

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Ivane Jevremović, dipl. inž. tehnologije

Odlukom br. 35/22 od 22.01.2015. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Ivane Jevremović, dipl. inž. tehnologije pod naslovom:

**„Primena organskih inhibitora za sprečavanje pojave korozije
niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂“**

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa kandidatom, Komisija podnosi Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu sledeći

**R E F E R A T
o urađenoj doktorskoj disertaciji**

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

- 26.12.2013. - Kandidat Ivana Jevremović, dipl. inž. tehnologije, prijavila je temu za doktorsku disertaciju pod naslovom: „Primena organskih inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂“, a Nastavno-naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu donelo je odluku o imenovanju Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije pod nazivom: „Primena organskih inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂“ (broj odluke 35/438 od 26.12.2013. godine), Ivane Jevremović, dipl. inž. tehnologije.
- 30.01.2014. - Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta usvojen je izveštaj Komisije za ocenu naučne zasnovanosti predložene teme doktorske disertacije pod nazivom: „Primena organskih inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂“, a za mentora ove doktorske disertacije imenovana je dr Vesna Mišković-Stanković, redovni profesor TMF.
- 24.02.2014. - Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Ivane Jevremović, dipl. inž. tehnologije pod nazivom: „Primena organskih inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂“ (broj odluke 61206-688/2-14 od 28.02.2014. godine).
- 22.01.2015. - Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je odluka o imenovanju članova Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije Ivane Jevremović, dipl. inž. tehnologije pod nazivom: „Primena organskih inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂“ (broj odluke 35/22 od 22.01.2015. godine).

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo za koju je matična ustanova Tehnološko-metalurški fakultet, Univerziteta u Beogradu. Mentor je dr Vesna Mišković-Stanković, redovni profesor TMF, koja je na osnovu dosadašnjih objavljenih publikacija i iskustva kompetentna da rukovodi izradom ove disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Ivana Jevremović je rođena 01.07.1985. godine, u Smederevu. Na Tehnološko-metalurški fakultet upisala se školske 2004/2005. godine, na odsek za Biohemijsko inženjerstvo i biotehnologiju. Diplomirala je septembra 2010. godine na Katedri za fizičku hemiju i elektrohemiju sa radom na temu „*Elektrohemijsko dobijanje Ag/PVP i Ag/alginat nanokompozita*“, sa ocenom 10. Srednja ocena tokom studija je 9,78.

Ivana Jevremović je dobila dve diplome Pante Tutundžića za postignute izvanredne rezultate u toku studiranja (za školsku 2004/2005. i 2005/2006. godinu). Dobitnik je i Specijalnog priznanja Srpskog hemijskog društva za izuzetan uspeh tokom studija (2011. godine).

Školske 2010/11. se upisala na doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, studijski program Hemijsko inženjerstvo (Elektrohemijsko i elektrohemijsko inženjerstvo), pod rukovodstvom mentora prof. dr Vesne Mišković-Stanković, redovnog profesora TMF. U okviru doktorskih studija položila je 11/11 ispita predviđenih studijskim programom sa prosečnom ocenom 10. Ivana Jevremović je od 1. oktobra 2010. zaposlena u Inovacionom centru TMF, prvo u okviru projekta ON142061, pod nazivom „Elektrohemijske karakteristike oksidnih i polimernih prevlaka na modifikovanim površinama metala“, čiji je rukovodilac bila prof. dr Vesna Mišković-Stanković, a potom u okviru projekta III45019, „Sinteza, razvoj tehnologija dobijanja i primena nanostrukturnih multifunkcionalnih materijala definisanih svojstava“, čiji je rukovodilac prof. dr Đorđe Janačković (potprojekat 2, rukovodilac prof. dr Vesna Mišković-Stanković). U zvanje istraživač saradnik izabrana je 31. decembra 2012. godine.

U toku 2011, 2012 i 2013. godine boravila je u periodima od po tri meseca na Institute for Corrosion and Multiphase Technology, Ohio University u cilju izrade eksperimentalnog dela doktorske teze. Dobitnik je treće nagrade u kategoriji Harvey Herro za primenjenu korozionu tehnologiju u okviru NACE studentske poster sekcije (Harvey Herro Category for the field of the applied corrosion technology, NACE Student Poster Session) za poster pod nazivom „Top-of-the-Line Corrosion (TLC) Mitigation of Mild Steel in CO₂ Environment Using Corrosion Inhibitor Injected within a Foam Carrier“ na konferenciji CORROSION/2012, Salt Lake City, Utah, SAD, 2012. godine. Dobitnik je nagrade za najbolju prezentaciju pod nazivom „Use of Quartz Crystal Microbalance (QCM) Measurements to Investigate Novel Top-of-the-Line Corrosion (TLC) Mitigation Method“ na međunarodnoj konferenciji 12th Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, Beograd, 2013. godine.

Ivana Jevremović je član Srpskog hemijskog društva, Međunarodnog društva za elektrohemiju (International Society of Electrochemistry, ISE) i Američkog udruženja inženjera korozije (National Association of Corrosion Engineers, NACE).

U toku dosadašnjeg rada, bila je koautor šest radova u naučnim časopisima, od čega je pet radova objavljeno u časopisima međunarodnog značaja (četiri rada u vrhunskim međunarodnim časopisima (M21), jedan rad u međunarodnom časopisu (M23)), jedan rad u časopisu nacionalnog značaja (M51), kao i dvadeset naučnih saopštenja, od čega sedamanest saopštenja na međunarodnim skupovima (dva štampana u celini (M33) i petnaest štampanih u izvodu (M34)) i tri saopštenja na nacionalnim skupovima štampanih u izvodu (M64).

Iz oblasti istraživanja iz koje je predložena tema doktorske disertacije su do sada objavljena tri rada u vrhunskim međunarodnim časopisima (M21) jedan rad u časopisu međunarodnog značaja (M23) i jedan rad u časopisu nacionalnog značaja (M51), dva rada saopštena na skupovima međunarodnog značaja štampani u celini (M33), trinaest radova

saopštenih na skupovima međunarodnog značaja štampanih u izvodu (M34) i dva rada saopštena na skupu nacionalnog značaja štampana u izvodu (M64).

