

Investiciono i tekuće održavanje sistema za transport sirove nafte cevovodom i skladištenje kao i transport euro dizela cevovodom i skladištenje

Željko Krivačević*, Dejan Grgić, Saša Stojanović, Aleksandar Pešić

Transnafta AD, Pančevo, Srbija

https://doi.org/10.65614/uisk_yucorr.2026.27.ch3

*Zeljko.Krivacevic@transnafta.rs

Izvod

Za potrebe snabdevanja rafinerije nafte Pančevo vrši se kontinualan transport sirove nafte naftovodom počevši od 1979 godine i danas kao i skladištenje sirove nafte kako za potrebe manipulacija tako i za državne obavezne rezerve. Transport i skladištenje euro dizela vrši se na drugoj lokaciji a u cilju državnih obaveznih rezervi i za potrebe ministarstva odbrane odnosno vojske srbije. Usled dugotrajnih procesa korišćenja sistema za transport i skladištenje jedan od najvažnijih faktora sigurnog, bezbednog i pouzdanog rada sistema zahteva adekvatan pristup investicionom i tekućem održavanju sa značajnim ulaganjima.

Uvod

Odlukom Vlade Republike Srbije, 01.10.2005. godine osnovano je JP "Transnafta" - javno preduzeće za transport nafte naftovodima i transport derivata nafte produktovodima sa sedištem u Pančevu.

Kvalitetno i pouzdano funkcionisanje cevovodnog transportnog sistema uključujući i rezervoarski prostor se može postići samo redovnim investicionim i tekućim održavanjem.

Transport sirove nafte naftovodom, vrši se od reke Dunav na granici sa Republikom Hrvatskom do Pančeva, u ukupnoj dužini od 153,4 km.

Trasa naftovoda Transnafta AD sastoji se od dve deonice :

- Deonica DN-01: Dunav – Terminal Novi Sad (dužine cca 63,4 km), prečnika Ø26“
- Deonica DN-02: Terminal Novi Sad – MS Pančevo (dužine cca 91 km), prečnika Ø18“

Pripadajuću infrastrukturu naftovoda čini:

- Terminal u Novom Sadu sa pumpnom stanicom,
- rezervoarski prostor za sirovu naftu ($2 \times 20.000 \text{ m}^3 + 4 \times 10.000 \text{ m}^3$),
- dispečerski centar (NUS),
- merna stanica u Pančevu,
- osam blok stanica duž trase naftovoda.

Proširenje delatnosti Transnafta AD (država je vlasnik 100% akcija) dešava se u vidu skladištenja sirove nafte i derivata nafte euro dizel.

Trenutni kapaciteti:

Sirova nafta: lokacija Terminal Novi Sad 80.000 m^3

Euro dizel: Skladište Ledinci 74.000 m^3

Opređenost saradnje prema kratkoročnim i dugoročnim planovima sa:

