

VLERËSIMI I EFEKTIVITETIT MBROJTËS TË BIS(TRIFLUOROMETILSULFONIL)AMIDUR TRIHEKSILTETRADECILFOSFONIUMIT NË KORROZIONIN E ÇELIKUT ME KARBON NË TRETËSIRË 3% NaCl

*ARETA ALINJ.¹, BUJAR SEITI.², KLODIAN XHANARI.²,
ARJOLA SALLA.²

¹Universiteti "Ismail Qemali" Vlorë, Fakulteti i Shkencave Teknike, Departamenti i Kimisë

²Universiteti i Tiranës, Fakulteti i Shkencave të Natyrës, Departamenti i Kimisë

e-mail: aretaalinj@yahoo.com

Përmbledhje

Korrozioni elektrokimik është një ndër problemet më shqetësuese që ndikon në vetitë mekanike të metaleve dhe për rrjedhojë ul jetëgjatësinë e tyre. Kostot e lidhura me fenomenin e korrozionit janë të konsiderueshme. Për këtë arsye, studimi dhe parandalimi i fenomeneve të korrozionit paraqet jo vetëm interes shkencor, por edhe ekonomik dhe mjedisor. Modifikimi i mjedisit korrodues përmes shtimit të inhibitorëve është një nga metodat më të efektshme në mbrojtjen nga korrozioni. Studime të vazhdueshme kryhen vazhdimisht për zbulimin e inhibitorëve të rinj. Qëllimi i këtij punimi është vlerësimi i efektivitetit mbrojtës të bis(trifluorometilsulfonil)amidur triheksiltetradecilfosfoniumit në korrozionin e çelikut me karbon (36CrMo) në tretësirë 3% NaCl, duke përdorur metodën e humbjes në peshë dhe atë të polarizimit potenciodinamik. Shtimi i bis(trifluorometilsulfonil)amidur triheksiltetradecilfosfoniumit ul shpejtësinë e korrozionit dhe efektiviteti mbrojtës i tij rritet me rritjen e përqendrimit të inhibitorit. Kurbat e polarizimit potenciodinamik tregojnë se bis(trifluorometilsulfonil)amidur triheksiltetradecilfosfoniumit vepron si një inhibitor i përzier, me ndikim më të theksuar në reaksionin anodik.

Fjalëkyçe: Inhibitor korrozioni,

bis(trifluorometilsulfonil)amidur triheksiltetradecilfosfoniumi, humbja në peshë, polarizimi potenciodinamik.

Abstract

Electrochemical corrosion is one of the most important factors affecting the mechanical properties of the metals and therefore directly lowering their lifespan. The costs related to the corrosion phenomenon are considerable. Therefore, the study and prevention of the corrosion phenomenon it is of high interest not only from the scientific point of view, but the economic and environmental aspect play an important role. The modification of the corrosion environment through the addition of inhibitors is one of the most effective used methods in corrosion protection and continuously studies are constantly performed to find new inhibitors. In this work we report on the inhibition efficiency of the:

trihexyltetradecylphosphonium bis(trifluoromethylsulfonyl)amide in the corrosion of 35CrMo steel immersed in 3 wt.% NaCl solution, using the weight loss and the potentiodynamic polarization techniques.

The addition of trihexyltetradecylphosphonium bis(trifluoromethylsulfonyl)amide reduces the corrosion rate and its efficiency increased with increasing the concentration of the inhibitor. The potentiodynamic polarization curves show that trihexyltetradecylphosphonium bis(trifluoromethylsulfonyl)amide acts as a mixed-type inhibitor, with more pronounced influence on the anodic reaction.

Key words: Corrosion inhibitor,

trihexyltetradecylphosphonium bis(trifluoromethylsulfonyl)amide, weight loss, potentiodynamic polarisation

