

METODOLOŠKI PRISTUP UTVRĐIVANJU I KVANTIFIKACIJI KOROZIONIH OŠTEĆENJA ZAŠTITNIH ČELIČNIH CEVI U NAFTNOJ INDUSTRIJI

METHODICAL APPROACH TO IDENTIFICATION AND QUANTIFICATION OF CORROSION DAMAGES OF CORROSION THE CASING STEEL TUBES IN PETROLEUM INDUSTRY

V.Aleksić

Institut za ispitivanje materijala IMS, Beograd, Srbija

Izvod

U radu je dat metodološki pristup utvrđivanju i kvantifikaciji intenziteta korozionih oštećenja zaštitnih čeličnih cevi koje se koriste za zacevljenje bušotina u naftnoj industriji, kao i prikaz mogućih oštećenja i posledica izazvanih korozijom sa primerima iz prakse. Takođe, razmotrena je i mogućnost preduzimanja mera da se takve pojave preventivno spreče.

Ključne riječi: koroziono oštećenje, zaštitna čelična cev

Abstract

Methodological approach of identification and quantification of corrosion damages of the steel tubes which use for casing the well in petroleum industry are presented in the paper. A description and consequence of steel corrosion of casing steel tubes with examples from experience were also analyzed. Initiate steps with the aim to prevent these phenomena are considered.

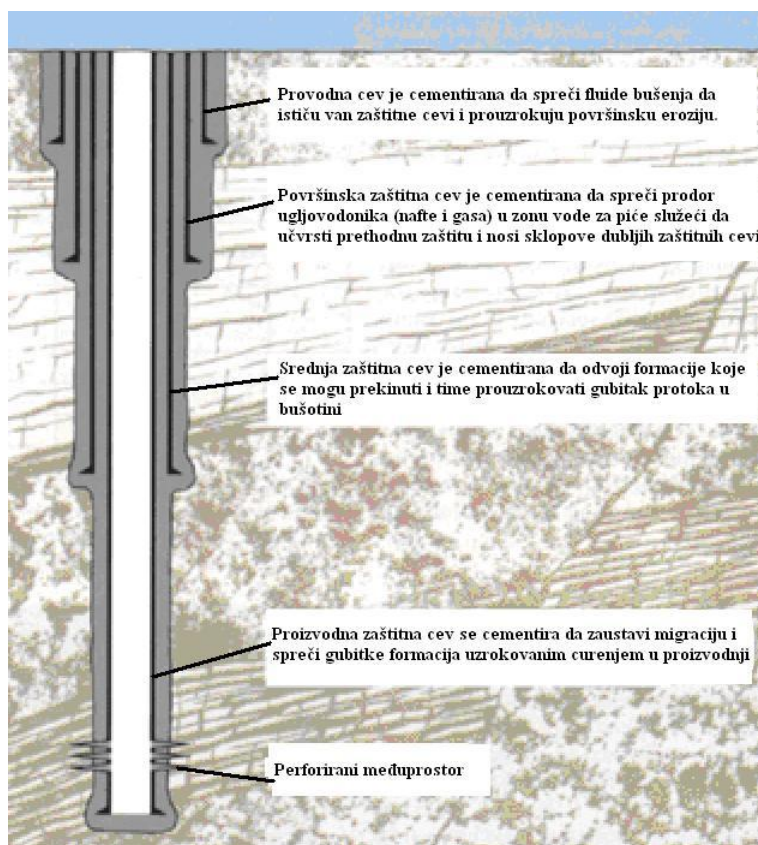
Key words: corrosion damage, casing steel tube

1. UVOD

Zaštitne čelične cevi za zacevljenje bušotina u naftnoj industriji rade u korozionoj atmosferi u sprezi visokih pritisaka i temperature. To je razlog zašto su zaštitne cevi veoma podložne degradaciji materijala. Prema učestalosti nastajanja havarija, odnosno oštećenja, a utvrđivanjem stanja, uzroci degradacija su zamor materijala, krti lom, korozija i erozija materijala. Takvim pojavama prethode najčešće: greške u projektovanju i kostruisanju, greške u proizvodnji i montaži, nepredviđeni uslovi eksploatacije i uslovi radne sredine. Sve greške, bilo da su ugrađene ili nastale pri eksploataciji, potrebno je ispitivanjem registrovati i kontrolisati u određenom vremenskom razdoblju, čime se dobija realan uvid u moguće napredovanje oštećenja, a što direktno utiče na smanjenje broja havarija i na planiranje zastoja postrojenja, a samim tim i na značajno sniženje ukupnih troškova.

2. KONSTRUKCIJA ZACEVLJENJA BUŠOTINA

Poslednjih nekoliko godina u svetu je razvijen određeni sistem zacevljenja za bušotine takvih karakteristika koje su u funkciji maksimalne sigurnosti. To zahteva odgovarajući broj zaštitnih kolona. U svetu na ležištima za dubine 3000 - 8000 m, bez obzira na dubinu ugrađuju se najmanje dve tehničke kolone, a za veće dubine kolone u kombinaciji prečnika. Prva tehnička kolona je gotovo uvek prečnika 339,7mm (13 3/8") ili 406,4 mm (16"), a druga u većini slučajeva prečnika 244,5mm (9 5/8") ili 273,0 mm (10 3/4"). Za proizvodnu kolonu koriste se cevi prečnika 193,7 mm (7 5/8"), 177,8 mm (7"), 139,7 mm (5 1/2"), 127,0 mm (5") ili kombinacije ovih cevi. Lajneri se upotrebljavaju samo u slučajevima složenih uslova kod bušenja. Proizvodna kolona se izvodi lajnerom samo u slučaju velike dubine, tj. težine kolone. Obično se donji deo kolone ugrađuje kao lajner, dok se gornji deo priključuje sistemom «tieback». Za veće proizvodnje postoje i druge manje uobičajene konstrukcije bušotina, a kao ilustracija na sl.1 prikazano je zacevljenje i uloga cementacija kod duboke istražno-proizvodne bušotine.



