

DRAGANA MEDIĆ, MILAN ANTONIJEVIĆ\*,  
SNEŽANA MILIĆ, MILE DIMITRIJEVIĆ

Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu, Bor, Srbija

Naučni rad

UDC:620.193.4:669.35

doi:10.5937/ZasMat1503297M



Zastita Materijala 56 (3)

297 - 303 (2015)

## Amino kiseline kao inhibitori korozije bakra u 0.05M HCl

### IZVOD

Povećana zabrinutost stručne i naučne javnosti za očuvanje životne sredine, dovela je do sve veće upotrebe ekološki prihvatljivih inhibitora za zaštitu metala od korozije. U ovom radu ispitivana je mogućnost zaštite bakra od agresivne hlorovodonične kiseline, korišćenjem amino kiselina kao „zelenih inhibitora“. Ispitivane su inhibitorске osobine različitih koncentracija cisteina, metionina i alanina na bakarnoj elektrodi u 0.05M rastvoru hlorovodonične kiseline i to korišćenjem metoda kao što su: merenje potencijala otvorenog kola, linearna voltametrijа i ciklična voltametrijа. Nađeno je da najbolja inhibitorска svojstva pokazuje cistein pri koncentraciji od  $1 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ .

**Ključne reči:** amino kiseline, bakar, hlorovodonična kiselina.

### 1. UVOD

Zbog velikog značaja u industriji i njegove široke primene, bakar je predmet brojnih istraživanja još od 1920. godine [1].

Bakar i njegove legure imaju široku primenu u pomorskim uslovima zbog svoje korozione otpornosti, mehaničke obradivosti, odlične električne i termičke provodljivosti i zbog nemogućnosti prijanjanja živih organizama na njegovu površinu, jer su kupri joni izuzetno toksični [2].

Iako je bakar u velikoj meri otporan na koroziju u nekompleksirajućim rastvorima, u prisustvu kompleksirajućih jona, kao što su hloridni joni, može pretrpeti ozbiljna oštećenja. Prema Purbeovim dijagramima za bakar u hloridnim rastvorima, na pH 6, glavni korozioni produkt je CuCl koji formira stabilni sloj na površini metala, te na taj način prevodi metal u pasivno stanje [3]. Modestov i sar. [4] su pokazali da se u 0,5M hloridnom rastvoru, na pH vrednosti od 5,7 i nižim vrednostima, na bakarnoj površini formira CuCl film ispod koga se nalazi oksidni sloj Cu<sub>2</sub>O, koji ne pruža dovoljan stepen zaštite.

Među mnogobrojnim dostupnim metodama za smanjivanje posledica korozije, upotreba inhibitora je jedan od najpraktičnijih i najisplativijih izbora. Primećeno je da se upotrebom organskih jedinjenja koja u sebi sadrže heteroatome azota, sumpora i fosfora postiže visok stepen zaštite bakra od korozije [5].

\*Autor za korespondenciju: Milan Antonijević

E-mail: mantonijevic@tf.bor.ac.rs

Rad primljen: 06. 02. 2015.

Rad prihvaćen: 30. 03. 2015.

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

Prvi korak u aktivacionom mehanizmu ovih jedinjenja je adsorpcija na metalnoj površini. Za odvijanje procesa adsorpcije neophodno je postojanje privlačnih sila između adsorbata i površine metala. Prema tipu sile koja je zastupljena, adsorpcija može biti: fizička, hemijska ili kombinacija ovih dveju. Fisorpcija se javlja kao posledica postojanja elektrostatičke sile privlačenja između inhibitorajućih organskih jona ili dipola i naelektrisane površine metala. Hemisorpcija je posledica interakcije između nevezivnih elektronskih parova ili p-elektrona adsorbata sa metalom, u cilju formiranja veze koordinativnog tipa. Kod adsorbovanih molekula, hemisorpcija se može javiti u prisustvu heteroatoma (P, Se, S, N, O) koji imaju nevezivne elektronske parove, ili aromatične prstenove. Prema ovom mehanizmu smanjenje brzine katodne ili anodne ili obe reakcije, proističe iz adsorpcije inhibitora na aktivnim mestima korozije, na površini metala [6,7].

