

KATODNA ZAŠTITA OPREME TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA OD KOROZIJE CATHODIC CORROSION PROTECTION OF POWER PLANT EQUIPMENT

Stručni rad / Professional paper
UDK /UDC: 620.197.5: 621.1
Rad primljen / Paper received: 24.04.2007.

Adresa autora / Author's address:
¹) Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, Zemun,
Nemanjina 6 ukilaki@eunet.yu
²) Institut za zavarivanje, Beograd

Ključne reči

- katodna zaštita
- eksploatacija
- vodovodni sistemi
- lutajuće struje

Izvod

Katodna zaštita čeličnih konstrukcija i drugih objekata u zemlji (vodovodi, naftovodi, gasovodi, rezervoari) je značajna jer se postiže dodatna zaštita čeličnih objekata od dejstva raznih agenasa korozije. Na taj način povećava se eksploatacijski vek objekta i njegova sigurnost u radu. Zbog toga je preporučljivo katodno zaštititi sve značajne čelične vodovodne sisteme, a instaliranu opremu za katodnu zaštitu uredno održavati. Time će se postići dug vek vodovodnih sistema u eksploataciji.

UVOD

Korozija podzemnih metalnih i armirano-betonskih konstrukcija je složen proces elektrohemijske prirode. U kontaktu sa zemljištem koje sadrži određenu količinu vlage, mineralnih materija i kiseonika, pa može da se ponaša kao jonski električni provodnik i ima ulogu elektrolita u elektrohemijским reakcijama, podzemni objekti na pojedinim mestima počinju da se razaraju, tj. korodiraju. Brzina korozije, od koje zavisi dužina eksploatacije i radni vek podzemnih metalnih i armirano-betonskih konstrukcija, zavisi od velikog broja faktora: postupka izrade podzemnih konstrukcija, primenjenog materijala, načina ukopavanja, hemijskih osobina zemljišta, spoljnje temperature, prisustva drugih objekata i metalnih konstrukcija u neposrednoj blizini.

Korozija podzemnih konstrukcija može biti ubrzana pod dejstvom lutajućih struja. Lutajuće struje su parazitarne komponente jednosmernog potencijala emitovane sa električnih vodova položenih u zemlju. Glavni generatori lutajućih struja su tramvajski i metro koloseci, kao i koloseci elektrificirane železničke pruge. Ove struje deluju na podzemne metalne konstrukcije i ubrzavaju njihovo razaranje ukoliko nisu adekvatno zaštićene.

Većina konstrukcija pre ukopavanja u tle ili spuštanja u vodu se pogodno pasivno štiti, raznim premazima (epoksid-

Keywords

- cathodic protection
- exploitation
- water supplying system
- Foucault currents

Abstract

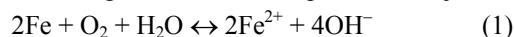
Cathodic protection of steel structures and other underground equipment (water, oil and gas pipeline systems and storage tanks) is relevant, offering additional protection of steel structures from different corrosive agents. In this way equipment service life and safety are extended. Hence, cathodic protection is advisable on all important water pipeline systems made of steel, and the installed cathodic protection equipment should be properly maintained. Long service life of water pipeline systems is then achieved.

ni, bitumenski), izolacijskim oblogama i prevlakama, /1–5/. Međutim, za duži radni vek ovako zaštićenih konstrukcija potrebna je i dodatna zaštita od korozije.

KOROZIJA PODZEMNIH ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

Mnogi metalni objekti kao naftovodi, vodovodi, gasovodi, električni kablovi, metalna užad, rezervoari i druge metalne konstrukcije u dodiru sa tlom ili vodom (vlagom) podležu koroziji. Posebno jakom korozivnom razaranju podležu konstrukcije u zoni dejstva lutajućih struja.

Zemlja, koja sadrži hemijske reagense, vlagu i kiseonik, ponaša se kao korozivni elektrolit prema čeličnim konstrukcijama izloženim elektrohemijškoj koroziji. U kontaktu sa zemljištem ili vodom gvožđe se rastvara prema reakciji:



Prikazana reakcija se odnosi na ukupnu reakciju korozije u kojoj metal (Fe) prelazi u rastvorene produkte korozije (Fe^{2+}), što ima za posledicu oštećenje čelične konstrukcije.

Brzinu razvoja produkata korozije i njihov karakter u tlu određuju: struktura i granulometrijski sastav, vlažnost i pH-vrednost zemljišta, električna provodljivost tla, i koncentracija minerala u tlu. Svaki od navedenih uticaja ima udeo u brzini i karakteru korozije metala u tlu, koju pospešuje zajedničko delovanje više uticaja.