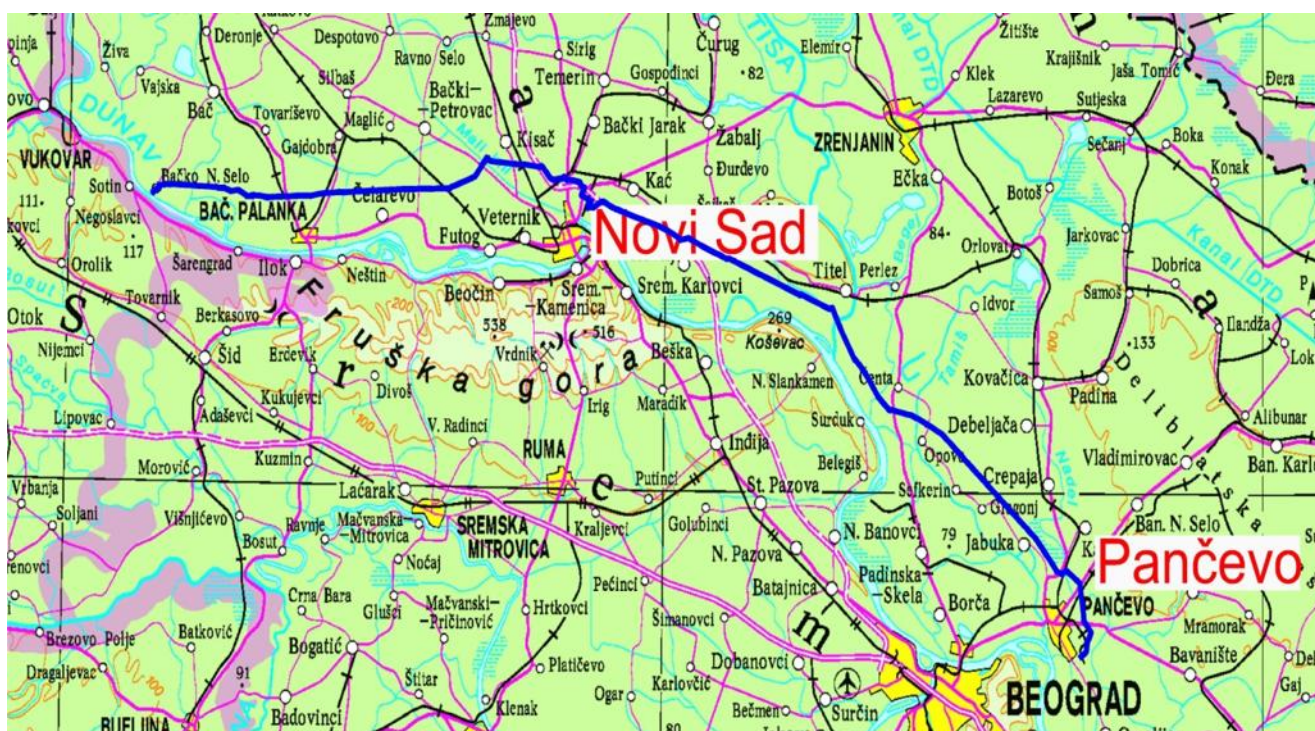
- Ministarstvo rudarstva i energetike – Uprava za rezerve energenata
- Ministarstvo trgovine – Republička direkcija za robne rezerve
- Ministarstvo odbrane



Pumpa za transport sirove nafte.



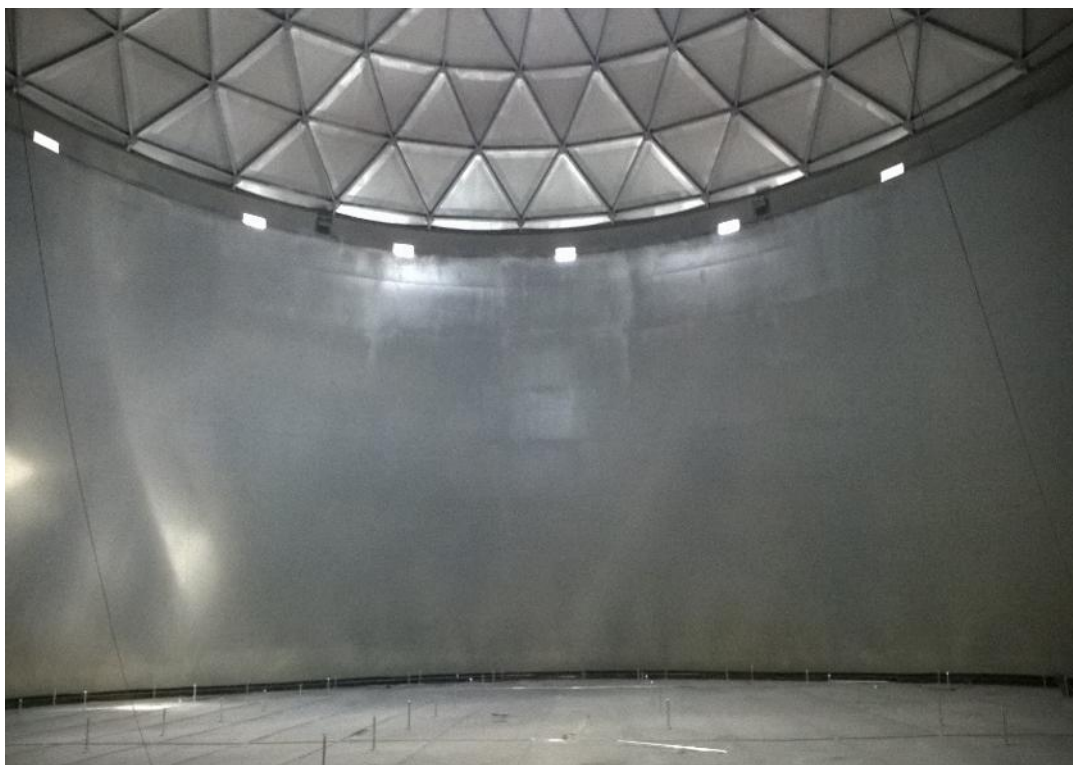
Rezervoari za skladištenje sirove nafte u betonskim tankvanama.