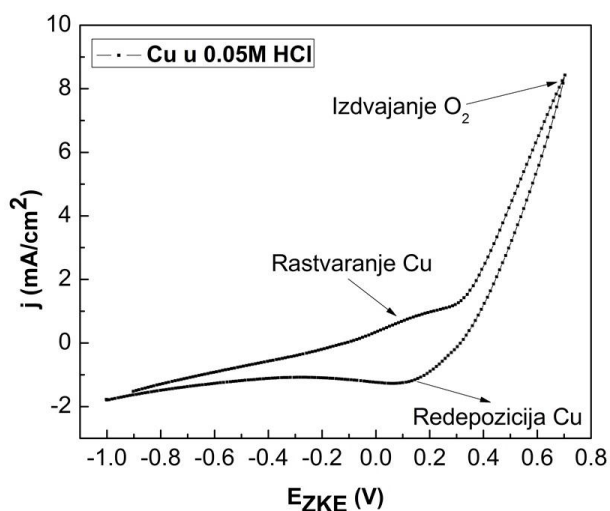
### 2. EKSPERIMENTALNI DEO

Za izvođenje eksperimenta korišćena je radna elektroda od bakra koja je dobijena metodom livenja uvis. Pripremljena je tako što je žica isečena i zatopljena hladnom masom za zatapanje na bazi metil-metakrilata. Radna površina elektrode iznosila je 0,49 cm<sup>2</sup>. Elektroda je pre svakog merenja polirana glicinom (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) krupnoće 1μm, ispirana destilovanom vodom i sušena. U svim elektrohemijским ispitivanjima korišćen je potenciostat koji je direktno povezan sa kompjuterom preko AD kartice. Tokom rada primenjene su sledeće metode: merenje potencijala otvorenog kola, linearna voltametrijа i ciklična voltametrijа. Potencijal otvorenog kola je meren 10min, a potom su snimane polarizacione krive od potencijala otvorenog kola do približno

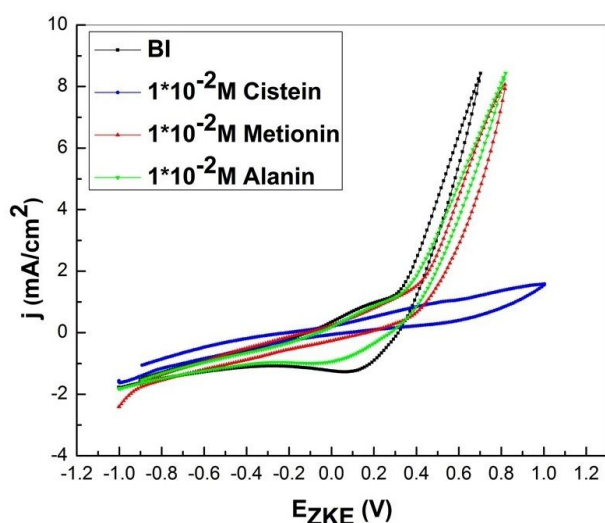
$\pm 1,0V$  u odnosu na zasićenu kalomelovu elektrodu (ZKE). Brzina promene potencijala tokom merenja iznosila je  $1mV/s$  (linearna voltametrij) i  $50mV/s$  (ciklična voltametrij). Sva merenja su vršena na sobnoj temperaturi, u prirodno aerisanim rastvorima, sa pH vrednošću od 2,3. Potencijal je izražen u odnosu na ZKE. Radni elektrolit koji je korišćen tokom rada je  $0,05M$  HCl. U rastvor hlorovodonične kiseline dodavani su inhibitori različitih koncentracija ( $1 \cdot 10^{-2}M$ ,  $5 \cdot 10^{-3}M$ ,  $1 \cdot 10^{-4}M$ ,  $1 \cdot 10^{-5}M$ ).

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja elektrohemijskog ponašanja bakra u  $0,05M$  rastvoru HCl prikazani su na cikličnom voltogramu (slika 1). Pri cikličnoj voltametrij bakarna elektroda se podvrgava jednostrukoj ili višestrukoj linearnoj promeni potencijala u prethodno izabranim opsezima ( $-1 - +0.8V$ ).

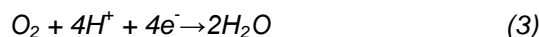
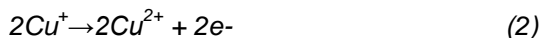


Slika 1 - Ciklični voltogram za bakar u  $0,05M$  HCl



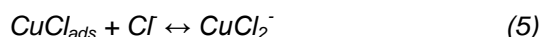
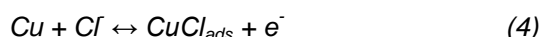
Slika 2 - Ciklični voltogram za Cu u  $0,05M$  HCl, bez inhibitora i u prisustvu amino kiselina

Na osnovu cikličnog voltograma (slika 1) može se reći da je korozija bakra u aerisanoj sredini rezultat odigravanja sledećih parcijalnih reakcija:



Na cikličnom voltogramu za bakar u  $0,05M$  HCl karakterističan je katodni pik (dvostruki pik), koji se pojavljuje na  $+130mV$ , i koji ukazuje na redepoziciju rastvorenih katjona bakra iz rastvora, prateći niz:  $Cu^{2+} \rightarrow Cu^{+} \rightarrow Cu$ . Do sličnih rezultata su došli i Hai i saradnici (2011), ispitujući koroziono ponašanje bakra u rastvoru  $10mM$  HCl.