Hyrje

Korrozioni është një proces elektrokimik i pranishëm në konstruksionet metalike dhe zhvillohet sipas ligjeve themelore të termodinamikës. Mungesa e trajtimit të tij shkakton avari dhe mbart një efekt ekonomik të konsiderueshëm. Produktet e korrozionit dëmtojnë cilësinë e objekteve në studim, duke bërë të nevojshëm zëvendësimin e tyre. Mbrojtja ndaj korrozionit lidhet me masat që duhen marrë për të shmangur dëmtimet nga korrozioni që në fazën fillestare të projektimit. Shkaku për shfaqjen e korrozionit mund të jetë vetë metali (heterogjeniteti i tij) dhe/ose mjedisi rrethues. Mbrojtja nga korrozioni lidhet me zbulimin e shkaqeve të korrozionit dhe me përzgjedhjen e metodave për parandalimin e tij. Ndonëse procesi i korrozionit nuk mund të parandalohet plotësisht, por është e mundur që ky proces të ngadalësohet (Schweitzer, 2007; Mansfeld, 2003; Ahmad, 2006). Një metodë që aplikohet në industri për mbrojtjen e metaleve nga korrozioni është përdorimi i inhibitoreve. Veprimi mbrojtës i inhibitorit lidhet me adsorbimin kimik dhe/ose fizik, të tij në sipërfaqe të metalit. Shumë inhibitorë që përdoren sot janë sintetizuar nga lëndë të para organike dhe inorganike (Fouda *et al.* 2017; Dubey & Singh 2007). Shumica e këtyre inhibitorëve janë të dëmshëm ndaj mjedisit. Kjo ka çuar në kërkime dhe testime për inhibitorë të tjerë jo toksikë (Scendo & Uznanska 2011; Alinj *et al.* 2014).

Metodat e mbrojtjes nga korrozioni janë të shumëllojshme, ndër të cilat mund të përmendim: izolimi i metalit nga mjedisi korrodues nëpërmjet veshjes së metalit me një metal tjetër ose jo, mbrojtja anodike dhe katolike, përdorimi i inhibitorëve të korrozionit, etj. (Schweitzer 2007; Mansfeld 2003; Ahmad 2006). Ndër këto metoda, shtimi i inhibitorëve ka gjetur një përdorimi më të gjerë. Një numër i konsiderueshëm komponimesh natyrore ose të sintezuara janë përdorur si inhibitor korrozioni (Fouda *et al.* 2017; Dubey & Singh 2007; Palou *et al.* 2014; Lame *et al.* 2011; Seiti *et al.* 2016).

Në këtë aspekt edhe një numër lëngjesh jonik janë testuar si inhibitor për kombinime të ndryshme metal-mjedisi korrodues (Diamanti *et al.* 2016; Dilasari *et al.* 2016). Lëngjet jonike janë komponime jonike, të cilët krahas fushave të tjera, përdoren edhe në fushën e korrozionit dhe për këtë arsye interesi për ta është në rritje (Wang *et al.* 2017; Efthimiadis *et al.* 2010;

Huang *et al.* 2013; Latham *et al.* 2012; Verma *et al.* 2017; Zhang *et al.* 2016). Disa nga karakteristikat lëngjeve jonik janë: volatiliteti i ulët, stabiliteti i lartë kimik dhe elektrokimik (Zhang *et al.* 2012). Disa nga ata janë miqësor ndaj mjedisit dhe të përshtatshëm biologjikisht (Kumar *et al.* 2016).

Elektronet e lidhjeve shumëfishe të kationit apo elektronet e lira të elementëve të tillë si azoti, në përbërje të lëngjeve jonik, formojnë një shtresë filmi mbrojtës (barrierë) në sipërfaqe të metaleve (p.sh Al, Mg, celiku, etj), duke zhvendosur ujin nga kontakti direkt me metalin (Verma *et al.* 2017); Ashassi-Sorkhabi & Es'haghi 2009; N. Nava *et al.* 2011; Migahed 2005; Murulana 2012; Yousefi *et al.* 2015). Lëngjet jonik që përmbajnë jonin fosfonium, janë përdorur gjerësisht si inhibitor korrozioni kryesisht për çelikut me karbon në mjedis acid (Pound *et al.* 2018; Kumar, *et al.* 2017; Ealia & Singh 2005; Nahlé *et al.* 2016; Vashisht *et al.* 2013; Palaniappan *et al.* 2017).

Huang *et al.* (2014) raportuan se:

bis(trifluorometilsulfonyl)amidur i triheksiltetradecilfosfoniumit është përdorur për mbrojtjen e aluminit AA5083 nëpërmjet formimit të shtresave pasive.