Slika 1. Primer zacevljenja i uloga cementacije kod duboke istražno – proizvodne bušotine /1/

3. KARAKTERISTIKE KOROZIVNE SREDINE U BUŠOTINI

Da bi se pravilno i u potpunosti sagledao složeni mehanizam korozivnog delovanja smeše proizvodnog fluida iz ležišta, treba uzeti u obzir sve faktore koji utiču na razvoj i delovanje korozije, uzrokovane prisustvom karbonata, vodonik-sulfida, hlorida i žive u vodenoj sredini.

Uticaj ugljen-dioksida na pojavu i razvoj korozije

Topljivost ugljen-dioksida u vodi povećava visoki parcijalni pritisak. Pri tome se stvara karbonatna kiselina, koja u reakciji sa železom stvara železo karbonat. Iskustveno se uzima da iznad parcijalnog pritiska od 0,2 MPa, karbonatna kiselina postaje korozivna. Najčešći oblici korozivnog oštećenja usled delovanja CO₂ na metal su tačkasta korozija (pitting) i opšta korozija praćena gubitkom metala.

Opšta i lokalna (tačkasta) korozija

Ovo je elektrohemijaska korozija, čiji se proizvod, železo-sulfid, taloži na površini metala u obliku crnog taloga i postaje katoda u odnosu na nekorodirani materijal, koji je kao anoda izložen koroziji. Korozija nastupa kada je parcijalni pritisak vodonik-sulfida veći od 1,0 kPa. Tačkasta korozija nastaje na vrlo malom delu površine materijala. Uprkos neznatnom gubiku materijala, može predstavljati značajnu opasnost zbog velike dubine prodiranja.

Naponska korozija

Prsline usled naponske korozije (Stress Corrosion Cracking, SCC, ili Sulfide Stress Cracking, SSC), javljaju se na određenim materijalima zbog istovremenog hemijskog delovanja sulfidne sredine i mehaničkog naprezanja. Ova vrsta oštećenja posredno je prouzrokovana prodiranjem atomarnog vodonika u strukturu legure, rekombinacijom atomarnog u molekularni vodonik, što dovodi do pucanja metala kod relativno niskih naprezanja, a pojava je poznata pod nazivom vodonična krtosti (Hydrogen Embrittlement, HE). Vodoničnoj krtosti ne podležu ugljenični i niskolegirani čelici, osim ako im tvrdoća prelazi 22 HRc. Čvršći materijali znatno su neoporniji na ovaj tip korozije. NACE-standardi daju granicu od 0,34 kPa parcijalnog pritiska za slučaj naponske korozije i razaranja metala vodonikom. Ove dve vrste korozije isti standard tretira jedinstveno, kao "Sulfide Stress Corrosion Cracking", SSCC /2, 3/.

Korozija usled prisustva hlorida

Ovaj korozioni proces odnosi se na delovanje slanah (vodenih) rastvora, naročito pri povišenim temperaturama. U tu grupu pojava spada interkristalna korozija pod naponom usled delovanja hlorida (Chloride Stress Corrosion Cracking, CSCC). Oštećenje, prouzrokovano prisutnošću hlorida Cl⁻ iz slanah i kiselih rastvora (pH<4), posebno je izraženo na materijalima izloženim temperaturama većim od 338 K (64.85 °C). Srž ovog elektrohemijskog procesa je anodno otapanje zbog razlike potencijala. Interkristalna korozija se odvija i bez naprezanja, ali je uslovljena prisustvom hlorida. To oštećenje se pojavljuje na nizu materijala, od niskolegiranih do visokolegiranih čelika. Suprotno koroziji pod naprežanjem usled sulfida (SSCC), korozija usled hlorida (CSCC) ne uključuje pojavu vodonikove krtosti.

Korozija usled prisustva žive

Prisustvo tečne žive izaziva smanjenje čvrstoće i pucanje metala, čak i uz vrlo slabo naprezanje. Mehanizam ovog tipa korozije malo je poznat, ali ne zavisi direktno o postojanju vodene faze.

Visokolegirani čelici su prilično otporni na lom usled delovanja žive, dok je dokazana lomljivost običnih i niskolegiranih čelika.

4. KARAKTERISTIKE MATERIJALA CEVI ZA ZACEVLJENJE BUŠOTINA

Za izradu zacevljenja bušotine (kolone) koriste se cevi odgovarajućeg prečnika i debljine zida takvog kvaliteta koji u najvećoj meri može da odgovori složenim uslovima delovanja korozije, visoke temperature i pritiska u bušotini. Cevi se međusobno spajaju spojnicama. U zadnjih deset godina zbog naraslih potreba znatno se proširio izbor materijala za zacevljenje i opremanje vrlo dubokih bušotina za rad u ekstremno korozionoj sredini. Za naše prilike interesantni su materijali prema standardima API/5CT čije su karakteristike prikazane u tabelama 1 i 2. Ugljenični i niskolegirani čelici su po pravilu podložni opštoj i tačkastoj koroziji, pa se obično ne preporučuju za upotrebu u struji gasa koji sadrži veće količine ugljen dioksida i hlorida uz prisustvo vode. Njihova upotreba u takvim uslovima zahteva inhibiranje. Legirani čelici upotrebljavani su vrlo često za ulazne cevi i erupcione uređaje (osim nekih delova u erupcionom uređaju). Mnogo su ispitivani i oko njihove otpornosti postoje mnoge protivrečnosti.