Na osnovu literaturnih podataka [8-11], mehanizam anodnog rastvaranja bakra u kiselim hloridnim rastvorima se može prikazati reakcijama:



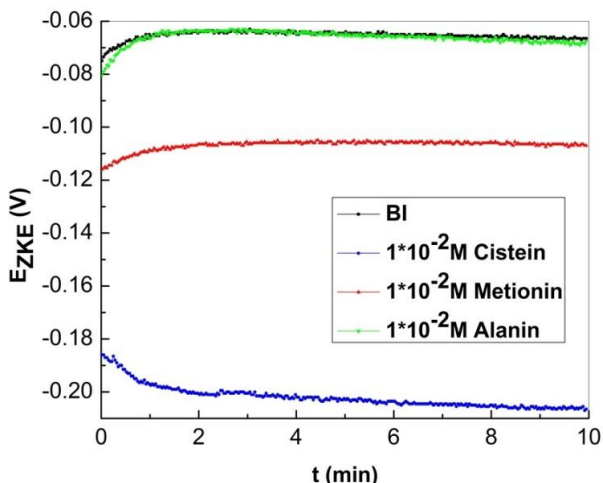
Na anodnoj krivoj za bakar u  $0,5M$  rastvoru HCl mogu se uočiti tri oblasti: oblast aktivnog rastvaranja, prelazni region i region ograničene gustine struje. Plato struje ukazuje na ograničenost difuzijom, koja se najverovatnije odnosi na transport hloridnih jona ( $Cl^{-}$ ) do površine bakra i transport jona  $CuCl_2^{-}$  u rastvor. Anodni pik koji se pojavljuje na potencijalu od  $-24mV$  (ZKE) se pripisuje formiranju  $CuCl$  filma. Kako je u ovom radu kao radni rastvor korišćena  $0,05M$  HCl, odsustvo anodnog pika na  $-24mV$  može se pripisati jako niskoj koncentraciji hloridnih jona.

Za ispitivanje ponašanja bakra u hlorovodoničnoj kiselinu, u prisustvu inhibitora (cistein, metionin, alanin), snimljeni su voltagrami (slika 2), pri brzini promene potencijala od  $50mV/s$ .

Kao što se može videti sa slike 2, prisustvo inhibitora ima uticaj na ponašanje bakarne elektrode. Kako su merenja izvođena pri istim uslovima (pH rastvora, temperatura) i sa jednakim koncentracijama inhibitora ( $1 \cdot 10^{-2}M$ ), može se zaključiti da prisustvo cisteina u kiselom rastvoru HCl obezbeđuje najveći stepen zaštite bakra od korozije. Prisustvo inhibitora smanjuje korozionu struju i u anodnom i u katodnom delu voltograma. Uočeno je da je smanjenje katodne struje naročito izraženo u prisustvu cisteina i metionina.

U cilju određivanja uticaja koncentracije na stepen efikasnosti inhibitora primenjene su sledeće elektrohemijske metode: merenje potencijala otvorenog kola i potenciodinamička polarizacija.

Potencijali otvorenog kola bakarne elektrode, prikazani na slici 3, snimljeni su u osnovnom rastvoru ( $0,05M$  HCl), kao i u rastvoru cisteina, metionina i alanina koncentracije  $1 \cdot 10^{-2}M$ .



Slika 3 - Potencijal otvorenog kola u osnovnom i inhibitorским rastvorima

Dobijeni rezultati ukazuju da se dodatkom inhibitora u osnovni rastvor, potencijal otvorenog kola pomera ka negativnijim vrednostima, u poređenju sa potencijalom koji je meren u odsustvu inhibitora. Najveće pomeranja potencijala ka negativnijim vrednostima zabeleženo je u prisustvu cisteina.

Dodavanje cisteina u osnovni rastvor (slika 4) pomera potencijal metala u negativan smer, usled smanjenja brzine katodne reakcije. S toga se katodna reakcija inhibira u većoj meri u odnosu na anodnu reakciju. Pošto prenos kiseonika iz mase rastvora na graničnu površinu bakar-rastvor snažno utiče na redukciju kiseonika, može se zaključiti da se adsorbovani sloj ponaša kao katodni inhibitor bakra smanjujući transfer kiseonika na katodne delove metala [12].

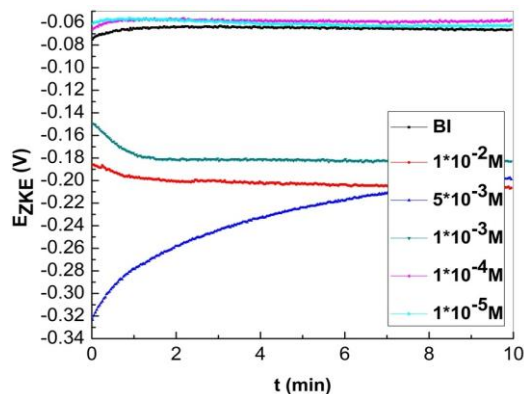
Na slici 5 prikazane su vrednosti potencijala otvorenog kola za bakarnu elektrodu u 0,05M rastvoru HCl bez i sa dodatkom različitih koncentracija metionina. Kao što se može videti, vrednosti potencijala se kreću u opsegu od -0,063 do -0,116V (ZKE). Sa porastom koncentracije metionina vrednosti potencijala otvorenog kola se pomeraju ka negativnijim vrednostima. Prema literaturnim podacima [13,14], da bi se neki inhibitor označio kao katodni ili anodni, neophodna je promena vrednosti potencijala veća od 85mV u odnosu na osnovni rastvor. Kako je maksimalna vrednost pomeranja potencijala za ispitivane koncentracije metionina iznosila 53mV, može se reći da metionin u 0,05M rastvoru HCl reaguje kao mešoviti inhibitor, sa većim uticajem na katodnu reakciju.