U raznim vrstama zemljišta i voda, brzina korozije različitih vrsta čelika i livenog gvožđa se razlikuju. Prema podacima nekih autora, /4–7/, prosečna brzina korozije gvožđa i niskolegiranih čelika iznosi od 0,2 do 0,4 mm/god. u zemljištima raznog sastava, a u vodama se kreće od 0,35 do 0,74 mm/god. Podaci se odnose na nezaštićene objekte i cevi u odsustvu lutajućih struja i diferencijalne aeracije.

Brzina korozije je velika ako se podzemni objekti nalaze u oblasti dejstva lutajućih struja. Izračunato je da pri jačini struje od 1 A može godišnje da se odnese do 6 kg metala. Kako na pojedine podzemne objekte deluje lutajuća struja jačine do nekoliko desetina ampera, biće i brzina korozije tj. brzina odnošenja materijala znatno veća.

POSTUPCI ZAŠTITE PODZEMNIH METALNIH OBJEKATA OD KOROZIJE

Za stvaranje izolacione barijere koriste se različiti vidovi zaštite od korozije podzemnih metalnih konstrukcija. Za objekte ukopane u zemlji to su:

- preliminarna zaštita,
 - pasivna zaštita, ili
 - aktivna zaštita,
- a za objekte položene u vodu se primenjuje:
- inhibitorna zaštita, ili
 - aktivna zaštita.

Preliminarna zaštita obuhvata prethodne mere i postupke koji imaju za cilj da umanje opasnost od korozije podzemnih metalnih objekata pre njihovog ukopavanja, kao što su:

- optimalan izbor trase (lokacije) podzemnog objekta,
- ograničenje lutajućih struja u njihovim izvorima,
- optimalno polaganje podzemnog metalnog objekta koje ne dozvoljava oštećenje zaštitnog, izolacionog omotača.

Pasivna zaštita obuhvata izolaciju podzemne metalne konstrukcije od direktnog kontakta sa zemljištem primenom zaštitnih prevlaka. Zaštitne prevlake se dele na:

- metalne prevlake,
- konverzije prevlake i
- nemetalne (organske i neorganske) prevlake.

Zaštitna izolacija podzemnog objekta treba da bude izvedena tako da sa metalom konstrukcije stvara čvrst spoj, da je neporozna, otporna na vodu i postojana na hemijske, termičke i fizičke uticaje u toku eksploatacije.

Osnove elektrohemijske (aktivne) zaštite metala pri delovanju elektrolita postavio je Devi još 1824. godine. U zavisnosti od načina polarizacije, elektrohemijska zaštita metala može da bude:

- zaštita spoljnjom strujom (katodna i anodna zaštita),
- zaštita unutrašnjom strujom (protektorna zaštita) i
- elektrodrenažna zaštita.

Katodna zaštita metala od korozije zasniva se na katodnoj polarizaciji, ostvarenoj vezivanjem metala za negativni pol izvora jednosmerne struje. Mehanizam katodne zaštite metala je razumljiv: na površinu metala, koji se katodno polarizuje, dolazi višak elektrona koji ubrzava katodnu reakciju, a usporava anodnu reakciju rastvaranja metala; pomeranjem potencijala metala u negativniju oblast smanjuje se brzina korozije, a pri dovoljnoj katodnoj polarizaciji korozija metala se suzbija, brzina anodnog rastvaranja je nula i čitava površina metala deluje kao katoda.

Inhibitorska zaštita

Pod inhibitorima se podrazumevaju supstance koje po uvođenju u korozivnu sredinu, obično u malim količinama, mogu znatno da smanje brzinu elektrohemijske korozije metala i legura, /5–11/. Inhibitori se danas najviše primenjuju za zaštitu metala pri nagrivanju, proizvodnji i preradi nafte, u toplotnim izmenjivačima, energetskim objektima, konzerviranju mašina, raketnoj tehnici i mašinogradnji.

Po svojoj prirodi inhibitori korozije su hemijska jedinjenja koja se apsorbuju na površini metala. Prema hemijskom sastavu inhibitori korozije se dele na neorganske i organske. Prema mehanizmu dejstva na elektrohemijski proces korozije inhibitori se dele na anodne, katodne i mešane, /8–11/. Svojom apsorpcijom inhibitori korozije usporavaju anodni ili katodni proces elektrohemijske korozije i korozije metala, /12/.

Anodni inhibitori

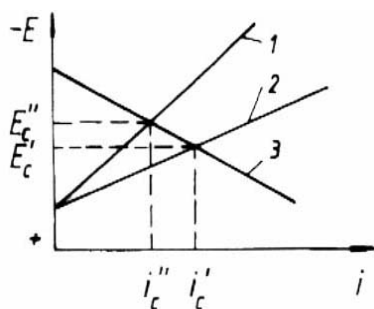
Anodni inhibitori korozije su u prvom redu oksidaciona sredstva (nitrati, nitriti), neorganski joni tipa MeO_4^{n-1} (hromat, permanganat, molibdat, fosfat), viševalentni katjoni metala (kupri, feri i ceri joni), a u izvesnim slučajevima vodonik-peroksid i kiseonik. Izvesni organski inhibitori korozije se apsorbuju na površini anodnih delova metala i usporavaju anodnu reakciju procesa korozije.

Anodni inhibitori koji usporavaju samo anodni proces korozije, tako da se brzina korozije metala smanjuje zbog smanjenja brzine prelaza jona metala u rastvor ili smanjenja površine anodnih delova metala nakon obrazovanja nerastvornih zaštitnih opni na njima. U prisustvu anodnih inhibitora menja se nagib anodne polarizacione krive, odnosno povećava se anodna polarizacija metala, /8/.

Polarizacioni dijagram dejstva anodnih inhibitora korozije objašnjava mehanizam procesa usporavanjem anodnog procesa pri koroziji, uticajem ravnotežnog potencijala oksidacionog sredstva (inhibitora) na brzinu korozije metala, uticajem kinetike katodne reakcije pri koroziji i uticajem gustine struje izmene na brzinu korozije metala.

Anodni inhibitori korozije u korozivnom rastvoru malo utiču na tok katodne polarizacije, ali menjaju krive anodne polarizacije i povećavaju sklonost metala ka pasiviranju. U prisustvu ovakvih inhibitora se smanjuje kritična gustina struje pasiviranja i rastvaranja metala u pasivnom stanju ili se potencijali početka i kraja pasiviranja pomeraju u negativniju oblast, dok potencijal transpasivnog stanja postaje pozitivniji. Ovde spadaju anodni inhibitori koji deluju smanjenjem aktivne površine anodnih delova (fosfatni za gvožđe i čelik), apsorpcijom jona oksidacionog sredstva na površini metala (hromati u neutralnim rastvorima), povećanjem hemosorpcije kiseonika ili brzine hemijske oksidacije površine metala (polifosfati, silikati, borati). Princip dejstva ove grupe anodnih inhibitora prikazan je na polarizacionom dijagramu (sl. 1).

Kod anodnih inhibitora koji usporavaju anodni proces depolarizacijom katodnog procesa, intenzitet dejstva na proces pasiviranja metala određen je veličinom ravnotežnog potencijala oksidacionih sredstava, kinetikom katodne reakcije i gustinom struje izmene inhibitora na brzinu korozije metala.



Slika 1. Polarizacioni dijagram dejstva anodnih inhibitora: 1) sa inhibitorom; 2) bez inhibitora; 3) katodna grana

Neophodan uslov za smanjenje brzine korozije metala uvođenjem inhibitora u rastvor je da ravnotežni potencijal oksidacionih sredstava bude pozitivniji od potencijala potpunog pasiviranja, ali negativniji od potencijala na početku njegovog transpasivnog stanja. Sa povećanjem koncentracije inhibitora njegov potencijal postaje pozitivniji i verovatniji je prelaz metala iz aktivnog u pasivno stanje.

Joni nitrata se pokazuju kao manje efikasni inhibitori prema gvožđu od nitrita, mada su njihovi redoks potencijali po svojim vrednostima bliski. Ova pojava se objašnjava većom prenapetosti pri redukciji nitrata nego pri redukciji nitrita, naročito u neutralnim rastvorima. Od veličine gustine struje izmene inhibitora zavisi i njihova sposobnost da pasiviraju metal i da uspore proces korozije. Veće gustine struje izmene ukazuju na male vrednosti prenapetosti elektrodnih reakcija i obratno, /9/.

Sastav korozivne sredine takođe utiče na efikasnost zaštitnog dejstva anodnog inhibitora. Prisustvo halogenidnih jona, u prvom redu hlorida, kao i povećanje aktivnosti vodoničnih jona otežavaju prevođenje metala u pasivno stanje. Sa povećanjem agresivnosti sredine povećava se gustina struje pasiviranja, pa je koncentracija anodnog inhibitora, neophodna za pasiviranje metala veća, a u nekim slučajevima nije moguće prevesti metal u pasivno stanje.

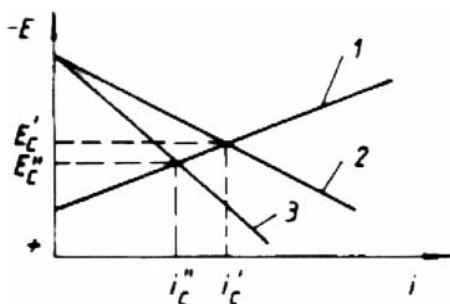
Anodni inhibitori se mogu primeniti samo za zaštitu metala koji se mogu pasivirati.

Katodni inhibitori

Smanjenje brzine korozije metala primenom katodnih inhibitora zasniva se na:

1. usporenju katodne reakcije procesa korozije, ili
2. smanjenju površine katodnih delova metala.

Katodna reakcija procesa korozije se usporava povećanjem prenapetosti pri redukciji agensa korozije, što je prikazano na sl. 2, /9,10,13–15/.



Slika 2 Polarizacioni dijagram dejstva katodnih inhibitora: 1) anodna grana; 2) bez inhibitora; 3) sa inhibitorom

U prisustvu katodnog inhibitora koji povećava prenapetost pri redukciji agensa korozije potencijal metala postaje negativniji kao kod katodne zaštite metala.

Pri koroziji metala sa izdvajanjem vodonika usporenje katodnog procesa se ostvaruje dodavanjem u rastvor nekih soli teških metala, kao što su AsCl_3 i $\text{Bi}_2(\text{SO}_4)_3$. Katjoni ovih soli se redukuju na mikrokatodama i po svome izdvajanju povećavaju prenapetost izdvajanja vodonika.

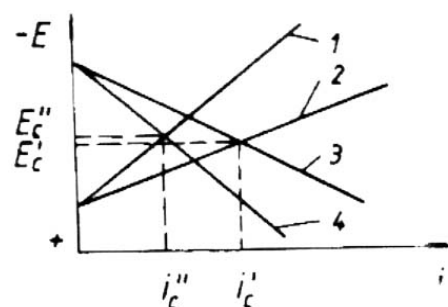
Smanjenje površine katodnih delova metala radi smanjenja brzine korozije ostvaruje se katodnim inhibitorima koji na mikrokatodama obrazuju nerastvorna jedinjenja u vidu izolacione zaštitne prevlake. Kalcijum-hidrogenkarbonat u tvrdim vodama reaguje sa hidroksidom, katodnim produktima korozije metala, uz obrazovanje zaštitne opne od teško rastvornog kalcijum-karbonata. Pored kalcijum-hidrogenkarbonata, ovoj grupi katodnih inhibitora pripadaju cink-sulfat i natrijum-polifosfat.

Pokrivanjem površine izolacionom opnom od teško rastvornih jedinjenja smanjuje se aktivna površina katodnih delova metala, a time se smanjuje se i brzina korozije.

Mešani inhibitori

Mešani inhibitori korozije metala utiču više ili manje i na katodnu i anodnu reakciju procesa korozije metala (sl. 3).

Mnogi organski inhibitori deluju kao mešani inhibitori. Takav je inhibitor organsko jedinjenje benzotriazol koji se koristi za zaštitu gvožđa, bakra, olova i cinka od korozije u kiselinama. Benzotriazol je efikasan inhibitor za zaštitu bakra i njegovih legura od atmosferske korozije, /11,14/.



Slika 3 Polarizacioni dijagram dejstva mešanih inhibitora: 1) i 4) sa inhibitorom; 2) i 3) bez inhibitora

U monografiji /9/ dat je kratak prikaz 1545 inhibitora: hemijski sastav, oblast primene i koncentracije.

Broj inhibitora korozije čelika u neutralnim rastvorima, uključujući tu i vodu, je veliki, jer je i mogućnost pojave korozije čelika u njima velika, /14–16/.

Hidrazin je inhibitor korozije crnih metala u vodi i vodenim rastvorima koji sadrže kiseonik. On se koristi za uklanjanje kiseonika iz vode pri radu kotlova na visokim i niskim pritiscima. Hidrazin se koristi kao inhibitor korozije ugljeničnih čelika u vrućoj cirkulacionoj vodi u koncentraciji od 1 g/l sa koeficijentom inhibiranja $\gamma = 9,5$.

Cikloheksilamin sa amonijakom i morfolinom u odnosu 2:4:0,5 predstavlja inhibitor korozije crnih metala u vodi. Efikasan je na temperaturi do 571°C i pritisku 18 599 kPa.

Dietilamin sa dietilamonijumnitratom je inhibitor korozije čelika CT.20 u vodi. Najmanja koncentracija inhibitora je $(0,0160 + 0,137) \text{ mmol/dm}^3$ korozije ugljeničnih čelika. Koristi se za sisteme za hlađenje i vodovodne cevi.

Dinatrijumfosfat je inhibitor korozije čelika u destilovanoj vodi.

Dinatrijumoksalat je inhibitor korozije čelika u vodi. Najmanja koncentracija inhibitora za čelik CT.20 u destilovanoj vodi je $0,1 \text{ mol/dm}^3$, /9,14–16/.

Etilamonijumfosfat je inhibitor korozije ugljeničnih čelika za vodovodne cevi i sisteme za hlađenje u vodi.

Natrijumova so cimetne kiseline je inhibitor korozije čelika u neutralnim vodenim rastvorima, a koristi se u sistemima za hlađenje motora sa unutrašnjim sagorevanjem.

Amonijak je inhibitor korozije čelika CT.20 u vodi, koji neutrališe ugljendioksid; najmanja koncentracija je $133,3 \text{ mmol/dm}^3$ (0,24%). Primenjuje se za parne kotlove i kondenzatore.

Amonijum-nitrit je inhibitor korozije ugljeničnih čelika u vodi i vodenim rastvorima. Najmanja koncentracija inhibitora za čelik CT.20 je 0,0006%. Ovaj inhibitor se primenjuje za kotlove pod visokim pritiskom.

Cink-hromat je inhibitor korozije ugljeničnih čelika u vodi, a primenjuje se u sistemima sa cirkulacijom vruće vode (centralno grejanje u zgradi).

Kalcijum-hidrogenkarbonat je inhibitor korozije čelika u neutralnim vodenim rastvorima. Ovaj inhibitor je najjeftiniji za sisteme hlađenja preko tornjeva.

Kalijum-hromat je inhibitor čelika, gvožđa, pocinkovanog gvožđa i belog lima u međusobnom kontaktu u vodi i vodenim rastvorima soli.

Ako se unese u nedovoljnoj količini, kalijum-hromat kao anodni inhibitor može stimulisati razvoj piting korozije. Pri primeni hromata potrebno je pH rastvora održavati na nivou 8,5 do 9,5. Zaštitno dejstvo ovog inhibitora slabi sa povećanjem koncentracije Cl^- jona koji prodiru kroz zaštitnu opnu i aktiviraju metal. Hromat se primenjuje kao inhibitor korozije sistema za hlađenje automobilskih motora. Ako u sistemu za hlađenje ima zalemljenih spojeva koji sadrže olovo, inhibitoru se dodaju fosfati, sulfati i silikati.

Natrijum-glukonat sa cink-nitratom je inhibitor korozije gvožđa i čelika u morskoj i rečnoj vodi. Pri koncentraciji inhibitora 100 masenih delova na 106 masenih delova vode stepen zaštitnog dejstva za čelik je $z = 100\%$.

Natrijum-hromat je inhibitor korozije čelika i livenog gvožđa u vodi. On se preporučuje za sisteme za hlađenje motora pri naizmeničnom zagrevanju (do 80°C) i hlađenju.

Natrijum-nitrat je inhibitor korozije čelika u vodi i rastvorima soli. Neophodna koncentracija inhibitora zavisi od uslova korozije i sastava vode. Za potpuno suzbijanje korozije čelika u destilovanoj vodi dovoljno je 0,005% inhibitora, a pri 0,05% NaCl dovoljno je 0,03% inhibitora.

Natrijum-nitrit se koristi u koncentraciji 0,06% za zaštitu od korozije prouzrokovane vodom u naftovodima i tankerima. U antifrizu na bazi glikola, u tečnostima za dezinfekciju skladišta i izopropilalkoholu primenjuje se natrijum-nitrit u svojstvu inhibitora korozije čelika. Natrijum-nitrit ulazi u sastav pasti za zaštitu metala od korozije i mnogih rastvor-nih kompozicija ulja za hlađenje reznog alata.

Natrijum-ortofostat je inhibitor korozije čelika u vodi i neutralnim vodenim rastvorima. Pri koncentraciji inhibitora 5000 delova na 106 delova vode $z = 94,3\%$. Ovaj fosfat je inhibitor korozije čelika i u mazivima.

Natrijum-pirofosfat je inhibitor korozije crnih metala u vodi. Koristi se u sistemima tornjeva za hlađenje u koncentraciji 10 do 15 mg/dm^3 , a efikasan je u temperaturnoj oblasti od 40°C do 99°C i širokoj oblasti pH (ali ne ispod $\text{pH} = 5$). On je inhibitor korozije čelika u koncentrovanim rastvorima amonijumnitrata koji sadrži amonijak. Primenjuje se u koncentraciji 0,025 do 1%.

Natrijum-salicilat je inhibitor korozije u destilovanoj i vodovodskoj vodi.

Natrijum-tripolifosfat je inhibitor korozije čelika u neutralnim vodenim rastvorima. Pri hlađenju tornjeva inhibitor se koristi u koncentraciji 10 do 15 mg/dm^3 . Polifosfat je efikasan kao inhibitor korozije pri temperaturama od 4°C do 99°C i širokoj oblasti pH (ali ne ispod $\text{pH} = 5$). Koeficijent inhibiranja korozije ugljeničnog čelika u vrućoj cirkulacionoj vodi (centralno grejanje u zgradi) pri koncentraciji natrijum-tripolifosfata 1 g/dm^3 iznosi 9,5.

Natrijum-volframat je inhibitor korozije čelika u neutralnim rastvorima. U prisustvu hlorida i sulfata volframat deluje kao izuzetan inhibitor korozije.

U sistemu za hlađenje tehnološke vode kao inhibitori korozije može se koristiti bilo koji od navedenih inhibitora. Najčešće se koriste kalijum-hromat, natrijum-tri-polifosfat, natrijum-pirofosfat, natrijum-nitrat i cink-hromat, /14–16/. Navedeni inhibitori su jeftini i efikasni. Jedna od mana upotrebe inhibitora za sprečavanje korozije u otvorenim sistemima kakav je slučaj u sistemu hlađenja pri pasterizaciji mleka, je njihova promena koncentracije usled isparavanja vode. Zbog toga oni se moraju često kontrolisati i dodavati, tako da im je potrošnja povećana.

Aktivna zaštita

Aktivna elektrohemijaska zaštita se zasniva na anodnoj ili katodnoj polarizaciji, koja se ostvaruje vezivanjem metala za odgovarajući pol izvora struje ili za metal čiji je elektrodni potencijal negativniji od ravnotežnog potencijala metala koji se zaštićuje. U zavisnosti od načina polarizacije aktivna zaštita metala može da bude katodna ili anodna /1–3,17–21/. U praksi je najveću primenu našla elektrohemijaska katodna zaštita, koja se deli na zaštitu spoljnom strujom (katodna zaštita) i zaštitu unutrašnjom strujom (protektorna zaštita), /1,4,17/.

Katodna zaštita spoljnim izvorom struje najviše se primenjuje za ukopane cevovode. Tu spadaju:

- magistralni gasovodi i naftovodi,
- sabirni cevovodi na gasnim i naftnim poljima,
- vodovodi i parovodi,
- cevi reni bunara.

Osim ukopanih cevovoda, katodno se štite:

- TT-kablovi i energetski kablovi,
- ukopani rezervoari,
- unutrašnje površine uređaja za pripremu vode,
- brodovi, bageri, platforme, obalski i lučki uređaji i postrojenja, brane, prevodnice, mostovi.

Rešavanje korozije podzemnih metalnih konstrukcija pomoću katodne zaštite mora se razmotriti za svaki slučaj posebno i prvo ustanoviti da li postoje potrebni uslovi za primenu katodne zaštite. Najjednostavnije je katodno zaštititi pojedinačnu podzemnu metalnu cev. Daleko je složenije zaštititi mrežu cevovoda ili kablova u obliku pravougaoni-

ka. Takođe, katodna zaštita nekoliko paralelnih cevovoda ili kablova na bliskom rastojanju predstavlja složen problem zbog manjeg radijusa dejstva elektrohemijske zaštite. Najteže je ostvariti efikasan sistem katodne zaštite gradske mreže podzemnih metalnih cevovoda i instalacija, ne samo zbog složene konfiguracije, već i zbog velikog broja neprojektovanih priključaka kroz koje su mogući veliki gubici zaštitne jednosmerne struje.

Da bi se utvrdilo da li su u datim okolnostima ostvareni uslovi koji sprečavaju koroziju metalnih konstrukcija katodnom zaštitom, definišu se osnovni parametri katodne zaštite: minimalni zaštitni potencijal, minimalna zaštitna struja i maksimalni zaštitni potencijal.

Pri minimalnom zaštitnom potencijalu prestaje proces korozije metala. Minimalna zaštitna struja je ona vrednost jednosmerne struje pri kojoj se na površini metala, koji se štiti, uspostavlja minimalni zaštitni potencijal. Minimalni zaštitni potencijal zavisi od metala i malo se menja za različite uslove zemljišta, dok je minimalna zaštitna struja određena u velikoj meri specifičnom otpornošću zemljišta, koja zavisi od vlažnosti i hemijskog sastava. Minimalna zaštitna struja za izolovane metale je od 0,5 do 1,0 mA/dm².

Kada se katodna zaštita primenjuje na podzemnim metalnim konstrukcijama koje imaju zaštitnu izolaciju, potrebno je definisati i kontrolisati maksimalni potencijal, jer suviše negativna vrednost zaštitnog potencijala može dovesti do oštećenja izolacije i njenog odvajanja od metala zbog izdvajanja H₂ i obrazovanja OH⁻ jona, zbog čega se mora povećati zaštitna struja. Za čelične cevi sa izolacijom od bitumena preporučuje se da maksimalna vrednost potencijala ne prelazi -1,5 V u odnosu na referentnu elektrodu Cu/CuSO₄ (zasićen rastvor).

Shema zaštite spoljnom i unutrašnjom strujom data je na sl. 4. Kao što se vidi, pozitivan pol izvora jednosmerne struje spojen je pomoću električnog provodnika sa specijalnim uzemljenjem (anodom), koje se nalazi u blizini metalne podzemne konstrukcije. Negativan pol izvora jednosmerne struje spojen je pomoću električnog provodnika sa metalnom konstrukcijom koja se štiti. Na taj način jednosmerna struja teče kroz električno kolo: pozitivan pol izvora struje – električni provodnik – uzemljenje – vlažno zemljište izme-

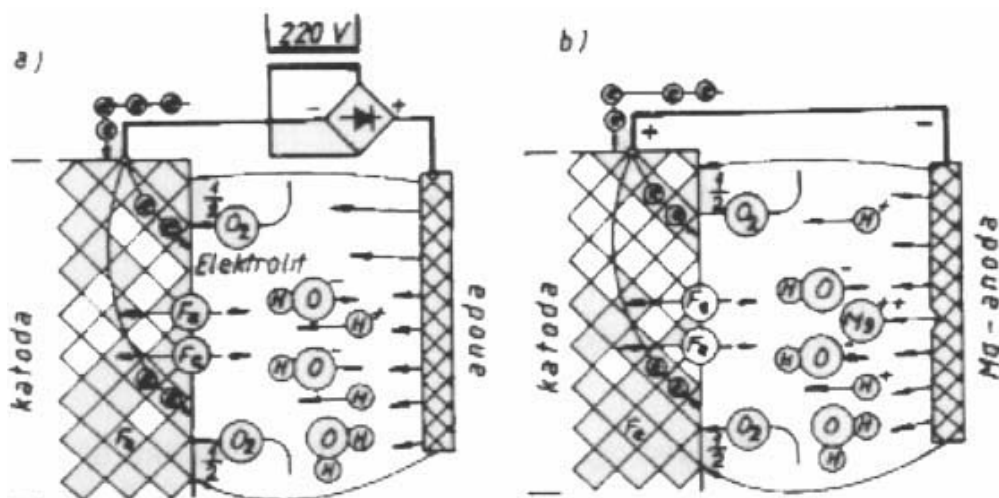
đu uzemljenja i metalne konstrukcije – metalna konstrukcija – električni provodnik – negativni pol izvora struje. U ovakvom električnom kolu na površinu podzemne metalne konstrukcije sa svih strana protiče jednosmerna struja iz izvora struje, pa se konstrukcija polarizuje katodno i na taj način je zaštićena od korozije.

Katodna zaštita se ne može primeniti uvek, već samo pod određenim uslovima od kojih su sledeći najvažniji:

- oko metalne konstrukcije koja se štiti mora postojati sredina koja ima jonsku električnu provodljivost (tečnost, vlažno zemljište, vlažan beton), da bi bio moguć prelaz jednosmerne struje na metal i formiranje električnog kola,
- čvrsti ili tečni elektrolit koji se nalazi oko metalne konstrukcije treba da formira dovoljno deo sloj po kome struja može da se ravnomerno raspodeli na čitavu površinu metalne konstrukcije,
- metalna konstrukcija treba da ima što jednostavniji oblik, jer složeni oblik otežava ravnomernu raspodelu struje u sistemu katodne zaštite, kao postojanje nekoliko bliskih paralelnih i priključnih cevovoda što raspodelu struje čini neravnomernom zbog „ekraniranja“, tj. koncentracije struje na najbližim delovima površine,
- napon jednosmerne struje za zaštitu od korozije ne sme biti suviše visok. Zbog opasnosti po život ljudi od jednosmerne struje napon ne sme da bude veći od 60 V,
- metal od koga je izrađena podzemna konstrukcija treba da bude otporan na povećanu alkalnost elektrolita do koje dolazi zbog katodne reakcije.

Proračun katodne zaštite čeličnih objekata u zemlji svodi se na određivanje snage izvora jednosmerne struje za stanicu katodne zaštite iz koje se metal katodno polarizuje, pri čemu su osnovni parametri, /1,2,17/:

- specifična električna otpornost korozivne sredine, ρ (Ω m),
- efektivna otpornost objekta zaštite, R_{ef} (Ω),
- minimalna katodna polarizacija, ΔE (V),
- maksimalna katodna polarizacija, ΔE_o (V),
- koeficijent atenuacije, α (m⁻¹),
- struja zaštite u tački drenaže, I (A),
- maksimalna struja zaštite na najudaljenijim mestima objekta, I_{min} (A),



Slika 4. Shematski prikaz katodne zaštite: a) spoljnom strujom; b) unutrašnjom strujom (strelicama je prikazan put jednosmerne struje)

- specifična električna otpornost, prečnik i dužina provodnika za dovod struje,
 - materijal, broj i način vezivanja anoda,
 - prelazna otpornost jedne anode, R_a (Ω),
 - prelazna otpornost anodnog ležišta, R_{al} (Ω).
- Ostali podaci i tok proračuna stanice katodne zaštite mogu se naći u literaturi, /1–3,17/.

ZAKLJUČAK

Razvoj tehnike i industrijski progres u svetu i kod nas praćen je sve većim gubicima zbog korozije konstrukcijskih materijala. Korozija je prisutna svuda i na svakom mestu.

Metalne konstrukcije (mostovi, stubovi, toplovodi, naftovodi, dalekovodi, rezervoari, brodovi i kablovi) propadaju pod dejstvom agenasa korozije i delovanja lutajućih struja.

LITERATURA

1. Antonijević, M., Pavlović, M., Lačnjevac, Č., Mladenović, S.: Korozija i zaštita čelika, SITZAMS, Beograd, 1998.
2. Зук, Н.П.: Коррозия и защита металлов, Машгиз, Москва, 1975.
3. Пригула, В.Л.: Защита заводских подземный трубопроводов от коррозии, Металлургия, Москва, 1961.
4. Mladenović, S., Petrović, M., Rikovski, G.: Korozija i zaštita materijala, Rad, Beograd, 1985.
5. Mladenović, S.: Korozija materijala, TMF, Beograd, 1990.
6. Milenković, M., Mladenović, S., Vučković, I.: Korozija i zaštita, Tehnička knjiga, Beograd, 1980.
7. Sebenji, F., Nakl, L.: Korozija metala, Tehnička knjiga, Beograd, 1980.
8. Брегман, Дж.: Ингибиторы коррозии, Изд. Химия, Москва, 1966.
9. Алцибеева, А., Левин, С.З.: Ингибиторы коррозии металлов, Изд. Химия, Ленинградское отделение, 1968.
10. Розенфельд, И., Персианцева, В.: Ингибиторы атмосферной коррозии, Изд. Наука, Москва, 1985.
11. Слугер, М.А., Азогин, Ф., Ефимов, Е.: Коррозия и защита металлов, Изд. Металлургия, Москва, 1981.
12. Маттссон, Е.: Электрохимическая коррозия, Изд. Металлургия, Москва, 1991.
13. Чистяков, В.: Замедлитель коррозии металлов, Изд. Наука и техника, Минск, 1965.
14. Mladenović, S.: *Zaštita metala vodovodne instalacije primenom inhibitora*, *Zaštita materijala* 35 (1995), str.142-155.
15. Mladenović, S.: *Konzervacija i mehanizam zaštite*, *Zaštita materijala*, 38 (1998), str. 3-11.
16. Mladenović, S.: *Obrada recirkulacione vode inhibitorima korozije metala*, *Zaštita materijala*, 39 (1999), str.14-33.
17. Бекман, П., Швен, В.: Катодная защита металлов, Металлургия, Москва, 1984.
18. Дубровский, В.Г., Волотковский, С.А., Заблудовский, В.Я.: Защита от коррозии подземных сооружений промышленных предприятий, Техника, Киев, 1979.
19. Воробеева, Г.Я.: Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств, Изд. Химия, Москва, 1975.
20. Johnc, D.G.: Cathodic protection for reinforced structures, CAPCIS, 001.96, 1996.
21. Kenedell, K., Lewis, D.A.: Bridge decks: cathodic protection, Contractor Report 4, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1984.

Većina konstrukcija, pre ukopavanja u tle ili spuštanja u vodu, podvrgavaju se pasivnoj zaštiti. Ali, za duži eksploatacijski vek ovako zaštićenih objekata dodatna elektrohemijaska katodna zaštita je pogodna, pa se često primenjuje pri zaštiti cevovoda, gasovoda, naftovoda, naftnih i gasnih bušotina, reni bunara, rezervoara, toplovoda, brodova.

U novije vreme katodnom zaštitom se štite i armirano-betonski objekti: nosači mostova, mostovi, cevi od armiranog betona, zgrade, dokovi. Energetski i telekomunikacijski kablovi, koji mogu biti oštećeni dejstvom lutajućih struja, često se dodatno zaštićuju katodnom zaštitom.