Trasa naftovoda za transport sirove nafte.



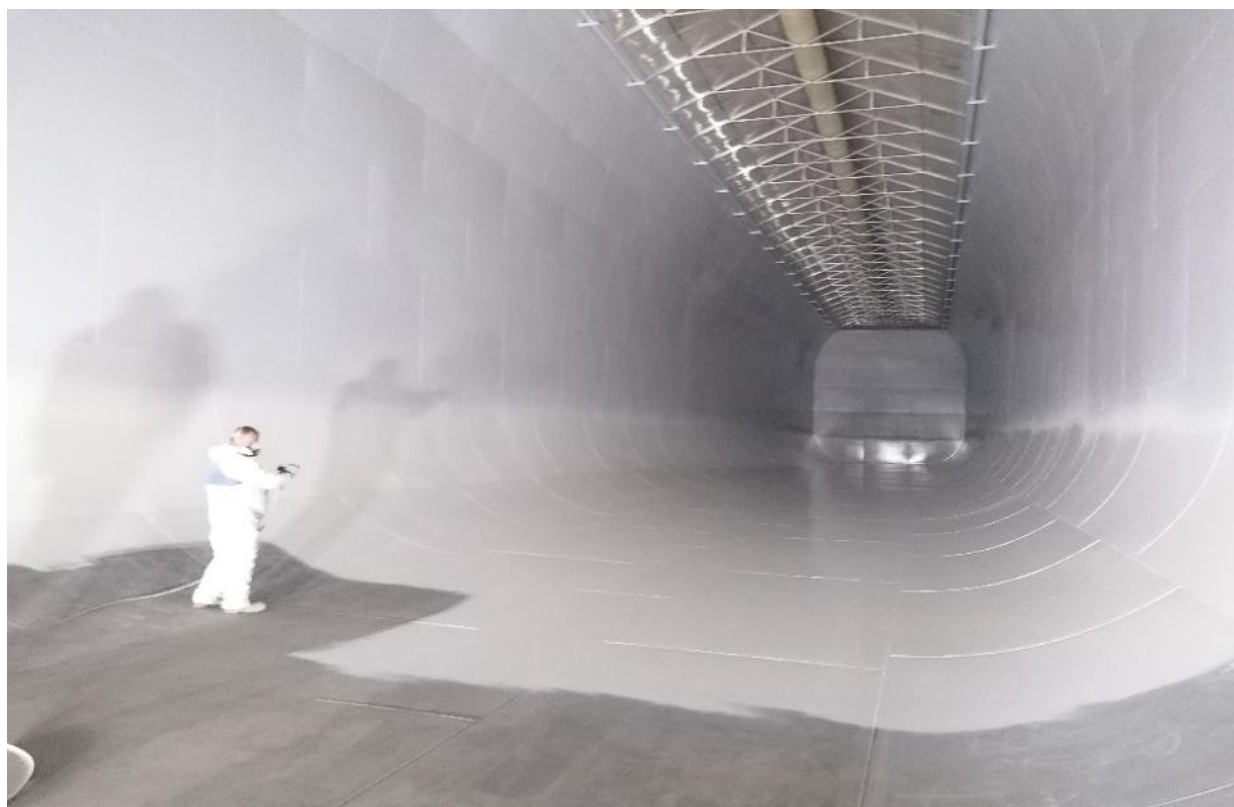
Rezervoar od 20.000 m³ za skladištenje sirove nafte.