Dobijene vrednosti potencijala otvorenog kola u 0,05M rastvoru HCl bez i sa dodatkom različitih koncentracija alanina (slika 6) ne daju značajne podatke o ponašanju alanina u korozionoj sredini, jer su promene koje nastaju neznatne. Na osnovu podataka sa slike 6, može se naslutiti jako mala

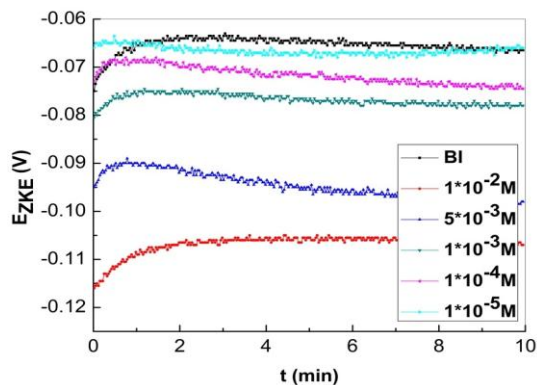
inhibitorska efikasnost alanina, što je u daljem radu i potvrđeno potenciodinamičkom polarizacijom.

Rezultati potenciodinamičke polarizacije bakra u osnovnom (0,05M HCl) i inhibitorском rastvoru ( $1 \cdot 10^{-2}$ M cisteina, metionina i alanina) mogu se razmatrati na osnovu krivih koje su prikazane na slici 7.

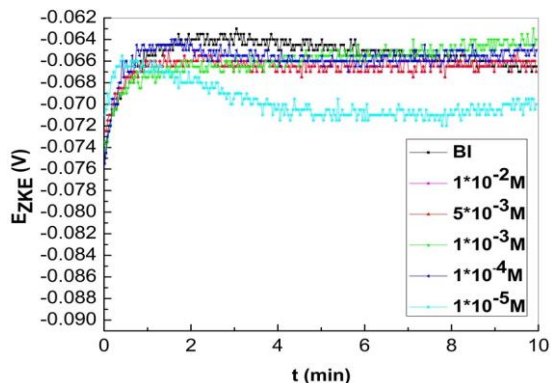
Katodni deo polarizacione krive odnosi se na redukciju kiseonika (reakcija 3), dok anodni deo ukazuje na rastvaranje bakra (reakcije 1 i 2).



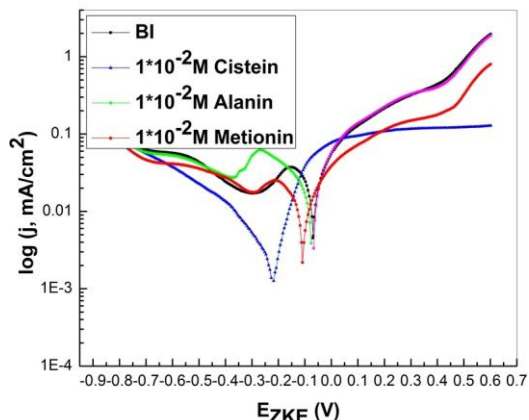
Slika 4 - Potencijal otvorenog kola Cu elektrode u 0,05M rastvoru HCl, bez i sa dodatkom cisteina



Slika 5 - Potencijal otvorenog kola Cu elektrode u 0,05M rastvoru HCl, bez i sa dodatkom metionina



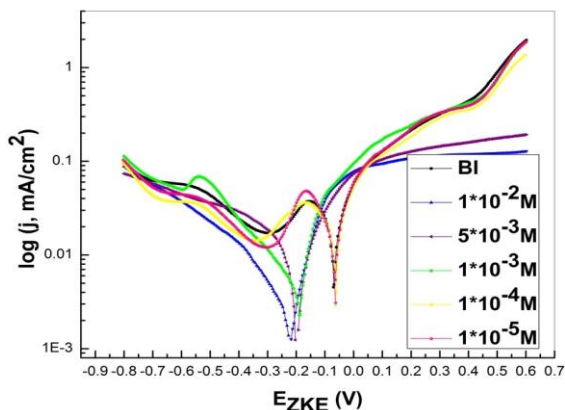
Slika 6 - Potencijal otvorenog kola Cu elektrode u 0,05M rastvoru HCl, bez i sa dodatkom alanina



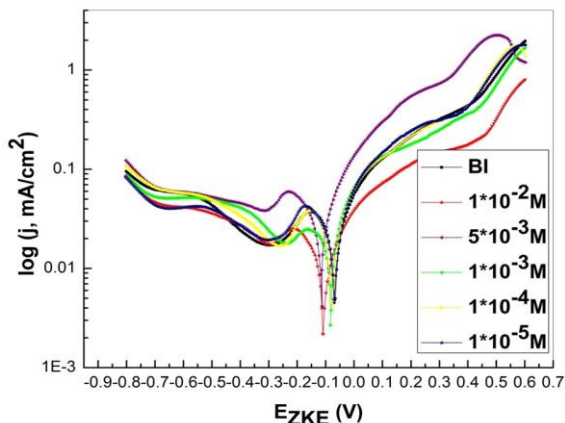
Slika 7 - Polarizacione krive bakra u osnovnom i inhibitorским rastvorima

Prisustvo inhibitora u rastvoru dovodi do smanjenja anodnog rastvaranja bakra, a u isto vreme utiče i na reakciju izdvajanja kiseonika.