U praksi i u laboratorijskim uslovima donekle je definisana njihova podobnost za upotrebu u bušotinama sa sadržajem sumporvodonika, ugljendioksida i hlorida. Granica za upotrebu u uslovima pojave ugljendioksida je oko 30×10^5 Pa parcijalnog pritiska i temperature 120 °C. Iznad ovih granica, a naročito iznad 50×10^5 Pa parcijalnog pritiska otpornost na koroziju opada. Granična čvrstoća ovih materijala je 55,2 daN/mm².

Iznad ove čvrstoće ne može se postići tvrdoća 22 HRc koja je uslov za upotrebu u uslovima pojave sumporvodonika prema preporuci NACE standarda. Visoko legirani čelici austenitne strukture odgovaraju za rad u uslovima s visokim sadržajem sumporvodonika (H₂S). Zbog visokog sadržaja hroma odgovaraju i za rad u uslovima s visokim sadržajem ugljen dioksida. Ne odgovaraju za rad kada se u zemnom gasu pojavljuje veći sadržaj hlorida jer austenitna struktura nije otporna na hloride.

Tabela 1. Hemijske karakteristike čelika za izradu cevi za zacevljenje prema standardima API/5CT

Grupa	Kvalitet	Tip	C		Mn		Mo		Cr		Ni	Cu	P	S	Si
			Min	max	min	max	min	max	min	max	max	max	max	max	Max
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	H40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030	0,030	-
	J55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030	0,030	-
	K55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030	0,030	-
	N80	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030	0,030	-
	N80	Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030	0,030	-
2	M65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030	0,030	-
	L80	1	-	0,43	-	1,90	-	-	-	-	0,25	0,35	0,030	0,030	0,45
	L80	9Cr	-	0,15	0,30	0,60	0,90	1,10	8,00	10,0	0,50	0,25	0,020	0,010	1,00
	L80	13Cr	0,15	0,22	0,25	1,00	-	-	12,0	14,0	0,50	0,25	0,020	0,010	1,00
	C90	1	-	0,35	-	1,00	0,25	0,75	-	1,20	0,99	-	0,020	0,010	-
	C90	2	-	0,50	-	1,90	-	NL	-	NL	0,99	-	0,030	0,010	-
	C95	-	-	0,45	-	1,90	-	-	-	-	-	-	0,030	0,030	0,45
	T95	1	-	0,35	-	1,20	0,25	0,85	0,40	1,50	0,99	-	0,020	0,010	-
	T95	2	-	0,50	-	1,90	-	-	-	-	0,99	-	0,030	0,010	-
	3	P110	e	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030	0,030	-
4	Q125	1	-	0,35	-	1,00	-	0,75	-	1,20	0,99	-	0,020	0,010	-
	Q125	2	-	0,35	-	1,00	-	NL	-	NL	0,99	-	0,020	0,020	-
	Q125	3	-	0,50	-	1,90	-	NL	-	NL	0,99	-	0,030	0,010	-
	Q125	4	-	0,50	-	1,90	-	NL	-	NL	0,99	-	0,030	0,020	-

Tabela 2. Mehaničke karakteristike čelika za izradu cevi za zacevljenje prema standardima API/5CT

Grupa	Kvalitet	Tip	Ukupno izduženje %	Granica elastičnosti		Zatezna čvrstoća MPa	Tvrdoća		Određana debljina zida Mm
				min	max		HRC	HBW/HS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	H40	-	0,5	276	552	414	-	-	-
	J55	-	0,5	379	552	517	-	-	-
	K55	-	0,5	379	552	655	-	-	-
	N80	1	0,5	552	758	689	-	-	-
	N80	Q	0,5	552	758	689	-	-	-
2	M65	-	0,5	448	586	586	22	235	-
	L80	1	0,5	552	655	655	23	241	-
	L80	9Cr	0,5	552	655	655	23	241	-
	L80	13Cr	0,5	552	655	655	23	241	-
	C90	i12	0,5	621	724	689	25,4	255	<12,70
	C90	i12	0,5	621	724	689	25,4	255	12,71do19,04
	C90	i12	0,5	621	724	689	25,4	255	19,05do25,39
	C90	i12	0,5	621	724	689	25,4	255	>25,40
	C95	-	0,5	655	758	724	-	-	-
	T95	i12	0,5	655	758	724	25,4	255	<12,70
	T95	i12	0,5	655	758	724	25,4	255	12,71do19,04
	T95	i12	0,5	655	758	724	25,4	255	19,05do25,39
	T95	i12	0,5	655	758	724	25,4	255	>25,40
3	P110	-	0,6	758	965	862	-	-	-
4	Q125	AII	0,65	862	1034	931	-	-	<12,70
	Q125	AII	0,65	862	1034	931	-	-	12,71do19,04
	Q125	AII	0,65	862	1034	931	-	-	>19,05