Unutrašnjost rezervoara od 20.000 m³ za skladištenje sirove nafte.



Unutrašnjost rezervoara od 20.000 m³ za skladištenje sirove nafte – ispod plivajuće membrane.



Unutrašnjost rezervoara od 12.000 m³ za skladištenje euro dizela – u toku radova na AKZ.



Unutrašnjost rezervoara od 12.000 m³ za skladištenje euro dizela – radovi skidanja starog čeličnog lima.

Nakon dugogodišnjeg korišćenja sistema za transport sirove nafte, skladištenje sirove nafte i sistema za transport euro dizela i skladištenje euro dizela, investiciono i tekuće održavanje čini ključan parametar za siguran i bezbedan rad a zahteva značajna konstantna ulaganja.

Deo investicionog i tekućeg održavanja odnosi se i na razne vrste ispitivanja trenutnog stanja sistema na osnovu kojih se i donose odluke u dalja ulaganja.

Neka od značajnijih ispitivanja i odluka u ulaganja na osnovu istih su i: uticaj unutrašnje korozije čeličnih cevovoda i zamena starih sa novim, ispitivanje naftovoda sa inteligentnim kracerom sa MFL metodom i sanacija na osnovu izveštaja, ispitivanje čeličnog poda rezervoara sa MFL metodom i sanacija nakon rezultata ispitivanja, ispitivanje sferičnih čeličnih krovova rezervoara sa MFL i RMS metodom i sanacija i jedan deo primene zaštite čelične konstrukcije u vidu katodne zaštite (kako čeličnog poda rezervoara tako i na istom principu katodne zaštite ukopanih čeličnih cevovoda za transport sirove nafte i transport euro dizela).

Uticaj unutrašnje korozije čeličnih cevovoda za transport derivata nafte i zamena starih sa novim

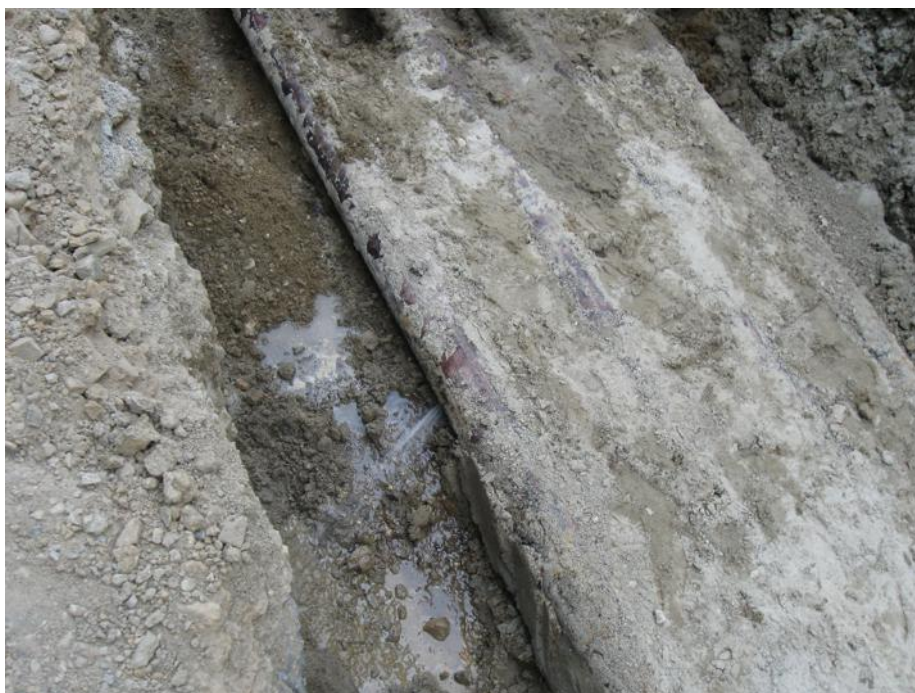
Podzemni čelični cevovodi za transport derivata nafte su dugo bili van upotrebe i bez ikakvog transporta derivata nafte, preko 25 godina (osim u dva navrata kada su izvršena hidrostatička ispitivanja sa vodom 2002. i 2008. godine) i sa delimičnim radom aktivne katodne zaštite nametnutom strujom. Za očekivati je bilo da je u ukopanim čeličnim (Č.1212) cevovodima dimenzija Ø168.3x4.5 mm, usled elektrohemijskih korozionih procesa došlo do nastanka i deponovanja intruzivnog materijala.