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija kandidata Ivane Jevremović, dipl. inž. tehnologije, napisana je na 189 strana, u okviru kojih se nalaze 76 slika, 10 tabela, i 278 literaturna navoda, i organizovana je u sedam celina: Uvod, Teorijski deo, Cilj istraživanja, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija, Zaključak i Literatura. Na početku disertacije dat je kratak Izvod na srpskom i engleskom jeziku, a Biografija kandidata je data na kraju. Po svojoj formi i sadržaju, podneti rad zadovoljava sve standarde za doktorsku disertaciju.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U okviru Uvoda i Teorijskog dela opisan je proces korozije, kao i različite metode zaštite metala od korozije sa akcentom na sprečavanju pojave korozije primenom organskih inhibitora. Teorijski deo se sastoji iz osam poglavlja: Čelik, Korozija u industriji nafte i gasa, Korozija u prisustvu CO₂, Korozija u uslovima kondenzacije, Zaštita od korozije, Inhibitori korozije, Metode zaštite od korozije u uslovima kondenzacije i Pena, dok je Cilj istraživanja opisan u posebnom poglavlju. U poglavlju pod nazivom Čelik opisana su fizičko-hemijska svojstva čelika, struktura, tipovi čelika, primena i otpornost na koroziju. U poglavlju pod nazivom Korozija u industriji nafte i gasa razmatrana je pojava korozije u postrojenjima za transport i u rezervoarima za skladištenje nafte i gasa, zatim tipovi korozije i najznačajniji faktori koji utiču na pojavu korozije u petrohemijskoj industriji. U poglavlju pod nazivom Korozija u prisustvu CO₂ prikazana je korozija niskougljeničnog čelika u vodenim rastvorima CO₂, mehanizam CO₂ korozije, korozioni produkti i njihov uticaj na sam proces korozije, kao i faktori koji utiču na koroziju niskougljeničnog čelika u rastvoru CO₂ gasa (pH rastvora, parcijalni pritisak CO₂, temperatura rastvora, brzina protoka, prenos mase, prisustvo kiselina u rastvoru, kao što su H₂S i CH₃COOH, prisustvo vode u nafti, kao i uticaj same nafte). Poglavlje pod nazivom Korozija u uslovima kondenzacije obuhvata analizu prethodnih istraživanja koja se odnose na mehanizme korozije niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂ u uslovima kondenzacije, metode merenja korozije u uslovima kondenzacije, kao i identifikaciju nekoliko ključnih faktora koji utiču na ovaj fenomen (temperatura gasa, spoljašnja temperatura, ukupni pritisak, parcijalni pritisak CO₂, brzina gasa, brzina kondenzacije i hemijski sastav kondenzata). U poglavlju Zaštita od korozije opisani su najčešći načini zaštite metala od korozije, dok je u poglavlju pod nazivom Inhibitori korozije opisana klasifikacija inhibitora korozije, primena organskih inhibitora korozije za sprečavanje delovanja agenasa korozije, teorije i pretpostavke o mehanizmu delovanja inhibitora, podele inhibitora korozije, sa akcentom na primeni supstituisanih imidazolinskih derivata kao inhibitora korozije. U ovom delu opisana je i adsorpcija inhibitora, mehanizam procesa adsorpcije, tipovi adsorpcionih izoterma, određivanje termodinamičkih parametara, efekat dvojnog sloja, kao i uticaj potencijala nultog naelektrisanja na proces adsorpcije inhibitora na površinu metala. Detaljno je opisana primena inhibitora u sprečavanju lokalizovane korozije, kao i primena prirodnih organskih jedinjenja kao novih tipova inhibitora. U ovom poglavlju je takođe opisan proces formiranja površinskih filmova na metalima, inhibitori kao površinski aktivne materije, kao i primena samouređenih slojeva raznih organskih jedinjenja u zaštiti površine metala od korozije. Takođe, u ovom delu dat je relevantni literaturni pregled postojećih istraživanja o inhibitorima koji se primenjuju za sprečavanje pojave unutrašnje korozije u cevima u industriji nafte i gasa. U poglavlju pod nazivom Metode zaštite od korozije u uslovima kondenzacije opisani su ispitivani načini transporta inhibitora korozije u cevi (injektiranje kroz mlaznicu, transport u kapima, primena sredstava za rasprostiranje inhibitora, ubrizgavanje inhibitora između

dva polimerna klipa koja se kreću kroz cevi, kao i upotreba gelirane tečnosti u koju se ubrizgava inhibitor korozije), zatim primena isparljivih inhibitora korozije, kao i detaljan opis nove metode inhibicije ispitivane u ovoj disertaciji, zasnovane na ubrizgavanju inhibitora korozije u penu kao nosač. U poglavlju pod nazivom Pene opisana je hidrodinamika pena, strukture i faktori koji utiču na stabilnost pene i njenu jačinu, primena pene kao nosača inhibitora korozije, kao i kompatibilnost inhibitora i sredstva za formiranje pene. Ukazano je da je cilj ovog istraživanja zaštita niskougljeničnog čelika API X65 od korozije u prisustvu CO₂ primenom organskog inhibitora korozije, imidazolinskog derivata smeše viših masnih kiselina i dietilentriamina, TOFA/DETA imidazolina, u tečnoj, kao i u gasovitoj fazi u uslovima kondenzacije uz primenu pene (natrijum C14-16 olefin-sulfonat) kao nosača inhibitora.

U Eksperimentalnom delu je naveden hemijski sastav ispitivanog niskougljeničnog konstrukcionog čelika, način dobijanja i molekulska struktura korišćenog inhibitora korozije, TOFA/DETA imidazolina, kao i molekulska struktura i svojstva sredstva korišćenog za razvijanje pene, natrijum C14-16 olefin sulfonata. Takođe je detaljno opisan postupak pripreme površine niskougljeničnog čelika, API X65, za koroziona merenja, zatim površine kristala kvarca za merenja u gasovitoj i tečnoj fazi, kao i površine mernog elementa sonde za merenje brzine korozije na osnovu električne otpornosti. Eksperimenti su vršeni u staklenoj ćeliji, u ratvoru 3 mas. % NaCl zasićenom CO₂ gasom bez i sa različitim koncentracijama TOFA/DETA imidazolina u opsegu od 50 ppm_v do 90 ppm_v, u opsegu temperatura od 20°C do 50°C. Najpre je opisan postupak ispitivanja uticaja hemijske strukture inhibitora na brzinu korozije, mehanizam interakcije inhibitora sa površinom čelika, efikasnost inhibitora kao i vrste veza koje se uspostavljaju između metalnog supstrata i inhibitora. Predloženi sistem za zaštitu niskougljeničnog čelika od CO₂ korozije je analiziran različitim tehnikama karakterizacije koje su detaljno opisane. Spektroskopija elektrohemijske impedancije (SEI) je korišćena za ispitivanje procesa korozije, za određivanje otpornosti i kapacitivnosti filma inhibitora, kapacitivnosti dvojnog sloja, otpornosti prenosu naelektrisanja na graničnoj površini metal-elektrolit, kao i stepena pokrivenosti elektrode. Metoda polarizacije krive, kao i metoda linearne polarizacije otpornosti su primenjene za određivanje korozionog potencijala, gustine struje korozije i brzine korozije. Metoda potencijal-vreme je primenjena u cilju dobijanja kvalitativnih informacija o trajnosti zaštitnog filma inhibitora. Ciklična voltametrija je korišćena za ispitivanje procesa adsorpcije i stabilnosti inhibitora korozije u opsegu korozionog potencijala čelika. Gravimetrijska metode određivanja gubitka mase kao i određivanje brzine korozije na osnovu električne otpornosti primenjeni su za praćenje brzine korozije i ukupnog gubitka mase metala u tečnoj i gasovitoj fazi. Kvarcna mikro vaga je korišćena za praćenje procesa adsorpcije inhibitora i pene, kao i ispitivanje procesa kondenzacije i brzine korozije u tečnoj i gasovitoj fazi. Morfologija površine površine API X65 čelika sa i bez inhibitora ispitana je primenom skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM), i metodom mikroskopije atomskih sila. Termodinamički parametri (entalpija adsorpcije, slobodna Gibsova energija adsorpcije, entropija adsorpcije, kao i konstanta ravnoteže adsorpcije) su određeni u cilju utvrđivanja modela adsorpcione izoterme i definisanja tipa adsorpcije. Mehanizam adsorpcije je ispitan na inertnom Au supstratu, a potom i na realnom korodirajućem supstratu, Fe i čeliku. Predložena nova metoda za zaštitu niskougljeničnog čelika od CO₂ korozije u uslovima kondenzacije, koja se zasniva na ubrizgavanju inhibitora korozije u penu kao nosač, je detaljno opisana i analizirana različitim tehnikama karakterizacije, koje su detaljno opisane. Proces kondenzacije, adsorpcije, kao i merenje brzine korozije u gasovitoj fazi vršeni su korišćenjem kvarcne mikro vage, kao i na osnovu promene električne otpornosti u gasovitoj fazi korišćenjem sonde od ugljeničnog čelika. Kvarcna mikro vaga, koja je posebno prilagođena za merenja u gasovitoj fazi u realnom vremenu korišćena je za testiranje nove metode inhibicije korozije niskougljeničnog čelika u uslovima kondenzacije. Proces kondenzacije je kvalitativno praćen u prisustvu CH₃COOH i monoetilen glikola (MEG). Brzina korozije i proces adsorpcije su praćeni u gasovitoj fazi pre i nakon kontakta sa penom, bez i sa TOFA/DETA imidazolinom. Simulacija uslova koji se sreću u praksi