Austenitna struktura podložna je interkristalnoj koroziji koju uzrokuju hloridi, pa može doći do iznenadnog loma, kao da se radi o delovanju sumporvodonika (Chloride Stress Corrosion – CSC.) Elastična čvrstoća ovakvih čelika relativno je mala. Njihova tvrdoća može biti 22 HRC ili ispod te vrednosti. Visokolegirani čelici austenitno feritne strukture („duplex,“) se sastoje od približno jednakih delova austenita i ferita. Austenit je materijal koji je otporan na SSC (Sulfide Stress Cracking) koroziju, ali je zato podložan koroziji koja nastaje delovanjem hlorida. Iz tih razloga se metalurški stvara i delimično feritna struktura koja je otporna na hloride (feritna struktura nije

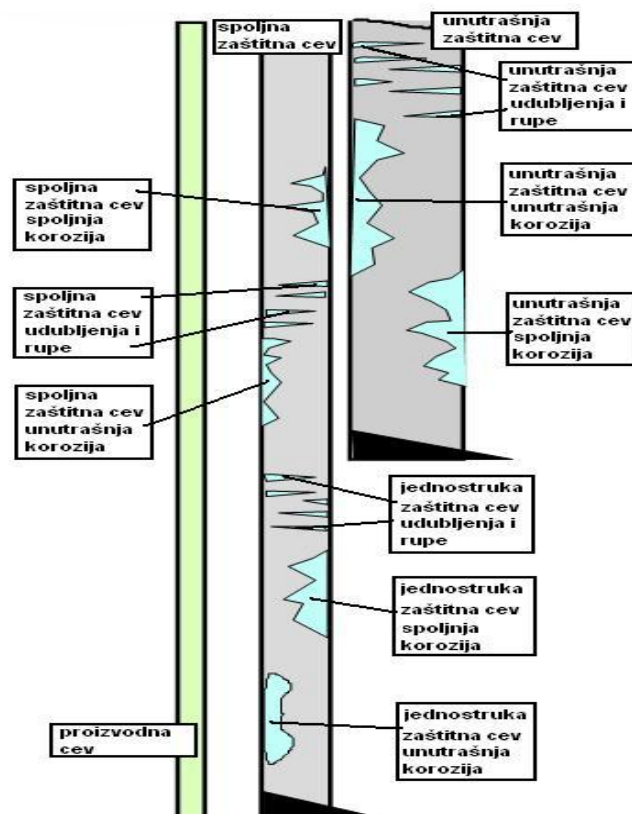
otporna na H₂S). Eksperimenti s ovim materijalom pokazali su da je on otporan do parcijalnog pritiska H₂S -0,1x10⁵ Pa. Eksperimenti su rađeni takođe do 70x10⁵ Pa parcijalnog pritiska CO₂ (opšta korozija) i rezultati su bili dobri. Čvrstoća se postiže hladnom metalurškom obradom. Pri tome se dobija elastična čvrstoća do 96,5 daN/mm². Ovakav postupak nije predviđen standardom NACE MR-01-75 i njegovom poslednjom revizijom. Vrlo verovatno, da ga zbog hladne obrade NACE standard ne priznaje, pa i proizvođači ograničavaju njegovu upotrebu za male parcijalne pritiske H₂S. Zahtev za upotrebu u uslovima prisutnosti sumporvodonika (H₂S) u zemnom gasu je stepen tvrdoće. Tvrdoća za ugljenične i legirane čelike ne sme prelaziti 22-23 HRc. Niskolegirani čelici (Mo, Cr) smeju imati tvrdoću do 26 HRc po standardu NACE. Austenitnim materijalima stepen tvrdoće je takođe ograničen na 22 HRc. Glavni sastojak legure raznih materijala u kojima čelik nije glavni sastojak je Ni. Ostali glavni sastojci su Cr do oko 23%, pa zatim Mo do 18%. Co se dodaje u različitoj vrednosti gotovo svakoj leguri u zavisnosti od sadržaja Ni; zajednički sadržaj mora biti iznad 45 – 50%. Ovo je potrebno da bi se postigla otpornost protiv hlorida (naročito iznad 65 °C). Sadržaj Ni od 1 – 45% je područje u kome hloridi razaraju ne železne legure. Ispod 1% i iznad 45% Ni, legure postaju otporne protiv hlorida. Sadržaj Ni se penje čak do 60%, ali se postiže verovatno ista svrha ako je ukupni sadržaj Ni i Co iznad 45%. Mo mora biti zastupljen u sadržaju legure s najmanje 10% da bi se izbegla opasnost tačkaste korozije. Visok sadržaj Cr osigurava leguru protiv opšte korozije izazvane visokim sadržajem ugljendioksida i sumporvodonika. Svrha ovih legura je da se postigne maksimalna otpornost na sve uslove korozije kao i velika elastična čvrstoća. To se uglavnom uspešno. Ove legure odolevaju najtežim uslovima korozije, a poseduje veliku elastičnu čvrstoću. Međutim, ove legure mogu postati nakon dugog rada osetljive u temperaturnom području iznad 190 °C kod niske pH vrednosti, pa može doći do loma. Ovo još nije tačno razjašnjeno pa se sada intenzivno rade laboratorijska ispitivanja. Prema NACE standardu ove legure mogu imati tvrdoću do 35 HRc. Međutim proizvođači ih proizvode u različitim tvrdoćama. Za svaku od ovih legura standard NACE propisuju metaluršku obradu. Materijali se svrstavaju u klase i prema elastičnoj čvrstoći. Minimalna elastična čvrstoća koja se navodi u dokumentaciji proizvođača označava donju granicu elastične čvrstoće. Raspon za svaku klasu materijala obično je oko 10,3 daN/mm², što znači da je gornja granica za tu vrednost veća. Sigurnosni faktor koji se odnosi na čvrstoću zaštitnih i ulaznih cevi za uslove visokog pritiska, temperature, kao i agresivnih sastojaka zemnog gasa, predmet je svestranog interesa zbog svoje velike važnosti. U studiji preduzeća iz SAD i Evrope uobičajni koeficijenti sigurnosti za bušotine navedeni su u tabeli 3.