Qëllimi i këtij punimi është studimi i ndikimit të:

bis(trifluorometilsulfonyl)amidur i triheksiltetradecilfosfoniumit në shkallën e korrozionit të çelikut 36 CrMo në mjedis NaCl 3%, në temperaturë mjedisi (afro 20°C). Efektiviteti i inhibitorit u përcaktua nga të dhënat e marra nga matjet e kryera me metodën e humbjes në peshë dhe me metodën e polarizimit potenciodinamik. Matjet janë realizuar në temperaturën e dhomës, në tretësirë 3% NaCl që përmban përqendrime të ndryshme të inhibitorit.

Materiali dhe metodat

Inhibitori i studiuar në këtë punim është bis(trifluorometilsulfonyl)amidur i triheksiltetradecilfosfoniumit nga Sigma Aldrich, me pastërti $\geq 95\%$. Ky komponim është një lëng jonik me formulë kimike $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5]_3\text{P}[\text{N}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2](\text{CH}_2)_{13}\text{CH}_3$. Struktura e këtij komponimi paraqitet në Figurën 1. Mostrat e përdorura në këtë studim janë përfutur nga shufra çeliku 36CrMo me përmbajtje të specifikuar në Tabelën 1.

Tabela 1: Përbërja e mostrave të çelikut me markë 36CrMo

Elementi	C	Cr	Mo	Si	Mn	S	P
Përmbajtja (%)	0.35-0.40	0.6-0.9	0.3-0.4	0.17-0.37	0.20-0.40	≤ 0.03	≤ 0.01

Për metodën e humbjes në peshë mostrat janë përgatitur në formë kuboidi me përmasa (40 x 25 x 3.4) mm dhe diametër të birës ku bëhet varja e mostrës 3.24 mm. Këto mostra shënohen dhe më pas polirohen me letra poliruese 320, 360, 400, 600, 800, 1000 dhe 1200. Në vijim, mostrat shpëlahen me ujë të distiluar, thahen me ajër të ngrohtë të presuar, ç'nyndrosen me aceton dhe metanol për 10 minuta. Së fundmi, pasi shpëlahen me ujë të bidistiluar mostrat thahen peshohen me saktësi përpara se të zhyten në mjedisin korrodues (tretësirë 3% NaCl).

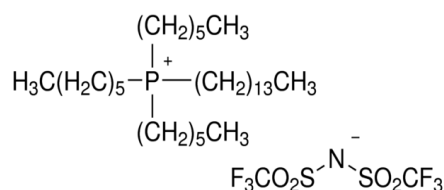


Figura 1: Paraqitja e formulës strukturore të bis(trifluorometilsulfonyl)amidur i triheksiltetradecilfosfoniumit

Pas qëndrimit për 72 orë në tretësirë 3% NaCl, mostrat shpëlahen me ujë të distiluar, futen në tretësirë Na₂CO₃, shpëlahen sërish me ujë të distiluar dhe thahen me rrymë ajri të ngrohtë e të presuar. Si përfundim, mostrat peshohen sërish me saktësi deri në peshë konstante. Diferenca në peshë, para dhe pas zhytjes në mjedisin korrodues përdoret për njehsimin e shpejtësisë së korrozionit dhe efektivitetit mbrojtës të inhibitorit.

Për matjet me metodën e polarizimit potenciodinamik si elektrodë pune përdoret i njëjti çelik (36CrMo) me përbërjen e dhënë në Tabelën 1. Elektroda e punës ka formë cilindrike, ndërsa sipërfaqja e punës (sipërfaqja e ekspozuar në mjedisin korrodues) ka formë rrethore dhe diametër 5 mm. Sipërfaqja e jashtme e mostrës së çelikut pastrohet me letër poliruese (e njëjta procedure e përdorur për mostrat e metodës së humbjes në peshë) dhe më pas fiksohet në qendrën e një cilindri tefloni me anë të derdhjes së epoksidit, i cili duke qënë jopërcjellës shmang kontaktin e sipërfaqes anësore me tretësirën.

