Kao što se iz vrednosti  $\alpha$  faktora prikazanih u Tabeli 1 može videti, brzina korozione reakcije bakra u osnovnom rastvoru je pod difuzionom kontrolom, dok u inhibitorским rastvorima limitirajući faktor rastvaranja bakra predstavlja prenos naelektrisanja. Dobijeni rezultati potvrđuju ispravnost odabranih modela elektrohemijske ćelije.

Vrednosti polarizacionog otpora  $R_{ct}$ , predstavljaju direktno merilo zaštićenosti bakarne površine od korozije. Veća vrednost polarizacionog otpora je znak bolje otpornosti posmatrane metalne površine u odnosu na degradacioni proces [10, 24]. Iz rezultata prikazanih u tabeli 1, vidi se da je polarizacioni otpor u prisustvu ispitivanog derivata tiazola od 2 do 50 puta veći nego u osnovnom rastvoru, što predstavlja dokaz da ispitivani derivat tiazola raspolaže inhibitorским osobinama u odnosu na koroziju bakra u kiselo-sulfatnoj sredini. Uočljivo je da vrednost polarizacionog otpora jako zavisi od primenjene koncentracije. Sa porastom koncentracije dolazi do povećanja polarizacionog otpora.

Na osnovu teorijskih saznanja poznato je da organski molekuli svoje inhibitorско dejstvo na koroziju bakra ispoljavaju adsorbicijom na površinu metala. Molekul inhibitora prilikom adsorbicije na metalnu površinu istiskuje molekule vode i/ili naelektrisane jone iz unutrašnjosti elektrohemijskog dvojnog sloja. Za razliku od vode i naelektrisanih jona, organska jedinjenja imaju znatno nižu vrednost dielektrične konstante, što kao posledicu ima sniženje vrednosti kapaciteta dvojnog sloja. Vrednosti kapaciteta dvojnog sloja,  $C_{ds}$ , (tabela 1) određene u osnovnom i inhibitorским rastvorima potvrđuju gore navedeno. Naime, u inhibitorским rastvorima svih koncentracija su registrovane niže vrednosti kapaciteta dvojnog sloja u odnosu na osnovni rastvor. Podaci prikazani u tabeli 1 ukazuju i na to da vrednost kapaciteta dvojnog sloja u velikoj meri zavisi i od primenjene koncentracije inhibitora.

Termodinamički parametri procesa adsorbicije inhibitora na površini bakarne elektrode: konstante ravnoteže procesa adsorbicije,  $K_{ads}$  i promena slobodne energije adsorbicije,  $\Delta G_{ads}$  određeni su na osnovu podataka dobijenih analizom adsorbicione izoterme *DABDT*-a. Obradom dobijenih eksperimentalnih rezultata utvrđeno je da se ispitivani inhibitor na bakarnu površinu adsorbuje prateći Langmirovu izotermu:

$$\frac{c_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + c_{inh} \quad (4)$$

gde je:

$c_{inh}$  – koncentracija inhibitora,

$\theta$  – prekrivenost bakarne površine,

$K_{ads}$  – konstanta ravnoteže procesa adsorbicije.

Promena slobodne energije procesa adsorbicije,  $\Delta G_{ads}$ , izračunata je na osnovu jednačine:

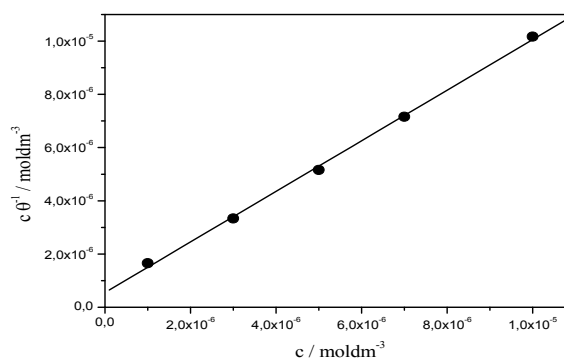
$$K_{ads} = \frac{1}{55,5} \exp(-\Delta G_{ads} / RT) \quad (5)$$

Na slici 5 prikazana je Langmirova izoterma adsorbicije molekula *DABDT* na bakarnu površinu. Odsečak dobijene linearne zavisnosti, pri nagibu od jedan, predstavlja recipročnu vrednost konstante ravnoteže procesa adsorbicije,  $K_{ads}$ .

Vrednosti konstante ravnoteže procesa adsorbicije,  $K_{ads}$ , i koeficijent regresije,  $R$ , izračunate na osnovu Langmirove izoterme kao i vrednost promene slobodne energije adsorbicije,  $\Delta G_{ads}$  pri temperaturi od 298 K prikazane su u tabeli 2.