Tabela 3. Vrednosti koeficijenata sigurnosti za bušotine

Firma		SIGURNOSNI FAKTOR		
		Zatezna naprezanja	Unutrašnja naprezanja	Spoljašnja naprezanja
C.T.C. (Houston) navedeni su za SAD	Proizvodne i zaštitne cevi	1,6 – 1,8	1,2 - 1,3	1,125 - 1,4
Preduzeće „Grant,,	Proizvodne cevi	1,6	1,0	1,125
	Zaštitne cevi	1,8	1,0	1,125
U Evropi preduzeće OeMV (Austrija)	Proizvodne i zaštitne cevi	1,6 – 1,7	1,2 - 1,3	1,4 - 1,6

5. KOROZIJA ČELIČNIH ELEMENATA ZACEVLJENIH BUŠOTINA

U praksi se dešava da cev ugrađena u bušotinu korodira mestimično ili ravnomerno smanjujući poprečni presek, a time i nosivost zacevljenja, što u težim slučajevima može dovesti do katastrofalnog loma koji obično rezultira velikim materijalnim štetama, a ponekad i ugrožavanjem ljudskih života. Napad korozije može da dovede do značajnog smanjenja mehaničkih osobina čelika što može pod nepovoljnim uslovima predstavljati uvod u lom čeličnih elemenata i to brže ukoliko su naprezanja veća. Lom čeličnih elemenata bušotina može biti izazvan i ubrzan sledećim vrstama korozije: rupičastom, interkristalnom naponskom korozijom i vodoničnom krtošću. Na slici 2 prikazana su mesta mogućeg pojavljivanja korozije u naftnoj bušotini.



Slika 2. Mesta pojavljivanja korozije u bušotini /4/

Oštećenja se mogu razvrstati u tri kategorije. Prva kategorija su oštećenja koja direktno utiču na nosivost i stabilnost bušotine u celini, a to su:

- oštećenja čiji je obim takav da je nosivost preseka umanjena a time ugrožena bušotina u celini i
- oštećenja čiji obim ne ukazuje na smanjenu nosivost preseka ali je progresija znatna i ubrzana pa će se u dogledno vreme dogoditi.

U drugu kategoriju razvrstana su oštećenja i nedostaci na delovima bušotine koji direktno ne utiču na nosivost i stabilnost bušotine u celini, ali je funkcija tog elementa ugrožena a to su:

- oštećenja kod kojih stanje, konstatovano pregledom, ukazuje na umanjenu nosivost ili funkciju

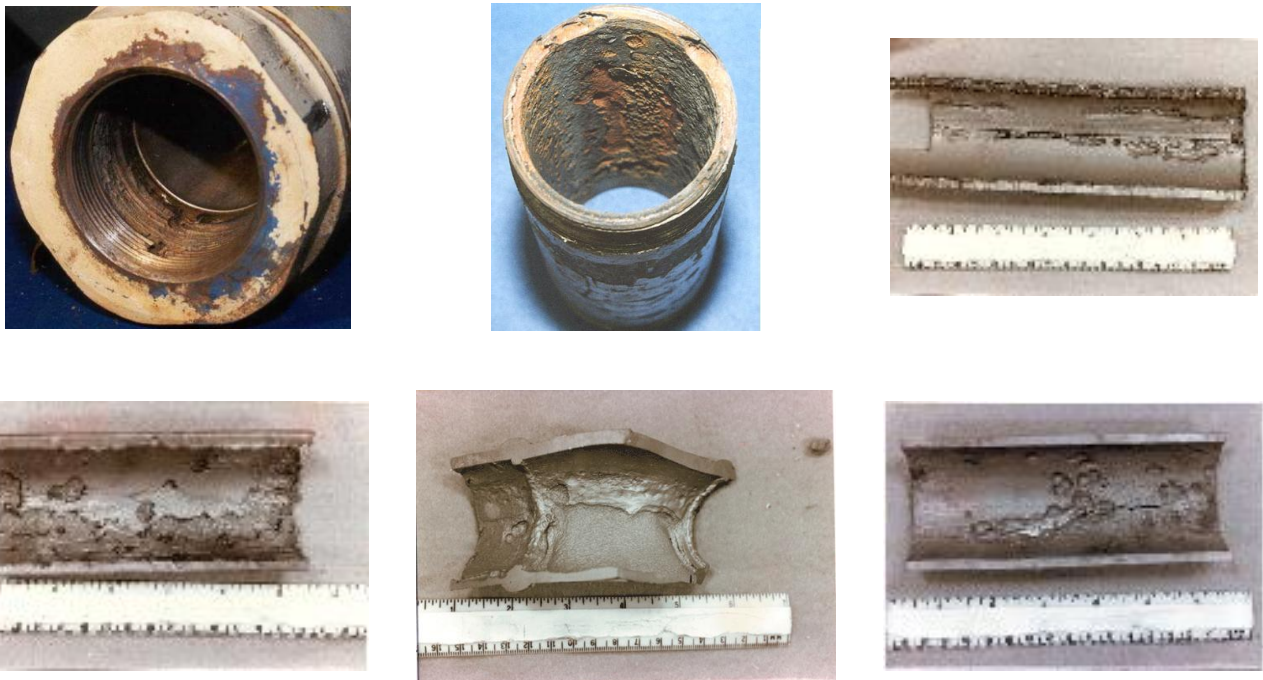
elementa i

- oštećenja kod kojih stanje, konstatovano pri pregledu, ne ukazuje na moguću umanjenu nosivost ili funkciju elementa, ali je progresija oštećenja znatna, pa će se u dogledno vreme dogoditi.