Unutrašnjost čeličnog cevovoda sa unutrašnjom korozijom.

Nakon preuzimanja skladišta za naftne derivate i transportnog sistema, od 2011 godine vršena su ispitivanja četiri cevovoda dužine od po 7 km u cilju otkrivanja eventualnih oštećenja i da se na osnovu rezultata ispitivanja izvrši potrebna sanacija. Dugotrajan proces *ispitivanja po deonicama od po 500m sa pritiskom vode na 50 bar, sanacija mesta otkrivenih perforacija (sečenjem delova čeličnih cevovoda i ugradnja novih komada), zatim ponovna ispitivanja nakon sanacija, završen je do 2015 godine kada je i izvršen prvi transport derivata nafte euro dizel kroz svaki od četiri cevovoda.

*Ispitivanjem hermetičnosti cevovoda vodom hidrostatičkim pritiskom ili podizanjem pritiska sa pumpom visokog pritiska, otkrilo se mnogo perforacija nastalih radom unutrašnje elektrohemijske korozije a kao rezultat ispitivanja je isticanje vode pod pritiskom na mestima perforacija.



Perforacija sa donje strane čeličnog cevovoda.

Takođe, rekonstruisan je i sistem aktivne katodne zaštite nametnutom strujom i držanjem podzemnih čeličnih cevovoda za transport derivata nafte konstatno na negativni potencijal od minus 850mV. Nakon sedam godina redovnog korišćenja i redovnog održavanja, dolazilo je u nekoliko navrata do popuštanja čelične konstrukcije podzemnih čeličnih cevovoda usled starosti i sa delimičnim izlivanjem derivata nafte u zemljište. Sva mesta oštećenja su bila van mesta koja su prethodnih godina sanirana. Vodeći računa o zaštiti životne sredine, stanovništva (od ukupno 7 km trase, 4 km trase četiri cevovoda prolazi kroz naseljeno mesto) doneta je odluka da se od postojeća četiri cevovoda dva zamene kompletno sa novim. Tokom 2022 godine izvršeni su radovi na ugradnji dva nova čelična cevovoda ukupne dužine 14km istog spoljašnjeg prečnika Ø168.3mm i njihovo puštanje u rad. Praktično, od 2011 godine do 2022 godine, na investiciono i tekuće održavanje 28 km podzemnih čeličnih cevovoda za transport derivata nafte uključujući i zamenu 14 km starih sa novim cevovodima, utrošeno je preko tri miliona eura.