od velikog je značaja za procenu validnosti nove metode inhibicije korozije čelika u uslovima kondenzacije. Laboratorijski sistem sa višefaznim tokom fluida, koji pruža realistične uslove koji se javljaju u cevovodima za transport nafte i gasa poput temperature gasa, brzine toka, parcijalnog pritiska CO₂, brzine kondenzacije je detaljno opisan. Takođe su definisani hidrodinamički uslovi ispitivanja primene nove metode inhibicije kao funkcije različitih brzina toka gasa i različitih koncentracija sredstva za razvijanje pene. Detaljno je opisan postupak formiranja pene pneumatskim postupkom u statičkim uslovima, kao i u uslovima protoka gasa. Takođe je opisan postupak optimizacije faktora koji utiču na formiranje i stabilnost pene (koncentracija površinski aktivne supstance i način formiranja pene) u cilju postizanja maksimalne efikasnosti inhibitora, kao i formiranja pene odgovarajuće stabilnosti. Stabilnost i konzistencija pene su, tokom ekesperimenata, vizuelno praćeni snimanjem video zapisa toka pene kroz sistem korišćenjem boroskopa, povezanog sa digitalnom kamerom. Brzina korozije je merena u uslovima kondenzacije na osnovu promene električne otpornosti u gasovitoj fazi korišćenjem sonde od ugljeničnog čelika.

U delu Rezultati i diskusija, eksperimentalno dobijeni rezultati detaljno su analizirani i diskutovani u okviru četiri poglavlja. U poglavlju Ispitivanje efikasnosti inhibitora u tečnoj fazi prikazani su dobijeni rezultati ispitivanja uticaja hemijske strukture inhibitora na brzinu korozije, ispitivanja mehanizma interakcije inhibitora sa površinom čelika, kao i određivanje efikasnosti inhibitora i pretpostavke o vrstama veza koje se uspostavljaju između metalnog supstrata i inhibitora. Primenom spektroskopije elektrohemijske impedancije (SEI) za ispitivanje procesa korozije pokazano je da vrednosti otpornosti prenosu naelektrisanja kroz graničnu površinu metal/elektrolit, R_{ct} , rastu, dok vrednosti kapacitivnosti dvojnog sloja, C_{dl} , opadaju sa porastom koncentracije TOFA/DETA imidazolina usled zamene molekula vode, na površini metala, molekulima inhibitora. Efikasnost inhibicije η (%) TOFA/DETA imidazolina raste sa porastom njegove koncentracije od 20 ppm_v do 90 ppm_v do vrednosti od 90 %. Primenom metode polarizacije krive pokazano je da gustina struje korozije, j_{kor} , a samim tim i brzina struje korozije, v_{kor} , niskougljeničnog čelika u 3 mas. % NaCl značajno opadaju sa povećanjem koncentracije TOFA/DETA imidazolina u rastvoru, što dovodi do povećanja efikasnosti inhibicije, η (%), do 92 %. Pomeranje vrednosti korozionog potencijala, E_{kor} , ka pozitivnijim vrednostima potencijala u prisustvu TOFA/DETA imidazolina u rastvoru potvrđuje da ispitivano jedinjenje predstavlja anodni inhibitor korozije. Na osnovu rezultata metode potencijal-vreme i metode linearne polarizacije otpornosti nakon dodavanja TOFA/DETA imidazolina u koncentraciji od 90 ppm_v uočen je rast polarizacije otpornosti, R_{ct} , čelika, kao i pomeranje vrednosti potencijala otvorenog kola, odnosno korozionog potencijala, E_{kor} , ka pozitivnijim vrednostima potencijala na obe ispitivane temperature (20°C i 70°C). Brzina korozije niskougljeničnog čelika u 3 mas. % vodenom rastvoru NaCl, pH 5, na 20°C smanjena je od vrednosti 0,8 mm god⁻¹ na vrednost 0,1 mm god⁻¹ kada je u sistem dodato 90 ppm_v inhibitora korozije TOFA/DETA imidazolina. Brzina korozije čelika je takođe redukovana od vrednosti 2,5 mm god⁻¹ na vrednost od oko 0,07 mm god⁻¹ dodavanjem 90 ppm_v TOFA/DETA imidazolina na 70°C. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da TOFA/DETA imidazolin deluje kao anodni inhibitor u 3 mas. % rastvoru NaCl zasićenom sa CO₂, pri čemu se vrednosti brzine korozije smanjuju više od 10 puta na obe temperature, 20°C i 70°C. Pokazano je da su zaštitna svojstva TOFA/DETA imidazolina stabilna tokom dužeg vremena izlaganja sredini. Primenom metode ciklične voltametrije pokazano je da 90 ppm_v TOFA/DETA imidazolina u 3 mas. % vodenom rastvoru NaCl zasićenom sa CO₂ značajno smanjuje katodnu i anodnu gustinu struje čelika, pri čemu na cikličnom voltamogramu nisu identifikovane dodatne reakcije. Može se pretpostaviti da su elektroodni procesi inhibirani usled fizičke adsorpcije inhibitora korozije na površini niskougljeničnog čelika, a ujedno je pokazano da je TOFA/DETA imidazolin stabilan u opsegu korozionog potencijala niskougljeničnog čelika na datoj brzini promene potencijala. Gravimetrijskom metodom određivanja gubitka mase pokazano je da brzina korozije niskougljeničnog čelika u 3 mas. % NaCl zasićenom sa CO₂ na 20°C (1,05 mm god⁻¹) i 70°C