U treću kategorija oštećenja razvrstana su oštećenja i nedostaci na elementima koja direktno utiču na bezbednost učesnika u eksploataciji.

6. PRIMERI KOROZIJE CEVI U NAFTNIM BUŠOTINAMA

Čelične cevi u naftnim i gasnim bušotinama su kontinuirano izložene procesu korozije potpomognutom visokim pritiscima i temperaturi koji vladaju u unutrašnjosti bušotine. Primeri korozione degradacije cevi u naftnim i gasnim bušotinama prikazani su na fotografijama slike 2.



Slika 2. Primeri korozionog oštećenja cevi u naftnoj bušotini /5/

Koroziona oštećenja pri kojima je nosivost preseka umanjena, veoma ugrožavaju bušotinu u celini.

7. POSLEDICE KOROZIJE ZAŠTITNIH CEVI

Uprkos brojnim načinima zaštite korozija je neizbežna. Ona se može pojaviti u različitim oblicima kao što je opšta korozija sa jednakim gubitkom debljine zida ili piting korozija kojoj odgovara lokalno smanjenje debljine zida. To vodi pogoršanju nosivosti zaštitnih cevi, što može ugroziti proizvodnju, objekte (sredstva, uređaje), rezultirati štetnim uticajem na vodotokove i zagađenju podzemnih voda, kao i ugroziti ljudske živote. Direktni i indirektni troškovi izazvani korozijom su ogromni. Troškovi zamene zaštitnih cevi u 1946 godini od 535 dolara po bušotini narasli su do 250000 dolara u 1977 god /6/. Pretpostavlja se da preko 60% troškova održavanja su pripisani koroziji. SAD godišnje izdvaja 4.0 milijarde dolara /7/, od kojih se 320 miliona dolara

direktno odnosi na kontrolu korozije. Najznačajniji deo se koristi na koroziono otporne legure u donjim otvorima bušotine i opremu, a ostatak na galvanizaciju, premazivanje, inhibitore, legirane ventile (zasune, razvodnike, cevi itd).

8. MERE ZAŠTITE ZAŠTITNIH CEVI OD KOROZIJE

Iako je korozija pojava koju ne možemo odstraniti, njena brzina može biti kontrolisana. U nekim slučajevima to je moguće usporavajući proces korozije čak do zanemarljivih vrednosti. Iz prethodnog razmatranja opasnosti od korozije kojoj su izloženi čelični delovi bušotine usled dejstva raznih napadnih agenasa nameće se niz mera zaštite od korozije još u fazi gradnje, a postiže se upotrebom kvalitetnijih materijala otpornih na koroziju, katodnom zaštitom, upotrebom inhibitora. Da bi se izbegli nedostaci i obezbedio siguran rad koroziju treba detektovati, izmeriti i proceniti preostalu čvrstoću korodirane površine i na osnovu procene preduzeti odgovarajuće mere u cilju otklanjanja štetnih posledica i očuvanja životne okoline. Troškovi materijala čine samo mali procenat ukupnih troškova kod operacija ublažavanja korozije. Da bi bušotina trajala duže i rad bio ekonomičniji, zahteva se upotreba kvalitetnijeg materijala cevi za zacevljenje. Za bolju zaštitu od korozije upotrebljavaju se inhibitori. Oni se često zahtevaju kada vladaju strogi uslovi, posebno u dubokim bušotinama koje karakteriše visoka temperatura i značajne količine CO₂ i H₂S.

9. METODOLOŠKI PRISTUP PREGLEDU KOROZIJOM OŠTEĆENIH CEVI

Program za ispitivanje mora uključivati:

- svu potrebnu dokumentaciju o postrojenju, pouzdane šeme procesa i tehnološki opis rada uređaja, uključujući i podatke koji se odnose na eksploataciju (nepredvidivi zastoji, oštećenja, sanacije itd.);
- utvrđeni plan ispitivanja (opseg, kritična mesta, mesta uzorkovanja ...);
- metode za ispitivanje bez razaranja (izbor metoda, postupci i tehnike, nadzori, oprema, osoblje, dokumentacija);
- dimenzionisanje pronađene greške;
- karakterizaciju greške (metalurško ispitivanje);
- eventualnu sanaciju i njezinu tehnologiju;
- procenu i otklanjanje greške;
- zakonsku regulativu za vraćanje postrojenja u rad.

Bavljenje opisanom problematikom zahteva interdisciplinarno znanje iz različitih oblasti – hemije, mašinstva, fizike, metalurgije i tribologije. Jer samo organizovan i uređen pristup kao i razvijen smisao za timski rad daju zadovoljavajuće rezultate i pouzdane odgovore o funkcionalnosti i trajnosti bušotine.