Tabela 2 - Vrednosti konstante ravnoteže procesa adsorbicije,  $K$ , koeficijent regresije,  $R$  i promena slobodne energije adsorbicije,  $\Delta G_{ads}$  za *DABDT*

$\ln K$	$\Delta G_{ads} / \text{kJ mol}^{-1}$	$R$
14,4	-45,6	0,999



Slika 5 - Langmirova izoterma adsorbicije *DABDT*-a

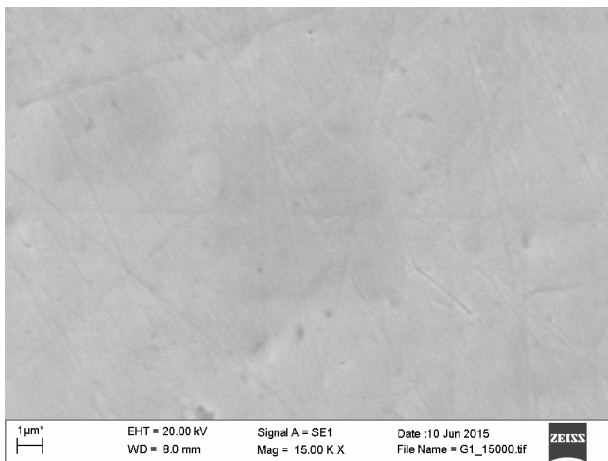
Dobijeni rezultati ukazuju na to da se *DABDT* na bakarnu površinu pri navedenim uslovima adsorbuje brzo, spontano uz formiranje stabilnog inhibitorskog filma na bakarnoj površini [9,15]. Vrednost  $\Delta G_{ads}$  negativnija od  $-40 \text{ kJ mol}^{-1}$  dokaz je da se ispitivano jedinjenje na bakarnu površinu vezuju hemijskom adsorbicijom [9], zahvaljujući čemu ostvaruje dobru inhibitoršku efikasnost u kiseloj sulfatnoj sredini.

Formiranju hemijske veze između inhibitorskog molekula i bakarne površine doprinosi između ostalog i priroda supstituenta u položaju 4 u molekulu tiazola. Naime, dimetilamino grupa spada u

supstituent sa jako izraženom težnjom ka doniranju elektrona usled čega se gustina elektronskog oblaka u molekulu *DABDT*-a u većoj meri koncentriše u okolini atoma aktivnog centra (sumpora) preko koga se ostvaruje veza sa bakrom nego kada supstituent nije prisutan [6].

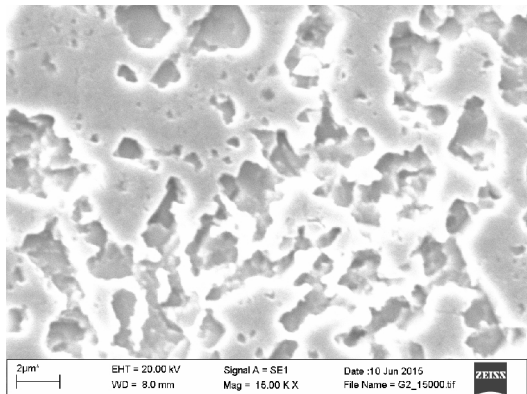
### 3.2. Rezultati skenirajućeg elektronskog mikroskopa

Primenom skenirajućeg elektronskog mikroskopa (*SEM*) analizirana je morfologija bakarne površine koja je bila pre toga uronjena 48 sati u kiseli rastvor natrijum-sulfata ( $\text{pH}=3$ ) koncentracije  $0,1\text{mol dm}^{-3}$  i u inhibitorski rastvor koncentracije  $0,01\text{ mmol dm}^{-3}$ . Slika 6 prikazuje bakarnu površinu na vazduhu, a slika 7 prikazuje morfologiju bakarne površine nakon kontakta sa korozivnom sredinom (a) i nakon uranjanja 48 sati u inhibitorski rastvor (b).



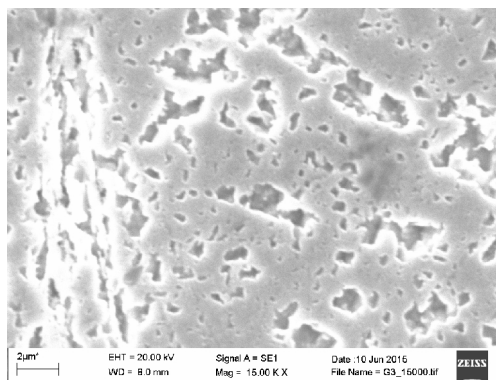
Slika 6 - Morfologija bakarne površine na vazduhu

Kada se uporede morfologije bakarne površine prikazane na slici 6 i slici 7a, jasno se vidi da u kiselom rastvoru natrijum-sulfata dolazi do značajnog oštećenja površine metala u odnosu na površinu koja nije bila izložena korozivnom dejstvu. Na površini bakra nakon izlaganja korozivnoj sredini javljaju se jamice koje su pretežno prekrivena korozivnim produktima ( $\text{Cu}_2\text{O}$  i/ili  $\text{CuO}$ ).