(4,53 mm god⁻¹) opada u prisustvu TOFA/DETA imidazolina do vrednosti od 0,017 mm god⁻¹ i 0,26 mm god⁻¹ na 20°C i 70°C, redom, usled formiranja zaštitnog filma TOFA/DETA imidazolina na površini čelika, dok η dostiže vrednost od oko 98%. Primenom sonde za merenje brzine korozije u tečnoj fazi na osnovu električne otpornosti pokazano je da se u prisustvu 1000 ppm_v TOFA/DETA imidazolina u rastvoru 3 mas.% NaCl zasićenom sa CO₂, brzina korozije značajno smanjuje (0,05 mm god⁻¹) u poređenju sa brzinom korozije u rastvoru bez inhibitora (2,2 mm god⁻¹). U poglavlju pod nazivom Termodinamička analiza procesa adsorpcije TOFA/DETA imidazolina na površini metala prikazani su rezultati ispitivanja procesa adsorpcije TOFA/DETA imidazolina na kristalima kvarca sa prevlakom od Au. Pokazano je da se proces adsorpcije pri koncentracijama bliskim kritičnoj micelarnoj koncentraciji (CMC) može opisati Lengmirovom adsorpcionom izotermom. Dobijene pozitivne vrednosti ΔS_{ads}^{θ} (0,389 kJ mol⁻¹K⁻¹) i ΔH_{ads}^{θ} (93,5 kJ mol⁻¹) ukazuju na to da je proces adsorpcije TOFA/DETA imidazolina na površini Au endoterman proces vođen porastom entropije. Rezultati ispitivanja procesa adsorpcije TOFA/DETA imidazolina na površini niskougljeničnog čelika pokazuju da su vrednosti ΔG_{ads}^{θ} na različitim temperaturama veće od -40 kJ mol⁻¹, ali manje od -20 kJ mol⁻¹, odnosno da adsorpcija TOFA/DETA imidazolina brojčano odgovara procesima fizisorpcije i hemisorpcije. Adsorpcija TOFA/DETA imidazolina je najpre opisana Lengmirovom adsorpcionom izotermom, pri čemu odstupanje koeficijenta linearnosti od jedinične vrednosti ukazuje na postojanje interakcija između adsorbovanih molekula inhibitora. Adsorpcija je opisana i Tjorkiniovom adsorpcionom izotermom, a na osnovu Tjorkiniovog koeficijenta, f , je pokazano da se između adsorbovanih molekula TOFA/DETA imidazolina na površini niskougljeničnog čelika uspostavljaju odbojne lateralne interakcije. Izračunate vrednosti ΔS_{ads}^{θ} i ΔH_{ads}^{θ} ukazuju da je proces adsorpcije TOFA/DETA imidazolina i na površini niskougljeničnog čelika, kao i na površini Au, endoterman i praćen povećanjem entropije. Pozitivan znak ΔS_{ads}^{θ} ukazuje da je proces zamene molekula vode na površini metala molekulima inhibitora najverovatnije praćen povećanjem entropije rastvarača, procesom desorpcije molekula vode sa površine metala. SEM mikrofotografije površine čelika u 3 mas. % NaCl sa i bez TOFA/DETA imidazolina pokazuju da se izgled površine značajno promenio u prisustvu TOFA/DETA imidazolina pri čemu je brzina rastvaranja metala značajno smanjena, usled formiranja zaštitnog filma inhibitora. Prema rezultatima AFM morfološke analize uočeno je da su značajno smanjene vrednosti amplitudne hrapavosti kod uzoraka snimljenih u prisustvu 70 ppm_v TOFA/DETA imidazolina na 20°C (42 nm) i 70°C (97 nm) u poređenju sa onim izmerenim za čelik u 3 mas. % NaCl bez dodatog TOFA/DETA imidazolina na 20°C (165 nm), i 70°C (712 nm). Na osnovu dobijenih rezultata merenja vršenih u tečnoj fazi potvrđeno je da je inhibitor TOFA/DETA imidazolin dobar i efikasan inhibitor za koroziju niskougljeničnog čelika u rastvoru 3 mas.% NaCl zasićenom sa CO₂, što se može objasniti uspostavljanjem interakcija između metalnog supstrata i inhibitora.

U poglavlju pod nazivom Ispitivanje efikasnosti inhibitora korozije u gasovitoj fazi ispitivana je nova metoda inhibicije korozije, koja se zasniva na ubrizgavanju inhibitora korozije u penu kao nosač, u gasovitoj fazi čelije. Detaljno je opisan eksperimentalni postupak praćenja procesa adsorpcije i merenja brzine korozije u gasovitoj fazi primenom kvarcne mikro vage, posebno prilagođene za merenja u uslovima kondenzacije. Ova metoda omogućava praćenje procesa kondenzacije, ispitivanje uticaja hemijskog sastava tečne faze na proces kondenzacije, praćenje procesa adsorpcije i merenje brzine korozije metala u gasovitoj fazi u realnom vremenu. Na osnovu promene mase suvog kristala kvarca sa prevlakom od Au pre i nakon kontakta sa penom koja sadrži 1000 ppm_v TOFA/DETA imidazolina može se zaključiti da dolazi do procesa adsorpcije pene. Procenjena je debljina adsorbovanog sloja od oko 0,02 μm, koja se smanjuje sa vremenom izlaganja usled spiranja procesom kondenzacije na površini kristala. Na osnovu razlike mase suvog kristala sa prevlakom od Fe pre i nakon kondenzacije (7,46 μg cm⁻²) može se zaključiti da dolazi do procesa adsorpcije produkata korozije na površini kristala kvarca sa prevlakom od Fe. Izračunata vrednost brzine korozije u gasovitoj fazi korišćenjem kvarcne mikro vage je oko 0,16 mm god⁻¹, dok je u prisustvu 1000 ppm_v TOFA/DETA imidazolina brzina

korozije u gasovitoj fazi iznosila $0,03 \text{ mm god}^{-1}$. Primenom metode merenja gubitka mase u gasovitoj fazi na osnovu električne otpornosti pokazano je da sredstvo za razvijanje pene, natrijum C14-16 olefin sulfonat, bez dodatog inhibitora ima slaba inhibitivna svojstva i ne štiti čelik od korozije. Brzina korozije određena iz vremenske zavisnosti gubitka debljine čelika iznosila je oko $0,5 \text{ mm god}^{-1}$ tokom celog intervala merenja. Nakon kontakta sa penom, za sva kontaktna vremena (od 15 s do 60 s), vrednost brzine korozije je smanjena više od 15 puta ($0,03 \text{ mm god}^{-1}$), pri čemu izmerena vrednost ostaje konstantna i nakon 15 h. Može se zaključiti da TOFA/DETA imidazolin u peni značajno smanjuje brzinu korozije čelika, merene u gasovitoj fazi čelije.