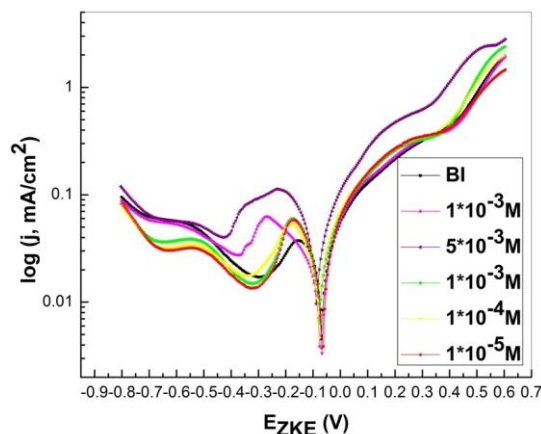
Da bi se odredila optimalna koncentracija svakog pojedinačnog inhibitora i utvrdila zavisnost stepena efikasnosti inhibitora od primenjene koncentracije, snimljene su polarizacione krive bakra u prisustvu različitih koncentracija istog inhibitora (slika 8, 9, 10).



Slika 8 - Polarizacione krive bakra u prisustvu različitih koncentracija cisteina



Slika 9 - Polarizacione krive bakra u prisustvu različitih koncentracija metionina



Slika 10 - Polarizacione krive bakra u prisustvu različitih koncentracija alanina

Na osnovu krivih prikazanih na slikama 8, 9 i 10 može se zaključiti da sa porastom koncentracije upotrebljenog inhibitora, raste stepen zaštite bakra od korozije. Takođe, može se zapaziti, da sva tri pomenuta inhibitora daju najbolji vid zaštite kada se primenjuju u koncentraciji od  $1 \cdot 10^{-2} \text{ M}$ .

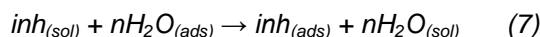
Na osnovu dobijenih eksperimentalnih podataka, primenom Tafelove ekstrapolacione metode, određeni su elektrohemijski parametri čije su vrednosti date u tabeli 1.

Efikasnost inhibicije,  $\eta$ , za različite koncentracije inhibitora u kiselom hloridnom rastvoru, izračunava se na osnovu elektrohemijskih polarizacionih merenja po sledećem izrazu:

$$\eta(\%) = \frac{j_{kor} - j_{kor(inh)}}{j_{kor}} \cdot 100 \quad (6)$$

gde je:  $j_{kor}$  – gustina struje u rastvoru bez inhibitora,  $j_{kor(inh)}$  – gustina struje u rastvoru u prisustvu inhibitora.

Generalno, inhibitori efekat amino kiselina se javlja usled adsorpcije molekula na metalnoj površini, usled čega dolazi do istiskivanja molekula vode iz unutrašnjosti elektrohemijskog dvojnog sloja [15,16]:



U kiseloj sredini amino kiseline se javljaju u protonovanom obliku, dok su u neutralnoj sredini prisutne u cviter jonskoj strukturi. Zbog toga, amino kiseline u bilo kojoj formi, mogu biti privučene na katodni deo metala.

Prisustvo negativnih hloridnih jona može da poveća adsorpcionu moć amino kiselina. Hloridni joni adsorbovani na metalnoj površini deluju kao "most" između atoma metala i pozitivno naelektrisanih molekula amino kiselina. Može se reći da se hloridni joni adsorbuju na aktivnim mestima površine metala, što dovodi do negativnog naelektrisanja

površine. Ovo pogoduje adsorpciji amino kiselina u obliku cviter jona (neutralni rastvor) ili u protonovanom obliku (kiseli rastvor). Dakle, adsorpciona

moć amino kiselina raste u prisustvu hloridnih jona. [17].

Tabela 1 - Elektrohemijski parametri oksidacije bakra u 0,05M HCl u prisustvu različitih koncentracija cisteina, metionina i alanina

Inhibitor	$C_{inh}$ (mol/dm <sup>3</sup> )	$E_k$ (V)	$j_k$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$\eta$ (%)
/		-0,0676	0,0174	
Cistein	$1 \cdot 10^{-5}$	-0,0661	0,0158	9,2
	$1 \cdot 10^{-4}$	-0,0604	0,0153	12,1
	$1 \cdot 10^{-3}$	-0,1794	0,0040	77
	$5 \cdot 10^{-3}$	-0,1988	0,0027	84,5
	$1 \cdot 10^{-2}$	-0,2211	0,0020	88,5
Metionin	$1 \cdot 10^{-5}$	-0,0694	0,0165	5,2
	$1 \cdot 10^{-4}$	-0,0770	0,0155	10,9
	$1 \cdot 10^{-3}$	-0,0780	0,0116	33,3
	$5 \cdot 10^{-3}$	-0,0980	0,0087	50
	$1 \cdot 10^{-2}$	-0,1080	0,0082	52,9
Alanin	$1 \cdot 10^{-5}$	/	/	/
	$1 \cdot 10^{-4}$	/	/	/
	$1 \cdot 10^{-3}$	/	/	/
	$5 \cdot 10^{-3}$	/	/	/
	$1 \cdot 10^{-2}$	-0,0706	0,0151	13,2

Cistein i metionin su pogodne amino kiseline jer obe sadrže amino grupu i SH grupu (cistein), odnosno S-CH<sub>3</sub> (metionin), tj. sadrže istovremeno dva atoma koja mogu da učestvuju u donorsko-akceptorskoj interakciji (N i S atomi) [18].