Në këtë mënyrë, ndaj tretësirës ekspozohet vetëm sipërfaqja e punës. Sipërfaqja e punës së elektrodës polirohet me letër poliruese 1000, pastrohet me aceton për largimin e yndyrnave, pastrohet me ujë të distiluar dhe thahet. Si elektrodë ndihmëse përdoret elektroda e platinit, ndërsa si elektrodë reference përdoret elektroda e ngopur e kalomelit, e shoqëruar me urën lidhëse. Matjet elektrokimike u kryen duke përdorur një aparat Tacussel, të tipit PJT 24-1, i pajisur me Pilovit për skanimin e potencialit. Përpara se të fillohet polarizimi, përcaktojmë potencialin e qetësisë së korrozionit, duke e lënë elektrodën të zhytur për rreth 15-30 min, derisa potenciali të stabilizohet. Shkalla e polarizimit është 6 mV/min. Me të dhënat e përfuara nga matjet ndërtohen kurbat e polarizimit potenciodinamik dhe prej tyre

përcaktohet vlera e densitetit të rrymës së korrozionit, shpejtësia e korrozionit dhe efektiviteti mbrojtës i inhibitorit.

Tabela 2 tregon përbërjen e mjedisit korrodues, të përbërë nga tretësira 3% NaCl me dhe pa shtesa të:

bis(trifluorometilsulfonyl)amidur triheksiltetradecilfosfoniumi. Sasia prej 5 mL e inhibitorit u tret fillimisht në 5 mL etanol 99.8% dhe më pas vëllimeve përkatëse të marra: 0.1 mL; 0.2 mL; 0.5 mL; 0.7 mL u shtuan në tretësirën 3% NaCl deri në vëllimin 100 mL.

Të gjitha matjet u kryen në kushte qetësie dhe ajrimi natyror, në temperaturë mjedisi, në tretësirën 3% NaCl që përmban shtesa të ndryshme të inhibitorit.

Tabela 2. Përbërja e mjedisit korrodues

Tretësirë NaCl (vëllimi 100 mL)	3%
Vëllimi i inhibitorit të shtuar	0.0 mL
	0.1 mL
	0.2 mL
	0.5 mL
	0.7 mL

Rezultatet dhe diskutimi

Mostrat e çelikut 36CrMo të përgatitura siç janë përshkruar në pjesën eksperimentale, u zhytën për 72 orë në tretësirë 3% NaCl me dhe pa shtesa të inhibitorit. Shpejtësia e korrozionit (v) në $\text{g/m}^2\text{orë}$ dhe mm/vit si dhe efektiviteti i inhibitorit i shprehur në përqindje (EI%) njehsohet me formulat e mëposhtme:

$$v_{(\text{g/m}^2\text{orë})} = \frac{\Delta m}{S \cdot t} \quad v_{(\text{mm/vit})} = \frac{8.76 \cdot v_{(\text{g/m}^2\text{orë})}}{d} \quad \text{EI}\% = \frac{v_0 - v}{v_0} \cdot 100$$

ku, Δm (në g) - është ndryshimi i peshës të mostrës, para dhe pas eksperimentimit; S (në m^2) - sipërfaqja e mostrës; v_0 - shpejtësia e korrozionit në mungesë të inhibitorit; v - shpejtësia e korrozionit në prani të inhibitorit, t (në orë) - koha e ekspozimit të mostrës në mjedisin korrodues dhe d - dendësia e çelikut, 7.86 g/cm^3 . Tabela 3 paraqet vlerat e shpejtësisë së korrozionit në $\text{g/m}^2\text{orë}$ dhe mm/vit si dhe efektivitetin e inhibitorit të shprehur në përqindje (EI%).

Tabela 3: Efektiviteti i inhibitorit dhe shpejtësia e korrozionit (në $\text{g/m}^2\text{orë}$ dhe mm/vit) për çelikun 36CrMo i zhytur për 72 orë në tretësirën 3% NaCl që përmban vëllime të ndryshme të bis(trifluorometilsulfonil)amidur triheksiltetradecilfosoniumit.

Nr. mostrës	Vëllimi i inhibitorit (mL)	v ($\text{g/m}^2 \cdot \text{orë}$)	v (mm/vit)	EI (%)
1	0.0	0.6882	0.7670	–
2	0.1	0.3079	0.3432	55.26
3	0.2	0.2026	0.2258	70.56
4	0.5	0.1205	0.1343	82.49
5	0.7	0.0665	0.0741	90.34