U poglavlju pod nazivom Ispitivanje nove metode inhibicije korozije u uslovima višefaznog toka fluida detaljno je opisana verifikacija nove metode inhibicije u sistemu sa višefaznim tokom fluida, posebno konstruisanom za ispitivanje uticaja operativnih parametara na koroziju čelika u uslovima kondenzacije. Sistem sa višefaznim tokom fluida pruža realne uslove poput temperature gasa, brzine toka, parcijalnog pritiska CO_2 , brzine kondenzacije. Pokazano je da način generisanja pene ima veliki uticaj na stabilnost formirane matrice. Može se zaključiti da su prednosti formiranja pene u statičkim uslovima pre svega njena jednostavnost i dobijanje stabilne i relativno guste pene pri čemu ovakva procedura ubrizgavanja pene u sistem ne bi bila praktična prilikom primene ove metode u realnim uslovima jer je prilikom ubrizgavanja pene u sistem protok gasa morao biti obustavljen da bi se omogućilo neometano formiranje stabilne matrice od pene u cevi. Modifikacijom prethodne metode omogućeno je ubrizgavanje pene u protočnim uslovima. Prednost ove metode je kontinuiranost proizvodnog procesa, jer se protok gasa unutar sistema prilikom ubrizgavanja pene i formiranja matrice na obustavlja. U ovom slučaju natrijum C14-16 olefin sulfonat je ubrizgavan pod pritiskom u sistem i formirana je kompaktna, stabilna pena zadovoljavajuće gustine i konzistencije koja obezbeđuje dovoljno vreme kontakta sa metalnom površinom. Rezultati merenja brzine korozije u gasovitoj fazi u statičkim uslovima pokazuju da se brzina korozije čelika kratkoročno smanjila za 50 % nakon kontakta sa penom bez inhibitora korozije, najverovatnije usled poremećaja procesa kondenzacije. Pokazano je da matrica pene koji sadrži 20000 ppm_v TOFA/DETA imidazolina formirana pri statičkim uslovima značajno smanjuje brzinu korozije u gasovitoj fazi ($0,01 \text{ mm god}^{-1}$) uz efikasnost inhibicije od 98 %, ali sa relativno kratkim vremenom trajanja izvedene zaštite od korozije. Nakon 4 h se vrednost brzine korozije vratila na početnu vrednost ($0,3 \text{ mm god}^{-1}$). U protočnim uslovima, brzina korozije merena u gasovitoj fazi ($0,8 \text{ mm god}^{-1}$) nakon kontakta pene, bez inhibitora, sa čelikom u trajanju od 2 min ostaje nepromenjena. U protočnim uslovima pena sa 20000 ppm_v TOFA/DETA imidazolina ostvaruje efikasnost inhibicije od 63 %, dok dva sukcesivna ubrizgavanja pene sa po 10000 ppm_v TOFA/DETA imidazolina obezbeđuju efikasnost inhibicije od oko 90 % usled formiranja bolje organizovanog i potpuno razvijenog filma inhibitora na metalnoj površini. Sukcesivno ubrizgavanje pene sa 10000 ppm_v TOFA/DETA imidazolina u protočnim uslovima pospešuje distribuciju inhibitora i obezbeđuje efikasniju zaštitu od korozije u uslovima kondenzacije sa vremenom trajanja izvedene zaštite od korozije 40 h do 50 h. U ovoj fazi istraživanja, dobijeni rezultati ukazuju da postupak zaštite unutrašnje površine cevi korišćenjem pene sa TOFA/DETA imidazolinom treba ponoviti svakih 40 h do 50 h da bi se osigurala efikasnost nove metode inhibicije korozije u uslovima kondenzacije. Zaključuje se da nova metoda za sprečavanje pojave korozije u uslovima kondenzacije, koja se zasniva na ubrizgavanju inhibitora korozije u penu kao nosač, može efikasno da kontroliše brzinu korozije u gasovitoj fazi u prisustvu CO_2 gasa.

Na kraju analize Rezultata i diskusije izveden je Zaključak u kome su koncizno izneti postignuti rezultati u istraživanju, a koji odgovaraju postavljenim ciljevima disertacije.

Na kraju rada dat je spisak korišćene literature, kao i biografija kandidata, izjave o autorstvu i istovetnosti štampane i elektronske verzije rada.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Proizvodni fluidi u industriji nafte i gasa su najčešće višefazni, sadrže naftu, vodu (slanu vodu) i gasovitu fazu. Korozija se javlja u gotovo svim fazama manipulisanja naftom, tokom eksploatacije, transporta i prerade u industrijskim postrojenjima. U inženjerskoj praksi vezanoj za eksploataciju i preradu nafte industrijska oprema, instalacije i postrojenja podležu visokom stepenu korozije usled teških uslova rada, kao i usled izlaganja agresivnim medijama korozije. Fenomen korozije koji je u vezi sa proizvodnjom vlažnog gasa je poznat kao korozija u uslovima kondenzacije. Adekvatna kontrola korozije u industriji nafte i gasa je neophodna da bi se izbegli incidenti velikih razmera, održala opšta bezbednost i pouzdan rad, sprečile ekološke katastrofe, kao i u cilju smanjenja ukupnih troškova i produženja veka trajanja opreme. Usled visoke cene korišćenja nerđajućih čelika i legura otpornih na koroziju za izgradnju mreže cevovoda najekonomičnije rešenje je upotreba ugljeničnog čelika kao konstrukcionog materijala zajedno sa primenom inhibitora korozije.

U literaturi postoji značajan broj radova o razvijanju empirijskih, polu-empirijskih, kao i pojednostavljenih mehanističkih modela mehanizma korozije u uslovima kondenzacije, koji nije još uvek u potpunosti razjašnjen. Ovaj tip korozije privlači posebnu pažnju jer i dalje ne postoji efikasan način sprečavanja ove vrste korozije. Kako konvencionalno ubrizgavanje inhibitora nije moguće u određenim uslovima i ne utiče efikasno na smanjenje brzine korozije u uslovima kondenzacije, cilj je da se razviju inovativne tehnike koje bi, uz što manje troškove i bez prekida proizvodnje, omogućile transport inhibitora korozije do delova cevi izloženih ovom tipu korozije. U ovoj disertaciji je ispitivana nova metoda inhibicije korozije, koja se zasniva na ubrizgavanju inhibitora korozije u penu kao nosač sa ciljem da se obezbedi ravnomerno nanošenje inhibitora u uslovima kondenzacije. Potiskom gasa u cevi se ostvaruje kretanje pene pri čemu se na unutrašnju površinu cevi nanosi sloj inhibitora korozije, nakon čega se pena postepeno dezintegriše. Pregled literature o upotrebi pene u industriji nafte i gasa ukazuje na postojanje velikog broja registrovanih patenata, pri čemu ovi patenti uglavnom pokrivaju širok spektar upotrebe pene u nizu procesa u petrohemijskoj industriji kao što su bušenje i priprema izvora za eksploataciju nafte i gasa, zatim u kiselinskom hidrauličkom frakturisanju, u sprečavanju i preusmeravanju gasa. Rezultati pretraživanja zadovoljavaju kriterijume originalnosti ideje injektiranja matrice od pene sa inhibitorom korozije.