Slika 7a - Morfologija bakarne površine u korozivnoj sredini

Slika 7b prikazuje površinu bakarne pločice nakon izlaganja inhibitorском rastvoru isti vremenski period kao i korozivnoj sredini. Kao što se sa slike 7b vidi, morfologija bakarne površine se ne menja značajno, prisustvo inhibitorског filma nije uočljivo na površini, ali se može registrovati da je bakarna površina manje nagrižena, broj korozivnih oštećenja je smanjen, a jamice koje se javljaju su znatno manjih i dubina i širina u odnosu na korozivni rastvor, što svedoči o zaštitnom dejstvu primenjenog derivata tiazola.



Slika 7b - Morfologija bakarne površine u rastvoru *DABDT*-a  $c=0,01\text{ mmol dm}^{-3}$

## 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu su primenom elektrohemijske impedansne spektroskopije i skenirajućeg elektronskog mikroskopa ispitivane inhibitorске osobine 5-(4-dimetilaminobenziliden)-2,4-dioksotetrahidro-1,3-tiazola (*DABDT*) na koroziju bakra u kiselom rastvoru natrijum-sulfata koncentracije  $0,1\text{mol dm}^{-3}$  pri  $\text{pH}=3$ . Na osnovu rezultata dobijenih u ovom radu može se zaključiti sledeće:

Ispitivano jedinjenje, *DABDT*, ispoljava inhibitorске osobine u odnosu na koroziju bakra u kiselosulfatnoj sredini ( $\text{pH}=3$ ) adsorbujući se na njegovu površinu prateći Langmirovu izotermu. Inhibitorska efikasnost ispitivanog derivata tiazola u velikoj meri zavisi od primenjene koncentracije. Najbolja zaštita bakra od korozije registrovana je pri najvećoj primenjenoj koncentraciji od  $0,01\text{ mmol dm}^{-3}$ . U osnovnom rastvoru brzina korozivne reakcije bakra je difuziono kontrolisana, dok prenos naelektrisanja preuzima dominantan uticaj na brzinu rastvaranja bakra u inhibitorским rastvorima. Inhibitorsko dejstvo ispitivano jedinjenja ispoljava porastom polarizacionog otpora sistema, smanjenjem kapaciteta dvojnog sloja kao i smanjenjem broja i dimenzija korozivnih oštećenja koja se javljaju na bakarnoj površini u odnosu na osnovni rastvor.

### Zahvalnica

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekta OI-172013 i Pokrajinskog Sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj Autonomne Pokrajine Vojvodine, u okviru projekta br. 114-451-1156/2014-02.