Prethodni radovi i metode na utvrđivanju stanja ukopanih čeličnih cevovoda

Definisanje metodologije ispiranja i hermetičnog ispitivanja ukopanih čeličnih cevovoda za transport derivata nafte, i njenim sprovođenjem izvršilo se u cilju provere njihove funkcionalnosti u pogledu prohodnosti i hermetičnosti. Kontinualnim ispiranjem cevovoda vodom postiglo se spiranje i iznošenje svog nastalog i deponovanog materijala u njemu (korozione intruzije, zemlja, itd.), dok se ispitivanjem hermetičnosti cevovoda proverila nepropusnost cevovodne instalacije i njihove pripadajuće armature. Kako su predmetni cevovodi dugo bili van upotrebe, preko 25 godina (osim u dva navrata kada su izvršena hidrostatička ispitivanja sa vodom 2002. i 2008. godine) i sa delimičnim radom aktivne katodne zaštite nametnutom strujom, za očekivati je bilo da je u ukopanim čeličnim (Č.1212) cevovodima dimenzija Ø168.3x4.5 mm, usled elektrohemijskih korozivnih procesa došlo do nastanka i deponovanja intruzivnog materijala (slika 1.). Ispitivanje hermetičnosti cevovoda i njegove pripadajuće instalacije izvršeno je metodom kontrole pritiska u cevovodu sa manometrom, kao i vizuelnom kontrolom praćenja nivoa vode u najvišoj tački ispitivanog segmenta. Ispitivanje se sprovodilo sa hidrostatičkim pritiskom stuba vode u cevovodu, kao i sa pumpom za vodu visokog pritiska. Za proračune su korišćene standardne formule (na osnovu dužine trase i proteklog vremena): $s = a \times t^2 / 2$; s = dužina deonice, trase (m); t = vreme (sec); a = ubrzanje (m/s^2); brzina na kraju cevovoda: $v = v_0 + a \times t$ (m/sec); v_0 = početna brzina (m/sec) – ako voda kreće odozgo niz trasu, iz stanja mirovanja, onda je početna brzina bila nula; na kraju mesta ispuštanja vode, podizanjem fleksibilnog creva određivana je visina izbacivanja mlaza vode, računata je brzina vode koja izlazi: $v^2 = 2 \times g \times h$; h = visina izbacivanja mlaza vode (m); v = brzina isticanja vode (m/sec); g = gravitaciono ubrzanje $9,81 m/s^2$.

Ispitivanjem hermetičnosti cevovoda vodom hidrostatičkim pritiskom ili podizanjem pritiska sa pumpom visokog pritiska, otkrilo se mnogo perforacija nastalih radom unutrašnje elektrohemijske korozije a kao rezultat ispitivanja je isticanje vode pod pritiskom na mestima perforacija.

Ispitivanje hermetičnosti cevovoda vodom postepenim podizanjem pritiska sa pumpom visokog pritiska, istovremeno se pratilo na manometru kao i vizuelnim praćenjem indikacija pojave vode na površini zemljišta, što predstavlja izuzetno naporan rad za operatere i inženjere.



Praćenje postepenog podizanja pritiska ukopanog čeličnog cevovoda.

Vizuelnim praćenjem indikacija eventualne pojave vode na površini zemljišta, u većini slučajeva se nije odmah pokazivalo zbog različite dubine ukopanog cevovoda i predstavljalo je pravi izazov pronaći mesto lokacije same perforacije.

Najveći izazov od svih je bilo pronaći mesto oštećenja, perforaciju cevovoda, na skoro ravno položenom cevovodu gde su se preduzimale više različitih metoda kao što je potiskivanja vode komprimovanim pritiskom vazduha radi brže pojave vode na površini zemljišta do proračuna na osnovu izmerene količine istekle vode preko vodomera na krajnoj tački ispitivane trase cevovoda.



Pronalaženje lokacije mesta perforacije ukopanog čeličnog cevovoda potiskivanjem vode sa komprimovanim pritiskom vazduha.

Većina perforacija je bila sa donje strane (radom unutrašnje elektrohemijske korozije) što je bilo i za očekivati.