Prednost korišćenja pene kao nosača u odnosu na druge postojeće nosače je mogućnost potpunog prilagođavanja matrice od pene geometriji cevi i ostvarivanje većeg stepena pokrivenosti njene unutrašnje površine inhibitorom korozije. Kako najveći udeo pene čini gas, implementacija ove metode u zaštiti od korozije bi dovela do dodatnog smanjenja troškova. Prednost metode je mogućnost periodičnog injektiranja pene u cevovod bez neophodnosti obustavljanja proizvodnje. Efikasnost predloženog sistema za zaštitu niskougljeničnog čelika API X65 od korozije u prisustvu CO₂ primenom organskog inhibitora korozije, imidazolinskog derivata smeše viših masnih kiselina i dietilentriamina, TOFA/DETA imidazolina, u tečnoj, kao i u gasovitoj fazi u uslovima kondenzacije uz primenu pene (natrijum C14-16 olefin-sulfonat) kao nosača inhibitora potvrđena je u ćeliji, kao i u sistemu sa višefaznim tokom za simulaciju operativnih uslova koji se sreću u praksi. U cilju daljeg ispitivanja i verifikacije ove metoda planirano je i njeno testiranje u realnim industrijskim uslovima.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U doktorskoj disertaciji citirana su 278 literaturna navoda, od kojih najveći broj čine najnoviji radovi iz međunarodnih časopisa sa tematikom značajnom za izradu doktorske disertacije. U toku izrade doktorske disertacije kandidat je pregledao dostupnu literaturu vezanu za pojavu i mehanizam korozije u prisustvu CO₂ u industriji nafte i gasa, kao i metode zaštite od ovog tipa korozije primenom organskih jedinjenja kao inhibitora korozije. Na osnovu detaljnog

pregleda literature predložen je efikasan sistem za zaštitu niskougljeničnog čelika API X65 od korozije u prisustvu CO₂ primenom organskog inhibitora korozije, imidazolinskog derivata smeše viših masnih kiselina i dietilentriamina, TOFA/DETA imidazolina, u tečnoj, kao i u gasovitoj fazi u uslovima kondenzacije uz primenu pene (natrijum C14-16 olefin-sulfonat) kao nosača inhibitora. Navedene reference su novijeg datuma i sadrže eksperimentalne rezultate istraživanja mnogih istraživača, analizu i diskusiju dobijenih rezultata i izvedene zaključke u oblasti primene inhibitora u zaštiti metala od korozije. U okviru korišćenih literaturnih navoda nalaze se i reference kandidata Ivane Jevremović, dipl. inž. tehnologije, proistekle iz rezultata istraživanja u oblasti doktorske disertacije, a koje su objavljene u časopisima međunarodnog značaja. Iz obrazloženja predložene teme doktorske disertacije i objavljenih radova koje je kandidat priložio, kao i iz popisa literature koja je korišćena u istraživanju, uočava se adekvatno poznavanje predmetne oblasti istraživanja i aktuelnog stanja istraživanja u ovoj oblasti u svetu.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Predloženi sistem za zaštitu niskougljeničnog čelika od CO₂ korozije je analiziran savremenim tehnikama karakterizacije. Spektroskopija elektrohemijske impedancije (SEI) je korišćena za ispitivanje procesa korozije, pri čemu su određena otpornost i kapacitivnost filma inhibitora, kapacitivnosti dvojnog sloja, otpornost prenosu naelektrisanja na graničnoj površini metal-elektrolit, kao i stepen pokrivenosti elektrode. Metoda potencijal-vreme je primenjena za dobijanje kvalitativnih informacija o trajnosti zaštitnog filma inhibitora. Metoda polarizacione krive, kao i metoda linearne polarizacione otpornosti su primenjene za određivanje korozionog potencijala, gustine struje korozije i brzine korozije. Ciklična voltametrija je korišćena za ispitivanje procesa adsorpcije i stabilnosti inhibitora korozije u opsegu korozionog potencijala čelika. Primenom gravimetrijske metode određivanja gubitka mase kao i određivanje brzine korozije na osnovu električne otpornosti primenjeni su za praćenje brzine korozije i ukupnog gubitka mase metala u tečnoj i gasovitoj fazi. Kvarcna mikro vaga je korišćena za praćenje procesa adsorpcije inhibitora i pene, kao i ispitivanje procesa kondenzacije i brzine korozije u tečnoj i gasovitoj fazi. Morfologije površine metala sa i bez inhibitora ispitana je primenom skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM), i metodom mikroskopije atomskih sila. Termodinamički parametri (entalpija adsorpcije, slobodna Gibsova energija adsorpcije, entropija adsorpcije, kao i konstanta ravnoteže adsorpcije) su određeni u cilju utvrđivanja modela adsorpcione izoterme i definisanja tipa adsorpcije. Mehanizam adsorpcije je ispitivan na inertnom Au supstratu, a potom i na realnom korodirajućem supstratu, Fe i čeliku.

Nova metoda zaštite čelika od korozije u uslovima kondenzacije je ispitana u sistemu sa višefaznim tokom fluida, posebno namenjenom za proučavanje uticaja operativnih parametara na koroziju čelika. Simulacija uslova koji se sreću u realnim sistemima od velikog je značaja za procenu validnosti nove metode inhibicije korozije čelika u uslovima kondenzacije. Sistem sa višefaznim tokom fluida za ispitivanje procesa korozije u uslovima kondenzacije pruža realistične uslove poput temperature gasa, brzine toka, parcijalnog pritiska CO₂, brzine kondenzacije. Optimizovani su faktori koji utiču na formiranje i stabilnost pene (koncentracija površinski aktivne supstance i način formiranja pene) u cilju postizanja maksimalne efikasnosti inhibitora, kao i formiranja pene odgovarajuće stabilnosti. Natrijum C14-16 olefin sulfonat u koncentraciji od 10 vol. % bez i sa različitim koncentracijama TOFA/DETA imidazolina u opsegu od 1000 ppm_v do 20000 ppm_v je korišćen za pripremu pene. Brzina korozije je merena korišćenjem sonde za merenje gubitka mase na osnovu električne otpornosti. Nakon kontakta mernog elementa sonde sa penom, merenje brzine korozije je nastavljeno kako bi se odredila efikasnost zaštite od korozije primenom pene kao nosača inhibitora korozije.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Na osnovu pregleda do sada objavljenih eksperimentalnih podataka i rezultata prikazanih u okviru ove doktorske disertacije ostvaren je značajan doprinos u ispitivanju uticaja hemijske

strukture inhibitora na brzinu korozije, kao i opisivanju mehanizma adsorpcije inhibitora na površini čelika. Na osnovu dobijenih rezultata merenja vršenih u tečnoj fazi potvrđeno je da je inhibitor TOFA/DETA imidazolin dobar i efikasan inhibitor za koroziju niskougljeničnog čelika u rastvoru 3 mas.% NaCl zasićenom sa CO₂, što se može objasniti uspostavljanjem interakcija između metalnog supstrata i inhibitora. U cilju ispitivanja procesa korozije u gasovitoj fazi posebna pažnja je posvećena razvijanju novog eksperimentalnog postupka uz korišćenje kvarene mikro vage posebno prilagođene za merenja u uslovima kondenzacije. Ova metoda je omogućila praćenje procesa kondenzacije, ispitivanje uticaja hemijskog sastava tečne faze na proces kondenzacije, praćenje procesa adsorpcije i merenje brzine korozije metala u gasovitoj fazi u realnom vremenu. Pokazano je da nova metoda za sprečavanje pojave korozije u uslovima kondenzacije, koja se zasniva na ubrizgavanju inhibitora korozije u penu kao nosač, može efikasno da kontroliše brzinu korozije u gasovitoj fazi u prisustvu CO₂ gasa. U ovoj fazi istraživanja, dobijeni rezultati ukazuju da postupak zaštite unutrašnje površine cevi korišćenjem pene sa TOFA/DETA imidazolinom treba ponoviti svakih 40 h do 50 h da bi se osigurala efikasnost nove metode inhibicije korozije u uslovima kondenzacije. Rezultati i zaključci izneti u disertaciji značajni su za dalji razvoj i potencijalnu primenu inovativne tehnike zaštite od korozije u uslovima kondenzacije, koja bi, uz manje troškove i bez prekida proizvodnje, omogućila transport inhibitora korozije do delova cevi izloženih ovom tipu korozije. Verifikacija ostvarenih rezultata disertacije postignuta je objavljivanjem radova u vodećim međunarodnim časopisima iz domena ove problematike, kao i saopštenjima na međunarodnim konferencijama.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalan naučni rad