Inhibitorsko dejstvo korišćenih organskih jedinjenja je posledica njihove adsorpcije na metalnoj površini, što se verovatno ostvaruje preko atoma sumpora. 3d orbitala sumpora nalazi se na znatnom rastojanju od jezgra, a elektroni u 3d orbitali mogu lako biti donirani, jer je sila privlačenja jezgra slaba.

Ipak, iz dobijenih rezultata se može uočiti, da postoji značajna razlika u dejstvu cisteina i metionina na koroziono ponašanje bakra. Adsorpcija postignuta preko tiol (SH) grupe cisteina, očigledno je jača od veze koja se ostvaruje kroz S-CH<sub>3</sub> grupu metionina. Pored toga, cistein se pokazao kao jako dobar inhibitor bakra u hlorovodoničnoj kiselini, dok alanin ima zanemarljivo dejstvo, iako se ove dve amino kiseline razlikuju samo po prisustvu tiol grupe.

Adsorpciona izoterma pruža značajne informacije o interakciji molekula inhibitora sa aktivnom površinom metala. Stepenn pokrivenosti površine metala ( $\theta$ ) za ispitivane inhibitore u 0,05M rastvoru HCl, dobijen je na osnovu rezultata polarizacionih merenja i dat je u tabeli 2.

Tabela 2 - Vrednosti stepena pokrivenosti bakarne elektrode cisteinom, metioninom i alaninom u funkciji koncentracije inhibitora

Inhibitor	$C_{inh}$ (mol/dm <sup>3</sup> )	$\theta$
Cistein	$1 \cdot 10^{-5}$	0,092
	$1 \cdot 10^{-4}$	0,121
	$1 \cdot 10^{-3}$	0,770
	$5 \cdot 10^{-3}$	0,845
	$1 \cdot 10^{-2}$	0,885
Metionin	$1 \cdot 10^{-5}$	0,052
	$1 \cdot 10^{-4}$	0,109
	$1 \cdot 10^{-3}$	0,333
	$5 \cdot 10^{-3}$	0,500
	$1 \cdot 10^{-2}$	0,529
Alanin	$1 \cdot 10^{-5}$	/
	$1 \cdot 10^{-4}$	/
	$1 \cdot 10^{-3}$	/
	$5 \cdot 10^{-3}$	/
	$1 \cdot 10^{-2}$	0,132

Da bi se bolje razumeo proces adsorpcije, pretpostavljeno je da se adsorpcija cisteina, metionina i alanina na površini bakra pokorava Lengmirovij izoterma po jednačini:

$$\frac{c}{\theta} = \frac{1}{K} + c \quad (8)$$

gde je:  $c$  – koncentracija inhibitora,  
 $\theta$  – stepen pokrivenosti površine,  
 $K$  – konstanta adsorpcionog procesa.

Izračunavanjem konstante adsorpcionog procesa, može se doći do vrednosti za promenu slobodne energije adsorpcije  $\Delta G_{ads}^{\circ}$  preko relacije:

$$\Delta G_{ads}^{\circ} = -RT \ln(55,5K_{ads}) \quad (9)$$

gde je:

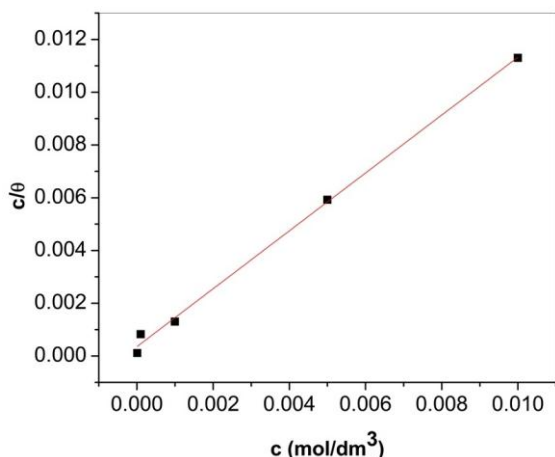
$R$  – univerzalna gasna konstanta (8,314 J/mol·K),

$T$  – temperatura (298,15 K),

55,5 – koncentracija vode u rastvoru (mol/dm<sup>3</sup>).

Iz podataka prikazanih u tabeli 2 se uočava da stepen pokrivenosti bakarne elektrode raste sa porastom koncentracije korišćenog inhibitora.