Najveći broj perforacija sa donje strane na ukopanom čeličnom cevovodu za transport derivata nafte.

Trasa cevovoda bila je na delovima pod izuzetno teškim pristupom ali i ti delovi trase su ispitivani zahtevanim ispitnim pritiskom na 55bar, odnosno ispitivanje hermetičnosti cevovoda vodom postepenim podizanjem pritiska sa pumpom visokog pritiska.



Ispitivanje hermetičnosti ukopanog čeličnog cevovodu na 55 bar.

Na osnovu mnogih dokumentovanih izveštaja i procena daljeg predviđenog „veka“ eksploatacije, doneta je odluka o zameni dela trase starih ukopanih cevovoda sa novim čeličnim cevovodima.

Zamena starih čeličnih cevovoda za transport derivata nafte sa novim

Jedna od metoda koja je takodje primenjivana u određivanju stanja unutrašnjosti cevovoda koji su bili pod intenzivnim uticajem unutrašnje elektrohemijske korozije bila je i snimanje sa kamerom na određenim dužinama koje su bile pristupačne. Snimci sa kamera su samo potvrdili očekivano loše stanje unutrašnjosti cevovoda a naročito u donjoj polovini. Jedna od karakteristika koja je takodje bila od uticaja na donošenje odluke o zameni cevovoda je bila i loše izvedena pasivna antikorozijska zaštita cevovoda sa spoljašnje strane koja se poklapala u najvećoj meri i sa mestima perforacije nastalih sa unutrašnje strane cevovoda.



Loše izvedena pasivna AKZ ukopanog čeličnog cevovoda.

Zamena cevovoda izvršena je standardnom procedurom:

- kopanje, sečenje, vadenje, postavljanje novih predizolovanih cevovoda, spajanje zavarivanjem, IBR zavarenih spojeva, izolovanje delova gde je vršeno zavarivanje, ispitivanje izolacije, ispitivanje cele trase cevovoda na hermetičnost, zatrpavanje, povezivanje na aktivan sistem katodne zaštite nametnutom strujom, merenje potencijala čeličnih cevovoda;
- izrada tehničke dokumentacije sa priloženim atestima kao i prilaganje dokumentacije o svim ispitivanjima kako od strane izvođača radova tako i od ovlašćenih sertifikovanih kuća sa važećom akreditacijom;
- izdavanje garancije na izvedene radove;
- obračun radova preko listova građevinskog dnevnika;
- primopredaja radova i dokumentacije;
- plaćanje.



Postavljanje novih predizolovanih čeličnih cevovoda.



Postavljanje novih predizolovanih čeličnih cevovoda – izolovanje mesta zavaravivanja.



Postavljanje novih predizolovanih čeličnih cevovoda – kroz naseljeno mesto.



Novo otpremno kracersko mesto – za potrebe čišćenja i održavanja.



Jedan tip kracera – za potrebe čišćenja i održavanja.

Aktivna katodna zaštita nametnutom strujom

Katodna zaštita od elektrohemijske korozije zasniva se na katodnoj polarizaciji metala do potencijala (minus 850 mV) pri kom se usporava proces jonizacije i prekida proces korozije. Izvor struje polarizacije je spoljni izvor jednosmerne struje. Kriterijumi katodne zaštite definišu uslove pod kojima je moguće sistemom katodne zaštite izvesti zaštitu od elektrohemijske korozije spoljašnjih ili unutrašnjih površina metalnih konstrukcija koje su položene u elektrolit. Osnovni kriterijumi katodne zaštite su električne veličine, zaštitni potencijal E_z (V), odnosno minimalna katodna polarizacija i minimalna gustina zaštitne struje. U praksi najčešće primenjivan je kriterijum minimalnog zaštitnog potencijala - E_{zmin} . Stacionarni potencijal čelika u prirodnim sredinama se najčešće kreće u granicama od - 0,55 V do - 0,65 V u odnosu na referentnu Cu / CuSO₄ elektrodu.