Siç shihet nga Tabela 3, efektiviteti i inhibitorit të testuar rritet me rritjen e vëllimit të inhibitorit të shtuar. Shpejtësia e korrozionit zvogëlohet nga $0.6882 \text{ g/m}^2\text{orë}$ (për mostrën e zhytur në tretësirën 3% NaCl pa shtesë inhibitori) në $0.0665 \text{ g/m}^2\text{orë}$ (për mostrën e zhytur në tretësirën 3% NaCl që përmban 0.7 mL inhibitor). Efektiviteti maksimal i inhibitorit, 90.34% u arrit në rastin e shtimit të 0.7 mL inhibitor në tretësirën 3% NaCl. Figura 2 tregon lakoret e polarizimit potenciodinamik për mostrat e çelikut 36CrMo të zhytura në tretësirë 3% NaCl, me dhe pa shtim të inhibitorit, si dhe paraqitjen e tangenteve për përcaktimin e densitetit të rrymës së korrozionit.

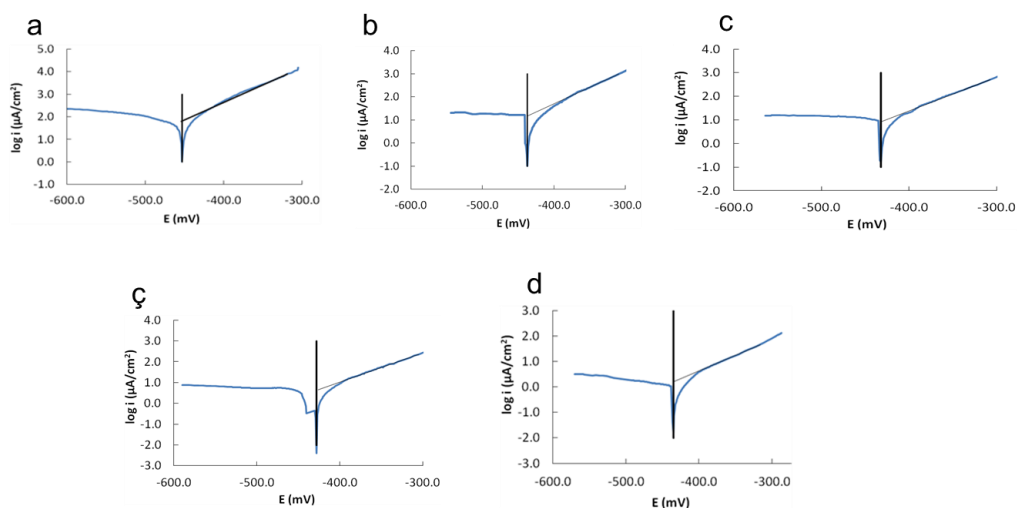


Figura 2: Kurbat e polarizimit potenciodinamik për mostrat e çelikut 36CrMo të zhytura në tretësirë 3% NaCl, a) pa shtim inhibitori, b) me 0.1 mL , c) me 0.2 mL , d) me 0.5 mL dhe e) me 0.7 mL inhibitor të shtuar.

Duke hequr tagentet e kurbave të polarizimit Tafel gjejmë vlerat e densitetit të rrymës së korrozionit i_{kor} . Shpjëtesia e korrozionit dhe efektiviteti i inhibitorit llogaritet nëpërmjet formulave:

$$EI\% = \frac{i_{kor}^{\circ} - i_{kor}}{i_{kor}^{\circ}} \cdot 100 \quad v = \frac{E \cdot 3600}{96500} \cdot i_{kor} \quad v_{(mm/vit)} = \frac{8.76 \cdot v_{(g/m^2 \cdot orë)}}{d_{(g/cm^3)}}$$

EI% - efektiviteti i inhibitorit; i_{kor}° – densiteti i rrymës së korrozionit pa inhibitor në μA ; i_{kor} – densiteti i rrymës së korrozionit me inhibitor në μA ; E - njëvlerësi i Fe^{2+} ; d-densiteti i hekurit = $7.86g/cm^3$.

Vlerat e llogaritura për shpejtësinë e korrozionit dhe efektivitetin e inhibitorit, për përqëndrime të ndryshme të tij janë paraqitur në Tabelën 4.

Tabela 4: Varësia e shpejtësisë së korrozionit dhe efektivitetit mbrojtës nga vëllimi i inhibitorit të shtuar në 100 mL tretësirë 3% NaCl.