Na slici 11 dat je prikaz odnosa  $C/\theta$  i u zavisnosti od koncentracije cisteina u 0,05M rastvoru hlorovodonične kiseline. Na osnovu vrednosti korelacionog koeficijenta,  $R^2=0.99662$  može se zaključiti da je ovaj odnos linearan, dok vrednost nagiba od 1,097 ukazuje na to da se adsorpcija cisteina na bakarnoj površini odvija po Lengmirovoj izotermi.



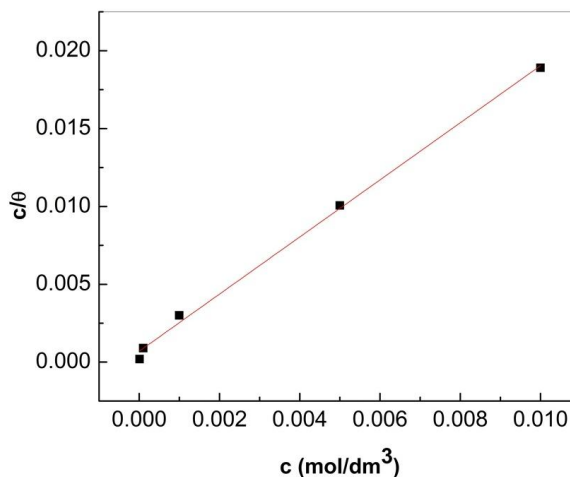
Slika 11 - Lengmirova adsorpciona izoterma za cistein u 0,05M rastvoru HCl

Na osnovu dobijenih podataka izračunata je i vrednost promene slobodne energije adsorpcije cisteina ( $\Delta G_{ads}^{\circ}$ ) na površini metala koja iznosi -27,1 kJ/mol.

Negativna vrednost za  $\Delta G_{ads}^{\circ}$  potvrđuje spontanost procesa i stabilnost adsorbovanog sloja na bakarnoj elektrodi. Generalno, vrednosti za adsorpcionu energiju ( $\Delta G_{ads}^{\circ}$ ) od oko -20 kJ/mol i pozitivnije vrednosti ukazuju na fizičku adsorpciju, dok vrednosti negativnije od -40 kJ/mol ukazuju na hemisorpciju [19,20].

Izračunata vrednost za adsorpciju cisteina na površini bakra ukazuje da je proces adsorpcija fizičke prirode, i da ne dolazi do hemijske interakcije između molekula inhibitora i metalne površine. Prema tome, adsorpcija cisteina se ostvaruje kroz elektrostatičko privlačenje između molekula inhibitora i površine metala.

Na slici 12 dat je prikaz odnosa  $C/\theta$  u zavisnosti od koncentracije metionina u 0,05M rastvoru hlorovodonične kiseline. Vrednost korelacionog koeficijenta od 0,99706 ukazuje na to da je prikazana zavisnost linearan. Na osnovu vrednosti nagiba od 1,833 može se reći da se i metionin adsorbuje na površinu elektrode prateći Lengmirovu adsorpcionu izotermu.



Slika 12 - Lengmirova adsorpciona izoterma za metionin u 0,05M rastvoru HCl

Dobijena vrednost od -21,6 kJ/mol za Gibsovu slobodnu energiju adsorpcije metionina u 0,05M rastvoru hlorovodonične kiseline ukazuje na spontanost procesa i na jaku fizičku adsorpciju metionina na bakarnoj površini.

Uzimajući u obzir da je izračunati stepen pokrivenosti ispitivane elektrode alaninom u 0,05M rastvoru hlorovodonične kiseline iznosio 0,132 i to pri najvećoj upotrebljenoj koncentraciji inhibitora, bilo je bespredmetno razmatrati mehanizam adsorpcije.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata u ovom radu mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Stepem inhibicije korozije bakra pri korišćenju tri amino kiseline opada sledećim redosledom: cistein (88,5%) > metionin (52,9%) > alanin (13,2%).
- Cistein se ponaša kao katodni inhibitor korozionog procesa i njegovo svojstvo inhibicije opada sa smanjenjem koncentracije.
- Metionin se ponaša kao mešoviti inhibitor, sa većim uticajem na katodnu reakciju.
- Dodavanje alanina u osnovni rastvor ne dovodi do bitnije zaštite bakra od korozije.
- Adsorpcija cisteina i metionina na površinu bakra u 0,05M rastvoru HCl prati Lengmirovu adsorpcionu izotermu.
- Vrednosti za Gibsovu slobodnu energiju ukazuju na jaku fizičku adsorpciju cisteina i metionina na površini bakra.