Da bi se ostvarila katodna zaštita, neophodno je izvršiti polarizaciju čeličnih cevovoda najmanje za - 0,3 V ili vrednost zaštitnog potencijala u svakoj tački mora iznositi najmanje $E = E_{zmin}$, odnosno $E = - 0,85$ V mereno između kontrolno mernog stuba i zasićene referentne Cu/CuSO₄ elektrode (za anaerobne sredine u kojima bakterije redukuju sulfate do sulfida, minimalan zaštitni potencijal iznosi - 0,95 V).

Rezultati kontrolnog merenja uspostavljenog sistema katodne zaštite

Nakon polarizacije zaštićene strukture sistemom katodne zaštite izvršena je kontrola rada sistema katodne zaštite, postavljanja i povezivanja stanica za katodnu zaštitu, a izvršena merenja su u skladu sa standardom SRPS/EN 13509. Vršeno je merenje prirodnog potencijala, a nakon puštanja u rad i potencijali na svim postavljenim mernim elementima (sondama). Posle perioda polarizacije od oko 6 meseci, izvršena su kontrolna merenja.

Dobijeni su sledeći rezultati: CK3 – 01(RADI $U=13\text{ V}$, $I=2,2\text{ A}$,brojilo 3045 kWh); CK3 – 02(RADI $U=14\text{ V}$, $I=1\text{ A}$, brojilo 4265 kWh); CK3 – 03 (RADI $U=30\text{ V}$, $I=6\text{ A}$,brojilo 6757 kWh); CK3 – 04 (RADI $U=32\text{ V}$, $I=9\text{ A}$,brojilo 4284 kWh); CK3 – 4 (RADI $U=18\text{ V}$, $I=2,5\text{ A}$, brojilo kWh = 2673); CK3 – 1 (RADI $U=6\text{ V}$, $I=2,2\text{ A}$, brojilo kWh = 30110); CK3 – 2 1 (RADI $U=34\text{ V}$, $I=2\text{ A}$, brojilo kWh = 5973); CK3 – 3 (RADI $U=3\text{ V}$, $I=0,2\text{ A}$, brojilo kWh = 1911); CK3 – 5 (RADI $U=10\text{ V}$, $I=5,5\text{ A}$, brojilo kWh = 481);

Napomene pre zaključka

Od momenta kada se prepozna mogućnost primene naprednih tehnika i tehnologija za potrebe kvalitetnog investicionog i tekućeg održavanja, put do realizacije i same primene je zahtevan i traži konstantnu posvećenost i strpljivost a budžet za primenu takvih naprednih tehnika i tehnologija u većini slučajeva ne predstavlja problem koliko otpor ka primeni nečeg novog i nepoznatog koje zahteva dodatna učenja i usavršavanja.

Zaključak

1. Da je potrebno kao i kod svakog sistema, redovno održavanje čeličnih cevovoda čišćenjem sa kracerima, obilazak trase cevovoda, kontrola parametara rada (pritisak, temperatura), kontrola kvaliteta fluida koji se transportuje (visok sadržaj sumpora može oštetiti čelilične cevovode).
2. Da je potrebno kao i kod svakog sistema, redovno održavanje sistema katodne zaštite prema upustvu isporučioaca katodne zaštite i prema upustvu o održavanju i ispitivanjima sistema katodne zaštite koje je predložio izvodjač radova.
3. Da je potrebno redovno ispitivanje, pregled i merenje katodne zaštite;

Praksa je pokazala da je tokom veka eksploatacije čeličnih cevovoda za transport sirove nafte, derivate nafte više od 80 % oštećenja nastaje na donjoj strani a ispitivanja sa intelegentnim kracerom je dosta skupo (1500 \$/km) i radi se na svakih 5 godina (iskustvena praksa). Zato je potrebno da katodna funkcioniše besprekorno kao i sistem redovnog održavanja.