Përqëndrimi i inhibitorit (mL)	0	0.1	0.2	0.5	0.7
Densiteti i rrymës së korrozionit i ($\mu A/cm^2$)	63.10	25.12	19.95	7.94	3.98
V ($g/m^2 \cdot orw$)	0.6591	0.2624	0.2082	0.0829	0.0416
V (mm/vit)	0.7346	0.2944	0.2320	0.0924	0.0464
Efektiviteti i inhibitorit (%)	-	60.19	68.38	87.42	93.69

Siç shihet nga Tabela 4, vlera më e lartë e efektivitetit, 93.69% u arrit për 0.7 mL inhibitor të shtuar. Shpejtësia e korrozionit në këtë rast ulet nga 0.6591 $g/m^2 \cdot orë$ (për mostrat e çelikut të zhytura në tretësirë 3% NaCl pa prani të inhibitorit) në 0.0415 $g/m^2 \cdot orë$ (për mostrat e çelikut të zhytura në tretësirë 3% NaCl me 0.7 mL inhibitor të shtuar). Shpejtësia e korrozionit në rastin e shtimit të 0.7 mL inhibitor në 100 mL tretësirë 3% NaCl është 0.0464 mm/vit, ndërsa në mungesë të inhibitorit shpejtësia e korrozionit është 0.7346 mm/vit.

Figura 3 paraqet në mënyrë të përmbledhur lakoret e polarizimit potenciodinamik për mostrat e çelikut 36CrMo të zhytura në tretësirë 3% NaCl me dhe pa shtim të inhibitorit.

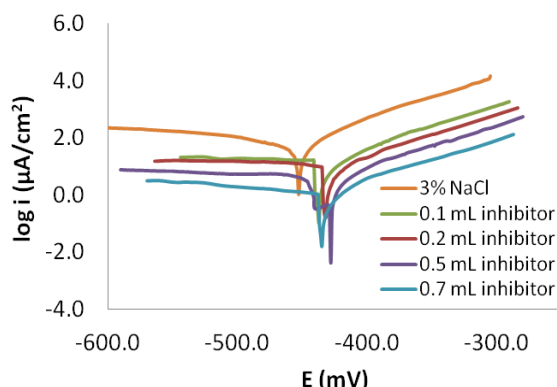


Figura 3: Kurbat e polarizimit potenciodinamik për mostrat e çelikut 36CrMo në tretësirë 3% NaCl me dhe pa shtim të inhibitorit.

Figura 3 tregon se shtimi i:

bis(trifluorometilsulfonyl)amidur triheksiltetradecilfosfoniumit ndikon si në gjysmëreaksinin anodik dhe atë katodik të korrozionit. Megjithatë, ndikimi i tij është më i theksuar në reaksionin anodik. Për rrjedhojë mund të themi se bis(trifluorometilsulfonyl)amidur triheksiltetradecilfosfoniumi sillet si inhibitor i përzier me ndikim më të theksuar anodik.

Përfundime

Objekt i këtij punimi ka qenë vlerësimi i rolit mbrojtës të bis(trifluorometilsulfonyl)amidur triheksiltetradecilfosfoniumit në çelikun me karbon (Marka 36CrMo) në tretësirë ujore NaCl 3% në temperaturën e mjedisit (afro 20°C). Për këtë qëllim u përdorën metoda e polarizimit potenciodinamik dhe metoda e humbjes në peshë. Nëpërmjet gjashtë serive të matjeve që përfshijnë shumë eksperimente, është shprehur me vlera numerike ky ndikim.

Rezultatet e mësipërme të marra nga të dy metodat tregojnë se bis(trifluorometilsulfonyl)amidur triheksiltetradecilfosfoniumi paraqet aftësi mbrojtëse (inhibuese) optimale ndaj çelikut 36 CrMo në tretësirë 3% NaCl. Shpejtësia e korrozionit zvogëlohet me rritjen e përqendrimit të bis(trifluorometilsulfonyl)amidur triheksiltetradecilfosfoniumit. Vlera minimale e shpejtësisë sipas metodës të humbjes në peshë është 0.0665 g/m²orë (0.0741 mm/vit), ndërsa sipas metodës së polarizimit potenciodinamik është 0.0416 g/m²orë (0.0464 mm/vit). Vlera maksimale e efektivitetit të inhibitorit (për 0.7 mL inhibitor të shtuar) u gjet 93.69% me metodën e polarizimit potenciodinamik dhe 90.34% me metodën e humbjes në peshë. Nga lakoret e polarizimit potenciodinamik shohim se në kushtet e marra në studim,

bis(trifluorometilsulfonyl)amidur triheksiltetradecilfosfoniumi sillet si një inhibitor i përzier (ndikon si në gjysëm-reaksinin anodik dhe atë katodik) me një ndikim më të theksuar anodik.