## Zahvalnost

Ovaj rad je urađen u okviru Projekta OI 172031 koji je finansiran sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja

## 5. LITERATURA

- [1] I. Milošev, J. Pavlinac, M. Hodošček, A. Lesar (2013) Amino acids as corrosion inhibitors for copper in acidic medium: Experimental and theoretical study, *Journal Serbian Chemical Society* 78, 2069–2086.
- [2] C.I.S. Santos, M.H. Mendonça, I.T.E. Fonseca (2006) Corrosion of brass in natural and artificial seawater, *Journal of Applied Electrochemistry* 36, 1353–1359.
- [3] H. Otmačić Ćurković, E. Stupnišek-Lisac, H. Takenouti (2010) The influence of pH value on the efficiency of imidazole based corrosion inhibitors of copper, *Corrosion Science* 52, 398–405.
- [4] A.D. Modestov, Guo-Ding Zhou, Hong-Hua Ge, B.H. Loo (1995) A study by voltammetry and the photocurrent response method of copper electrode behavior in acidic and alkaline solutions containing chloride ions, *Journal of Electroanalytical Chemistry* 380, 63-68.
- [5] M.M. Antonijević, M. Petrović (2007) Inhibitori korozije bakra, *Zaštita materijala* 48, 234-242.
- [6] I. Ahamad, M.A. Quraishi (2010) Mebendazole: New and efficient corrosion inhibitor for mild steel in acid medium, *Corrosion Science* 52, 651–656.
- [7] Ph. Thanh Hai, D. Minh Thuy (2011) Wandelt Klaus, Structures of adsorbed halide anions on a copper electrode studied by in situ scanning tunneling microscopy, *Proc. Natl. Conf. Theor. Phys.* 36, 239-247.
- [8] D. Tromans, and J.C. Silva (1996) Anodic Behavior of Copper in Iodide Solutions: Comparison with Chloride and Effect of Benzotriazole-Type Inhibitors. *Journal of The Electrochemical Society* 143,458-465.
- [9] D. Tromans, J.C. Silva (1997) Behavior of Copper in Acidic Sulfate Solution: Comparison with Acidic Chloride. *Corrosion* 53, 171-178.
- [10] E.M. Sherif, R.M. Erasmus, J.D. Comins (2007) Effects of 3-amino-1,2,4-triazole on the inhibition of copper corrosion in acidic chloride solutions, *Journal of Colloid and Interface Science* 311, 144–151.
- [11] M.M. Antonijević, M. Petrović, S.M. Šerbula, S.M. Milić, G.D. Bogdanović (2006) Elektrohemijsko ponašanje bakra u prisustvu benzotriazola - uticaj pH i hlorida, *Zaštita materijala* 47,145-156.
- [12] K.M. Ismail (2007) Evaluation of cysteine as environmentally friendly corrosion inhibitor for copper in neutral and acidic chloride solutions, *Electrochimica Acta* 52, 7811–7819.
- [13] Jia-jun Fu, Su-ning Li, Ying Wang, Xiao-dong Liu, Lu-de Lu (2011) Computational and electrochemical studies on the inhibition of corrosion of mild steel by L-Cysteine and its derivatives, *Journal of Materials Science* 46, 3550–3559.
- [14] E.S. Ferreira, C. Giancomelli, F.C. Giacomelli, F.C., A. Spinelli (2004) Evaluation of the inhibitor effect of l-ascorbic acid on the corrosion of mild steel, *Materials Chemistry and Physics* 83, 129–134.
- [15] G. Bereket, A. Yurt (2011) The inhibition effect of amino acids and hidroxy carboxylic acids on pitting corrosion of aluminum alloy 7075, *Corrosion Science*. 43, 1179-1195.
- [16] J.O'M. Bockris, D.A.J. Swinkels (1964) Adsorption of n-Decylamine on Solid Metal Electrodes, *Journal of The Electrochemical Society* 111, 736-743.
- [17] W.A. Badawy, K.M. Ismail, A.M. Fathi (2005) Environmentally safe corrosion inhibition of the Cu–Ni alloys in acidic sulfate solutions, *Journal of Applied Electrochemistry* 35, 879–888.
- [18] D.A.Tkalenko, G.Venkatesvaran, Yu.P. Vishevskaia, S.J. Keny, M.V. Byk, K. Muthe (2010) Inhibitory Effect of Cysteine in Acid Media, *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces* 46, 537–542.
- [19] M. Donahue, K. Nobe (1965) Theory of Organic Corrosion Inhibitors: Adsorption and Linear Free Energy Relationships, *Journal of The Electrochemical Society* 112, 886-891.
- [20] C. Küstü, K.C. Emregül, O. Atakol (2007) Schiff bases of increasing complexity as mild steel corrosion inhibitors in 2M HCl, *Corrosion Science* 49, 2800-2814.

## ABSTRACT

## AMINO ACIDS AS COPPER CORROSION INHIBITORS IN 0.05M HCl

*Increased concern of professional and scientific community for the environment has led to the increased utilization of environmentally friendly inhibitors for the protection of metals from corrosion. This paper investigates the possibility of using various amino acids as "green" corrosion inhibitors for copper in 0.05 M HCl solution. The inhibitory properties of various concentrations of cysteine, methionine and alanine in 0.05 M hydrochloric acid solution on copper electrode have been evaluated, using the following methods: measuring open circuit potential (OCP), linear scan voltammetry (LSV) and cyclic voltammetric techniques (CVs). It has been established that cysteine ( $1 \cdot 10^{-2} M$ ) has the best inhibitory potential.*

**Keywords:** amino acids, copper, hydrochloric acid.

*Scientific paper*

*Paper received: 06.02.2015.*

*Paper accepted: 30.03.2015.*

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