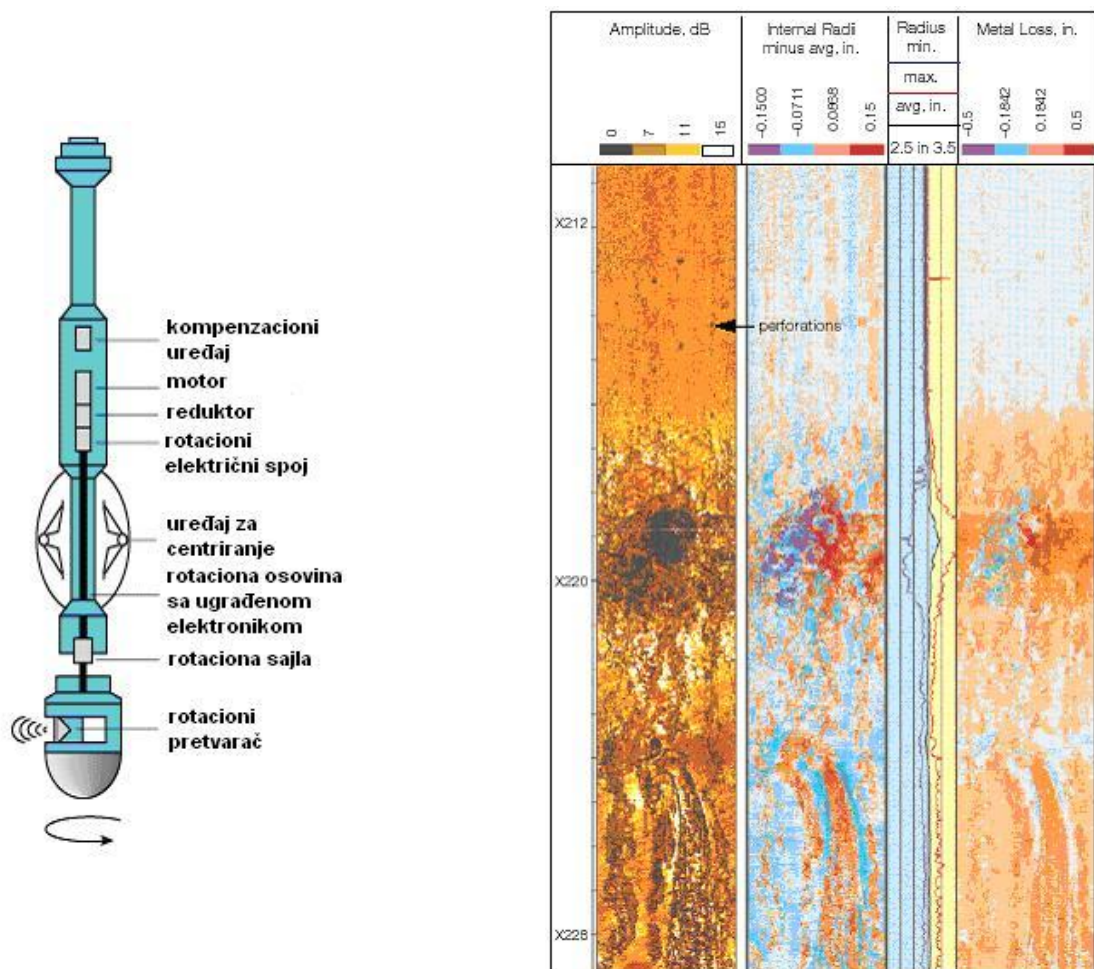
Uz razmatranje o proceni greške treba uzeti u obzir i osnovne podatke o osobinama materijala kao i informacije koje obuhvataju:

- Uticaj medija: sastav i nečistoće (specifikacija i količina), temperatura, pritisak, pH, brzina strujanja ili aeracije – procenjeni uticaj svakoga činioca.

- Primenu: funkcija, objekat, uticaj korozije na pouzdanost – naprezanja i naponska korozija, uticaj projekta na koroziju – projektna trajnost
- Iskustvo: ispitivanja na takvim i sličnim bušotinama, uticaj medija na materijal, ispitivanja provedena u svetu i objavljeni podaci.

10. PRAĆENJE I PROCENA KOROZIJE ZAŠTITNIH CEVI U EKSPLOATACIJI

Uz pravilno i blagovremeno održavanje potrebno je i praćenje (monitoring) korozionih procesa u toku eksploatacije. Ti procesi mogu se pratiti direktno ili indirektno. Direktnim praćenjem se kontroliše stanje površine čelika i agresivnost sredine koja okružuje čeličnu konstrukciju zacevljenja. Indirektno praćenje podrazumeva merenje korozionog dejstva na kuponima napravljenim od iste vrste materijala kao i čelična konstrukcija zacevljenja. Još pri izradi bušotine potrebno je ugraditi senzore i merne trake, za praćenje promene agresivnosti sredine, napona i izduženja odgovornih nosećih delova zacevljenja, koji bi bili u sprezi sa računom na kome bi se obrađivale dobijene informacije i donosile odgovarajuće odluke. Monitoring je u svetu veoma prisutan, naročito kod praćenja ponašanja dinamički opterećenih konstrukcija, kao što su bušaće cevi, koje rade u agresivnim sredinama kakve pružaju duboke bušotine. Vrednost ugrađene opreme za praćenje je zanemarljiva u odnosu na vrednost bušotine u eksploataciji ili vrednost preduzete sanacije posle niza godina neodgovarajućeg održavanja. Najveći broj korozionih mehanizama i posledica štete na metalu mogu se predvideti na osnovu korozione sredine. Ipak, neke od njih je teško otkriti, a mogu prouzrokovati ozbiljna oštećenja za veoma kratko vreme. Zbog toga se zahteva stalni nadzor korozije. Postoje različite tehnike koje mogu izmeriti dimenzije greške upotrebom akustičnih, električnih ili mehaničkih metoda. Ultrazvučna metoda sa pripadajućim uređajima je trenutno najzastupljenija za kontrolu korozionih oštećenja na cevima bušotina. Karakterističan ultrazvučni uređaj za pregled korodirane cevi i njegov izveštaj prikazani su na slici 3. Izveštaj pokazuje veliki rupu u sredini, male rupice iznad i neka koroziona oštećenja u donjem delu.