Literatura

- Schweitzer P. A. (2007): Fundamentals of metallic corrosion, Atmospheric and media corrosion of metals: Corrosion engineering handbook, second edition. CRC press, Taylor & Francis group, New York, USA: 1–37
- Mansfeld F. (2003): Electrochemical methods of corrosion testing, in: S.D. Cramer, B.S. Covino Jr. (Eds.), Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection, Vol. 13A, ASM Handbook, ASM International: 446–462
- Ahmad Z. (2006): Principles of corrosion engineering and corrosion control, Elsevier Science and Technology Books: 3–672
- Fouda S. A, M. Diab A. & Fathy S. (2017): Role of some organic compounds as corrosion inhibitors for 316L stainless steel in 1 M HCl, *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 12: 347 – 362
- Dubey, A. K. & Singh G. (2007): Corrosion inhibition of mild steel in sulphuric acid solution by using polyethylene glycol methyl ether (PEGME), *Portugaliae Electrochimica, Acta*, Acta 25: 222–230
- Palou, M. R, Olivares-Xomelt O. & Likhanova N. V (2014): Environmentally friendly corrosion inhibitors, *Developments in corrosion protection*, Dr. M. Aliofkhaezai (Ed.), In Tech DOI: 10.5772/57252: 444–452
- Lame, A., Saraçi, M., Gaçe, Z. & Seiti, B. (2011): Environmental friendly substances as a good choice in corrosion protection of carbon steel against acid solution. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, vol. 12(2): 636–644
- Seiti, B., Xhanari, K., Veseli, R. & Alinj, A. (2016): Vitamin B1 as corrosion inhibitor of 36CrMo steel in hydrochloric acid solution, *Oxidation Communications*, vol. 39(3-II): 2791–2796.
- Scendo, M. & Uznanska, J. (2011): The effect of ionic liquids on the corrosion inhibition of copper in acidic chloride solutions, *International Journal of Corrosion*, vol. 2011: Article ID: 718626
- Alinj, A., Seiti, B., Xhanari, K., Andoni, E., Gaçe, Z., Lame, A., Veseli, R. & Zekaj, A. (2014): Evaluation of the protection efficiency of 1-decyl-3-methylimidazolium chloride in the corrosion of 36CrMo steel in acid solution (HCl), *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*, vol. 4(1): 15–24.
- Wang, B., Qin, L., Mu, T., Xue, Z. & Gao, G. (2017): Are ionic liquids chemically stable? *Chem. Rev.* vol. 117: 7113–7131
- Efthimiadis, J., Neil, W.C., Bunter, A., Howlett, P.C., Hinton, BRW., MacFarlane D.R. & Forsyth, M. (2010): Potentiostatic control of ionic liquid surface film formation on ZE41 magnesium alloy. *ACS Appl. Mater. Interfaces* vol. 2: 1317–1323
- Huang, P., Latham, J. A., Macfarlane, D. R., Howlett, P. C. & Forsyth, M. (2013): A review of ionic liquid surface film formation on Mg and its alloys for improved corrosion performance. *Electrochim. Acta* vol. 110: 501–510
- Latham, J. A., Howlett, P. C., MacFarlane, D. R., Somers, A. & Forsyth, M. (2012): Anodising AZ31 in a phosphonium ionic liquid: corrosion protection through composite film deposition. *J. Electrochem. Soc.* vol. 159: C539–C545