U svom dosadašnjem istraživačkom radu, kandidat Ivana Jevremović, dipl. inž. tehnologije, pokazala je samostalnost i stručnost u pretraživanju literature, pripremi i realizaciji eksperimenata, korišćenju različitih tehnika karakterizacije i analizi i obradi rezultata. Na osnovu dosadašnjeg zalaganja i postignutih rezultata Komisija je mišljenja da kandidat poseduje sve kvalitete neophodne za samostalan naučno-istraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Naučni doprinosi rezultata istraživanja ostvarenih u okviru ove doktorske disertacije se ogledaju u sledećem:

- Potvrđeno je da je inhibitor TOFA/DETA imidazolin dobar i efikasan inhibitor za koroziju niskougljeničnog čelika u rastvoru 3 mas. % NaCl zasićenom sa CO₂, što se može objasniti adsorpcijom TOFA/DETA imidazolina na površini niskougljeničnog čelika.
- Razvijen je novi eksperimentalni postupak gde je kvarena mikro vaga, posebno prilagođena za merenja u uslovima kondenzacije. Ova metoda omogućava praćenje procesa kondenzacije, ispitivanje uticaja hemijskog sastava tečne faze na proces kondenzacije, praćenje procesa adsorpcije i merenje brzine korozije metala u gasovitoj fazi u realnom vremenu.
- Osmišljena je i testirana nova metoda za sprečavanje pojave korozije u uslovima kondenzacije, koja se zasniva na ubrizgavanju inhibitora korozije u penu kao nosač, koja može efikasno da kontroliše brzinu korozije u gasovitoj fazi u prisustvu CO₂ gasa.
- Verifikovana je nova metoda inhibicije u sistemu sa višefaznim tokom fluida, posebno konstruisanom za ispitivanje uticaja operativnih parametara na koroziju čelika u uslovima kondenzacije.
- Dobijeni rezultati ukazuju na mogućnost potencijalne primene inovativne tehnike zaštite od korozije u uslovima kondenzacije, koja bi uz manje troškove i bez prekida

proizvodnje, omogućila transport inhibitora korozije do delova cevi izloženih ovom tipu korozije.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja u okviru ove disertacije su koncipirana na osnovu definisanih ciljeva i detaljne analize literature iz oblasti zaštite metala od korozije u prisustvu CO₂, primenom organskih jedinjenja kao inhibitora korozije. U okviru ove doktorske disertacije primenjena je metodologija istraživanja i karakterizacije kakva je i prethodno opisana u literaturi, ali je prvi put primenjen novi inhibitor TOFA/DETA imidazolin, za koji je pokazano da je dobar i efikasan inhibitor za koroziju niskougljeničnog čelika u rastvoru 3 mas. % NaCl zasićenom sa CO₂, što se može objasniti adsorpcijom TOFA/DETA imidazolina na površini niskougljeničnog čelika. Na osnovu rezultata merenja u gasovitoj fazi pokazano je da nova metoda za sprečavanje pojave korozije u uslovima kondenzacije, koja se zasniva na ubrizgavanju inhibitora korozije u penu kao nosač, može efikasno da kontroliše brzinu korozije u gasovitoj fazi u prisustvu CO₂ gasa. Uvidom u dostupnu literaturu iz ove oblasti istraživanja i rezultate istraživanja dobijene u okviru ovoga rada, može se primetiti da dobijeni rezultati predstavljaju korak za dalji razvoj i potencijalnu primenu inovativne tehnike zaštite od korozije u uslovima kondenzacije, koja bi uz manje troškove i bez prekida proizvodnje, omogućila transport inhibitora korozije do delova cevi izloženih ovom tipu korozije.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Ivana Jevremović je svoje rezultate potvrdila objavljivanjem tri rada u vrhunskim međunarodnim časopisima, jednog rada u časopisu međunarodnog značaja, jednog rada u časopisu nacionalnog značaja, trinaest radova saopštenih na skupovima međunarodnog značaja i dva rada saopštena na skupovima nacionalnog značaja.

RADOVI OBJAVLJENI U NAUČNIM ČASOPISIMA MEĐUNARODNOG ZNAČAJA – M20

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu – M21

1. **Ivana Jevremović**, Vesna Mišković-Stanković, Mohsen Achour, David Blumer, Thomas Baugh, Marc Singer, Srdjan Nešić, “ A novel method to mitigate the Top of the Line Corrosion in wet gas pipelines by corrosion inhibitor within a foam matrix”, *Corrosion* **69** (2) (2013) pp. 186-192 (Materials Science, Multidisciplinary, 45/251, IF (2013) = 2,908) ISSN 0010-9312.
2. **Ivana Jevremović**, Marc Singer, Srdjan Nešić, Vesna Mišković-Stanković“ Inhibition properties of self-assembled corrosion inhibitor talloil diethylenetriamine imidazoline for mild steel corrosion in chloride solution saturated with carbon dioxide”, *Corros. Sci.* **77**(2013) pp. 265-272 (Materials Science, Multidisciplinary, 37/251, IF (2013) = 3,686), ISSN 0010-938X.
3. **Ivana Jevremović**, Marc Singer, Mohsen Achour, Srdjan Nešić, Vesna Mišković-Stanković, “ Evaluation of a Novel Top-of-the-Line Corrosion (TLC) Mitigation Method in a Large Scale Flow Loop”, *Corrosion* (2015) doi: 10.5006/1317 (Materials Science, Multidisciplinary, 45/251, IF (2013) = 2,908) ISSN 0010-9312

Rad u međunarodnom časopisu – M23

1. **Ivana Jevremović**, Aleksandra Debeljković, Marc Singer, Mohsen Achour, Srdjan Nešić, Vesna Mišković-Stanković, "The mixture of dicyclohexylamine and oleylamine as corrosion inhibitor for mild steel in NaCl solution saturated with CO₂ under both continual immersion and top of the line corrosion", *J. Serb. Chem. Soc.* **77**(8) (2012) 1047-1061. (Chemistry, Multidisciplinary, 100/152, IF (2012) = 0,912) ISSN 0352-5139.

ZBORNICI MEĐUNARODNIH NAUČNIH SKUPOVA – M30

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini – M33

1. **Ivana Jevremović**, Vesna Mišković-Stanković, Mohsen Achour, David Blumer, Thomas Baugh, Marc Singer, Srdjan Nešić, "A novel method to mitigate the Top of the Line Corrosion in wet gas pipelines by corrosion inhibitor within a foam matrix", NACE International Conference, CORROSION/2012, Salt Lake City, Utah, USA, 2012, paper no. C2012-0001403 (p.1-15); NACE - International Corrosion Conference Series, Volume 4, 2012, p. 3203-3217.
2. **Ivana Jevremović**, V. Mišković-Stanković, M. Achour, M. Singer, S. Nešić "Evaluation of a Novel Top-of-the-Line Corrosion (TLC) Mitigation Method in a Large Scale Flow Loop", NACE International Conference, CORROSION/2013, Orlando, Florida, USA, paper no. C2013-0002321(p.1-15); NACE – International Corrosion Conference Series, Volume 6, 2013, p. 4955-4967.