a) uređaji za ultrazvučni pregled /8/

b) primeri izveštaja ultrazvučnog pregleda /9/

Slika 3. Ultrazvučni uređaj

Postoje različite metode koje se upotrebljavaju za procenu preostale čvrstoće korodiranih cevi, a skoro sve imaju svoj začetak u standardu ASME B31.8, koji je razvijen 1955 za potrebe gasnih cevovoda. Neke od njih su veoma jednostavne i oslanjaju se samo na dužinu i dubinu greške, dok su druge mnogo komplikovanije, zasnovane na modeliranju metodom konačnih elemenata (MKE). Najpoznatije metode su ograničene na unutrašnji pritisak i unutrašnju koroziju, zato što su one preuzete od metoda koje se upotrebljavaju za transportne cevovode. Međutim, zaštitne i proizvodne cevi su izložene i uticaju spoljnog pritiska, podužnom i savojnom naponu kao i unutrašnjoj i spoljnoj koroziji, što ograničava primenu postojećih metoda za procenu preostale čvrstoće.

11. ZAKLJUČAK

Naftne bušotine u Republici Srbiji uglavnom rade duže od 20 godina pa su prešle “starosnu” granicu i projektovani vek trajanja. Naftna industrija ih se ne odriče i teži da one još ostanu u pogonu, odnosno da se ispitivanjima utvrdi stvarno stanje bušotina i planira dalji rad, odnosno zastoj radi sanacije, što nije jednostavan ni lak zadatak. Zamor i korozija materijala prisutni su na mnogim bušotinama i ustanovljeno je koroziono odnošenje materijala, odnosno veće ili manje

stanjenje debljine zida zaštitnih i proizvodnih cevi. Na nekima su pronađene i greške. Procena o greški, ostaviti je ili sanirati zahteva vrlo ozbiljan pristup. S obzirom da je zamor i korozija materijala nepovratan proces i da je sva oprema proizvedena šezdesetih godina, bez sadašnjih saznanja i prakse iz oblasti metalurgije i korozije, u vrlo lošem stanju potrebno je izvršiti stručnu procenu stanja takve opreme, a vezano sa uslovima eksploatacije, uz poseban naglasak na ISO-standarde 9001 do 9004 i sigurnost postrojenja, kao i pooštrene zakonske mere i propise radi zaštite korisnika i okoline. Pošto su ovo objekti klase I sva ispitivanja moraju izvoditi akreditovane organizacije sa odgovarajućim stručnim osobljem i adekvatnom opremom. Stručnom ocenom dobivenih rezultata trajnost i funkcionalnost opreme može se produžiti znatno iznad projektovanog radnog veka. Nepravilno održavanje naftnih i gasnih bušotina sa aspekta korozione zaštite za sobom povlači veoma skupe sanacije, pa s tim u vezi potrebno je veoma temeljno istražiti pitanja zaštite, trajnosti i održavanja bušotina, naročito čeličnih zaštitnih cevi i mogućnosti praćenja korozione agresije u eksploataciji. S tim u vezi potrebna je ocena stanja zaštitnih cevi ugroženih korozijom nakon dugotrajnog korišćenja, koju treba da prate određena ispitivanja metodama bez razaranja, da bi se utvrdio stvarni stepen oštećenja, a nakon toga preduzele odgovarajuće mere u funkciji sanacije kritičnih korozionih oštećenja.

LITERATURA

- [1] http://www.petroskills.com/matrix_wellconstruction.aspx, 10,2008.
- [2] Russell H. Jones: *Stress-Corrosion Cracking, Materials Performance & Evaluation*, Hardbound; Publisher: ASM; Publication Date: 1992.
- [3] Sreten Mladenović: *Korozija materijala*, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1990.
- [4] <http://earth.uni-muenster.de/earth/d/dokumente/schlumberger/English/Corrosion/>, 05.1999.
- [5] <http://octane.nmt.edu/waterquality/corrosion/corrosion.htm>, 01.2009.
- [6] Bradshaw, J.; *Production Cost Reduction Through Casing Corrosion Monitoring*, (SPE-Paper 7704), presented at the SPE of AIME Production Technology Symposium held in Hobbs, New Mexico, October 1978.
- [7] Buck, E., Maddux, G., L. Sullivan, R.; *Internal Corrosion Cost Impact Study .United States Natural Gas Exploration and Production Industry*, GRI-96/0056 document no. 96-146,. Gas Research Institute, Des Plaines, 1996.
- [8] Schlumberger; *Well Integrity*, www.schlumberger.com, May 2004.
- [9] Brondel, D. et al.; *Corrosion in the Oil Industry*, Oilfield Review, April 1994.