- Verma, C., Ebenso, E. E. & Quraishi, M. A. (2017): Ionic liquids as green and sustainable corrosion inhibitors for metals and alloys: an overview. *J. Mol. Liq.* vol. 233: 403–414
- Zhang, Y., Liu, X., Jamali, S.S., Hinton, B., Moulton, S. E., Wallace, G.G., & Forsyth, M. (2016): The effect of treatment time on the ionic liquid surface film formation: promising surface coating for Mg alloy AZ31. *Surf. Coat. Technol.* vol. 296: 192–202
- Kumar, A., Bisht, M. & Venkatesu, P. (2016): Exploring the structure and stability of amino acids and glycine peptides in biocompatible ionic liquids. *RSC Adv.* vol. 6, 18763–18777
- Diamanti, M. V., Velardi, U.V., Brenna, A., Pedferri, M.P. & Ormellese, M. (2016): Compatibility of imidazolium-based ionic liquids for CO₂ capture with steel alloys: a corrosion perspective. *Electrochim. Acta* vol. 192: 414–421
- Dilasari, B., Jung, Y. & Kwon, K. (2016): Comparative study of corrosion behavior of metals in protic and aprotic ionic liquids. *Electrochem. Commun.* vol. 73: 20–23
- Zhang, Q., Vigier, K. D. O., Royer, S. & Jérôme, F. (2012): Deep eutectic solvents: syntheses, properties and applications. *Chem. Soc. Rev.* vol. 41: 7108–7146
- Ashassi-Sorkhabi, H. & Es'haghi, M. (2009): Corrosion inhibition of mild steel in acidic media by [BMIm]Br ionic liquid. *Mater. Chem. Phys.* vol. 114: 267–271
- Nava, N., Likhanova, N. V., Olivares-Xometl, O, Flores, E.A., & Lijanova, I.V. (2011): Characterization of the corrosion products formed on mild steel in acidic medium with N-octadecylpyridinium bromide as corrosion inhibitor. *Hyperfine Interactions.* vol. 202, Issue 1–3: pp 89–95
- Migahed, M. A. (2005): Electrochemical investigation of the corrosion behaviour of mild steel in 2 M HCl solution in presence of 1-dodecyl-4-methoxy pyridinium bromide. *Mater. Chem. Phys.* vol. 93: 48–53
- Murulana, L. C., Singh, A. K., Shukla, S. K., Kabanda, M. M. & Ebenso, E. E. (2012): Experimental and quantum chemical studies of some bis(trifluoromethyl-sulfonyl)imide imidazolium-based ionic liquids as corrosion inhibitors for mild steel in hydrochloric acid solution. *Ind. Eng. Chem. Res.* vol. 51, 13282–13299
- Yousefi, A., Javadian, S., Dalir, N., Kakemam, J. & Akbari, J. (2015): Imidazolium-based ionic liquids as modulators of corrosion inhibition of SDS on mild steel in hydrochloric acid solutions: experimental and theoretical studies. *RSC Adv* 5: 11697–11713
- Pound, B. G., Cox P. & Mortelmans K. E. (2018): The use of quaternary phosphonium compounds as antibacterial corrosion inhibitors for low-alloy steel, *Corrosion* vol. 74(6): 694–704
- Kumar, S., Madhusudan, G., Hemlata, V., Vandana, Sh. Indra B. & Ebenso E. E. (2017): Ionic salt (4-ethoxybenzyl)-triphenylphosphonium bromide as a green corrosion inhibitor on mild steel in acidic medium: experimental and theoretical evaluation, *RSC Adv.*, vol. 7: 31907–31920
- Palaniappan, N., Raju Chowhan, L., Jothi S., Bosco, I. G. & Cole I. S. (2017): Corrosion inhibition on mild steel by phosphonium salts in 1M HNO₃ aqueous medium, *Surfaces and Interfaces*, vol. 6: 237–246

- Walia M. & Singh. G. (2005): Corrosion inhibition of pure nickel by some phosphonium compounds in acid medium, *Surface Engineering*, vol. 21(3): 176–179
- Nahlé, A., Abu-Abdoun, I. & Abdel-Rahman, I. (2016): Corrosion inhibition on mild Steel in 1.0 M HCl solution by 1-vinylimidazolium-3-methyltriphenyl phosphonium dihexafluoroantimonate Salt *J. Mater. Environ. Sci.* vol. 7(8): 2955–2964
- Vashisht, H., Kumar, S., Bahadur, I. & Singh, G. (2013): Evaluation of (2-hydroxyethyl) triphenyl phosphonium bromide as corrosion inhibitor for mild steel in sulphuric acid. *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 8: 684–699
- Huang, P., Howlett, P. C. & Forsyth, M., (2014): Electrochemical etching of AA5083 aluminium alloy in trihexyl(tetradecyl)phosphonium bis(trifluoromethylsulfonyl)amide ionic liquid, *Corrosion Science*, vol. 80: 120–127