## 5. REFERENCE

- [1] V.Brusic, M.A.Frisch, B.N.Eldridge, F.P.Novak, F.B.Kaufman, B.M.Rush, G.S.Frankel (1991) Copper Corrosion With and Without Inhibitors, J. Electrochem. Soc., 138, 2253-2259.
- [2] M.Antonijević, M.Petrović (2008) Copper corrosion inhibitors. A review, Int. J. Electrochem. Sci., 3, 1-28.
- [3] Z.Avranić, M.Antonijević (2011) Electrochemical behaviour of brass in acidic chloride solutions: effect of organic inhibitors, Zaštita materijala, 52(4), 257-263
- [4] M.Behpour, N.Mohammadi (2012) Investigation of inhibition properties of aromatic thiol self-assembled monolayer for corrosion protection, Corros. Sci., 65, 331-339.
- [5] L.Hu, S.Zhang, W.Li, B.Hou (2010) Electrochemical and thermodynamic investigation of diniconazole and triadimefon as corrosion inhibitors for copper in synthetic seawater, Corros. Sci., 52, 2891-2896.
- [6] Đ.Vaštag, S.Apostolov, J.Nakomčić, B.Matijević (2013) Inhibitorske karakteristike derivata tiazola na koroziju bakra u kiseloj sredini, Zaštita materijala, 54(4), 371-379.
- [7] Gy.Vastag, A.Shaban, I.Felhösi, E.Kálmán (2012) Study of inhibition properties of some thiazole derivatives against copper corrosion, Zaštita materijala, 53(1), 29-32.
- [8] M.Tomić, R.Fuchs Godec, Lj.Vasiljević, M.Pavlović, (2012) Possibility of application of green inhibitor for the protection of copper, Zaštita materijala, 53(3), 201-214.
- [9] Moretti G., Guidi F., (2002) Tryptophan as copper corrosion inhibitor in 0.5 M aerated sulfuric acid, Corros. Sci., 44, 1995-2011.
- [10] Z.Tao, W.He, S.Wang, G.Zhou (2013) Electrochemical study of cyproconazole as novel corrosion inhibitor for copper in acidic solution, Ind. Eng. Chem. Res., 52, 17891-17899.
- [11] M.Bozorg, T.S.Farahani, J.Neshati, Z.Chaghazardi, G.M.Ziarani (2014) Myrtus communis as green inhibitor of copper corrosion in sulfuric acid, Ind. Eng. Chem. Res., 53, 4295-4303.
- [12] A.Zarrouk, B.Hammouti, A.Dafali, F.Bentiss (2013) Inhibitive properties and adsorption of purpald as a corrosion inhibitor for copper in nitric acid medium, Ind. Eng. Chem. Res., 52, 2560-2568.
- [13] A.Simunović, M.Petrović, M.Radovanović, S.Milić, M.Antonijević (2014) Inhibition of copper corrosion in acidic sulfate media by eco-friendly amino acid compound, Chem. Papers, 68, 3, 362-371.
- [14] Gy.Vastag, E.Szőcs, A.Shaban, E.Kálmán (2001) New inhibitors for copper corrosion, Pure Appl. Chem., 73, 1861-1869.
- [15] Đ.Vaštag, S.Apostolov, M.Hadžistević, M.Sekulić (2013) The possibility of copper corrosion protection in acidic media using a thiazole derivative, Mater. Tehnol., 47, 329-333.
- [16] S.Shukla, M.Quraishi (2010) The effects of pharmaceutically active compound doxycycline on the corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution, Corros. Sci., 52, 314-321.
- [17] H.Ashassi-Sorkhabi, N.Ghalebsaz-Jeddi, F.Hasemzadeh, H.Jahani (2006) Corrosion inhibition of carbon steel in hydrochloric acid by some polyethylene glycols, Electrochim. Acta, 51, 3848-3854.
- [18] D.Asefi, M.Arami, N.Mahmoodi (2010) Electrochemical effect of cationic gemini surfactant and halide salts on corrosion inhibition of low carbon steel in acid medium, Corros. Sci., 52, 794-800.
- [19] M.Folquer, S.Ribotta, S.Real, L.Gassa (2002) Study of copper dissolution and passivation processes by electrochemical impedance spectroscopy, Corrosion, 58, 240-247.
- [20] A.Benedetti, P.T.A.Sumodjo, K.Nobe, M.Proud (1995) Electrochemical studies of copper, copper-aluminium and copper-aluminium-silver alloys: Impedance results in 0.5M NaCl, Electrochim. Acta, 40, 2657-2668.
- [21] H.Curkovic, E.Stupnisek-Lisac, H.Takenouti (2009) Electrochemical Quartz Crystal Microbalance and Electrochemical Impedance Spectroscopy Study of Copper Corrosion Inhibition by Imidazoles, Corros. Sci., 51, 2342-2348.
- [22] C.H.Hsu, F.Mansfeld (2001) Concerning the conversion of the constant phase element parameter  $Y_0$  into a capacitance, Corrosion, 57, 747-748.
- [23] B.Hirschorn, M.Orazem, B.Tribollet, V.Vivier, I.Frateur, M.Musiani (2010) Determination of effective capacitance and film thickness from constant-phase-element parameters, Electrochim. Acta, 55, 6218-6227.
- [24] S.Murlidharan, K.L.N.Phani, S.Pitchumani, S.Ravichandran (1995) Polyamino-Benzoquinone Polymers: A New Class of Corrosion Inhibitors for Mild Steel, J.Electrochem.Soc., 142, 1478-1483.

## ABSTRACT

## INHIBITION OF COPPER CORROSION USING THIAZOLE DERIVATIVE

*The inhibitor efficiency of 5-(4'-dimethylaminobenzylidene)-2,4-dioxotetrahydro-1,3-thiazole, DABDT, against copper corrosion in acidic sulfate solution (0.1 mol dm<sup>-3</sup> Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> at pH=3) was investigated applying the electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and scanning electron microscopy (SEM). Obtained results indicated that inhibition efficiency of investigated thiazole derivative is good and that it increases with the increase of the applied concentration of thiazole. The protective effect the DABDT achieved through the adsorption (following Langmuir isotherm) on copper surface as a thin inhibitor film, which is manifested as an increase of the total resistance, a decrease of the double layer capacitance and also as the less damaged copper surface compared with the blank solution.*

**Keywords:** copper corrosion, thiazole derivative, EIS, SEM

Scientific paper

Paper received 11.06.2015.

Paper accepted 10.08.2015.

Paper is available on the website: [www.idk.org.rs/casopis](http://www.idk.org.rs/casopis)