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu – M34

1. Aleksandra Debeljković, **Ivana Jevremović**, Vesna Mišković-Stanković, Srdan Nešić, "Corrosion Behavior of mild steel in CO₂ atmosphere", 9th Young Researchers' Conference – Materials Science and Engineering, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2010, Serbia, Book of abstracts, I/6, p. 4.
2. **Ivana Jevremović**, "The Investigation of the Effectiveness of Ethanolamine as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in CO₂ Atmosphere", NACE International Conference, CORROSION/2011, Houston, Texas, 2011, Book of abstracts, p. 38.
3. **Ivana Jevremović**, "Top-of-the-line Corrosion (TLC) Mitigation of Mild Steel in CO₂ Environment Using Corrosion Inhibitor Injected Within a Foam Carrier", NACE International Conference, CORROSION/2012, Salt Lake City, Utah, USA, 2012, Book of abstracts, p. 50.
4. **Ivana Jevremović**, Vesna Mišković-Stanković, Srdan Nešić, "The electrochemical and surface characteristics of ethanolamine as nanostructured corrosion inhibitor", Second International Workshop on Characterization, properties and applications of Nanostructured Ceramics, Polymers, and Composites, Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, 2011, Serbia, Book of abstracts, P10, p. 40.
5. **Ivana Jevremović**, Vesna Misković-Stanković, Mohsen Achour, David Blumer, Thomas Baugh, Marc Singer, Srdjan Nešić, "Evaluation of TOFA/DETA imidazoline as corrosion inhibitor for top of the line corrosion (TLC) of mild steel in CO₂ environment", 10th Young Researchers' Conference – Materials Science and Engineering, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2011, Serbia, Book of abstracts, V/I, p. 19.
6. **Ivana Jevremović**, Vesna Mišković-Stanković, Aleksandra Debeljković, Mohsen Achour, Marc Singer, Srdan Nešić, "The Efficiency of Dicyclohexylamine and Oleylamine as Inhibitor for Carbon Dioxide Corrosion", Research in Progress (RIP),

NACE International Conference, CORROSION/2012, Salt Lake City, Utah, USA, 2012, Book of abstracts, p.(1-4).

7. **Ivana Jevremović**, Marc Singer, Srđan Nešić, Vesna Mišković-Stanković “Characterization of organic inhibitor for corrosion of mild steel in 3 wt. % NaCl solution saturated with CO₂“, 11th Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2012, Serbia, Book of abstracts, TM13, p. 55.
8. **Ivana Jevremović**, Marc Singer, Srđan Nešić, Vesna Mišković-Stanković, „Evaluation of the performance of corrosion inhibitor for mild steel in CO₂ containing NaCl solution“, Fourth Regional Symposium on Electrochemistry of South-East Europe (RSE-SEE), Student Symposium RSE-SEE, Ljubljana, Slovenia, 2013, Book of abstracts, p. 125.
9. **Ivana Jevremović**, Fernando Farelas, Marc Singer, Srđan Nešić, Vesna Mišković-Stanković, “ Use of Quartz Crystal Microbalance (QCM) Measurements to Investigate Novel Top-of-the-Line Corrosion (TLC) Mitigation Method“, 12th Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2013, Serbia, Book of abstracts, VII/6, p. 29.
10. **Ivana Jevremović**, Marc Singer, Srdjan Nešić, Vesna Mišković-Stanković, “Talloil diethylenetriamine imidazoline as a corrosion inhibitor for mild steel in chloride solution saturated with carbon dioxide“, 16th Annual Conference YUCOMAT 2014, Herceg Novi, Montenegro, 2014, Book of abstracts, P.S.A.9, p. 63.
11. **Ivana Jevremović**, Marc Singer, Srdjan Nešić, Vesna Mišković-Stanković, “Electrochemical and thermodynamic investigation of talloil diethylenetriamine imidazoline as corrosion inhibitor for carbon dioxide corrosion of mild steel“, Thirteenth Young Researchers' Conference: Materials Science and Engineering, Belgrade, Serbia, 2014, Book of Abstracts, VII/2, p. 24.

NAUČNI RADOVI OBJAVLJENI U ČASOPISIMA NACIONALNOG ZNAČAJA – M50

Rad u vodećem časopisu nacionalnog značaja – M51

1. **Ivana Jevremović**, Vesna Misković-Stanković, “The Inhibitive effect of ethanolamine on corrosion behavior of aluminium in NaCl solution saturated with CO₂“, *Metall. Mater. Eng.* **18** (4) (2012) p. 241-257, ISSN: 0354-6306.

ZBORNICI SKUPOVA NACIONALNOG ZNAČAJA – M60

Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu – M64

1. **Ivana Jevremović**, Marc Singer, Mohsen Achour, David Blumer, Thomas Baugh, Vesna Mišković-Stanković, Srđan Nešić, „Nova metoda nanošenja inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougljeničnog čelika u uslovima kondenzacije u CO₂ sredini“, L Savetovanje Srpskog hemijskog društva, Beograd, 2012, Knjiga apstrakta, str. 29.
2. **Ivana Jevremović**, Marc Singer, Srdjan Nešić, Vesna Mišković-Stanković, “ Primena organskog inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougljeničnog čelika u CO₂ sredini“, Prva konferencija mladih hemičara Srbije, Beograd, 2012, Kratki izvodi radova (CD Rom), NM P05, str. 93.

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

5.1. Kratak osvrt na disertaciju u celini

Na osnovu svega napred iznetog, Komisija smatra da doktorska disertacija kandidata Ivane Jevremović, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „**Primena organskih inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂**“ predstavlja značajan i originalni naučni doprinos u oblasti Tehnološko inženjerstvo, što je potvrđeno radovima objavljenim u časopisima međunarodnog značaja. Predmet i ciljevi istraživanja su jasno navedeni i ostvareni. Komisija, takođe, smatra da doktorska disertacija pod nazivom „**Primena organskih inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂**“ u potpunosti ispunjava sve zahtevane kriterijume. Kandidat je ispoljio naučno-istraživačku sposobnost i samostalnost u svim fazama izrade ove disertacije.

5.2. Predlog komisije Nastavno-naučnom veću

Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću TMF-a da prihvati ovaj Izveštaj i da ga zajedno sa podnetom disertacijom Ivane Jevremović, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „**Primena organskih inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂**“ izloži na uvid javnosti u zakonski predviđenom roku i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu, kao i da nakon završetka procedure, pozove kandidata na usmenu odbranu disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

U Beogradu, 10. marta 2015.

ČLANOVI KOMISIJE

Prof. dr Vesna Mišković-Stanković, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Prof. dr Srđan Nešić, redovni profesor
Ohajo Univerzitet, Ohajo, SAD

Prof. dr Nedeljko Krstajić, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Prof. dr Jelena Bajat, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet