

**PREDLOG MODELA AUTOMATIZOVANOG SISTEMA KATODNE
ZAŠTITE GASOVODA U ZONI DEJSTVA RAZLIČITIH
ELEKTROENERGETSKIH UTICAJA IZ OKRUŽENJA**

**PROPOSAL MODEL OF AUTOMATED SYSTEM OF CATHODIC
PROTECTION PIPELINE IN ZONE EFFECTS OF DIFFERENT
POWER INFLUENCE IN ENVIRONMENTAL**

Dr Božo Ilić, dipl. inž. el. teh.,
Visoka tehnička škola strukovnih studija u Novom Sadu

Prof. dr Živoslav Adamović, dipl. inž.
Univerzitet u Beogradu i Univerzitet u
Novom Sadu

Dr Branko Savić, dipl. inž. maš.,
Visoka tehnička škola strukovnih studija
u Novom Sadu

REZIME

Katodna zaštita predstavlja najuspešnije metodu zaštite podzemnih metalnih gasovoda od svih vrsta korozije, ali njena efikasnost u velikoj meri zavisi na koji način je izvedena i zaštita gasovoda od elektroenergetskih uticaja iz okruženja. Cilj ovog rada jeste da predloži model automatizovanog sistema katodne zaštite gasovoda, koji pored zaštite gasovoda od elektrohemijske korozije zemljišta, obezbeđuje i zaštitu gasovoda od različitih elektroenergetskih uticaja iz okruženja. Predloženim modelom bi se međusobno uskladile i funkcionalno nadopunile zaštita gasovoda od elektrohemijske korozije i zaštita gasovoda od različitih elektroenergetskih uticaja iz okruženja.

Ključne reči: katodna zaštita, gasovod, korozija, lutajuće struje, elektroenergetski uticaji

ABSTRACT

Cathodic protection is the most successful method for protection of underground metal pipelines of all types of corrosion, but its effectiveness depends largely on how it performed and protection of pipeline power influence in the region. The aim of this paper is to propose a model of an automated system of cathodic protection of pipelines, which in addition to protection of the pipeline electrochemical corrosion of land, and provides protection from various power pipeline environmental influence. The proposed model would be mutually aligned and functionally complement the protection of the pipeline electrochemical corrosion protection of pipelines and power of different influences.

Keywords: cathodic protection, pipeline, corrosion, stray currents, power influences

1. UVOD

Katodna zaštita predstavlja najefikasniju metodu zaštite podzemnih metalnih gasovoda od svih vrsta korozije, ali njena uspešnost u velikoj meri zavisi od kvaliteta izvedbenog projekta koji u sebi sadrži mere zaštite od svih negativnih elektroenergetskih uticaja iz okruženja. Zato

kompletan sistem katodne zaštite gasovoda, pored zaštite gasovoda od korozije, treba da sadrži i zaštitu gasovoda od negativnih elektroenergetskih uticaja iz okruženja. Zaštita gasovoda od negativnih elektroenergetskih uticaja iz okruženja ima značajnu ulogu u projektovanju kompletnog sistema katodne zaštite, jer se za nju često koristi i preko 90% ukupnih energetskih kapaciteta kompletnog sistema katodne zaštite [1,2]. Cilj ovog rada jeste da predloži model automatizovanog sistema katodne zaštite gasovoda, koji pored zaštite gasovoda od elektrohemijske korozije zemljišta, obezbeđuje i zaštitu gasovoda od različitih elektroenergetskih uticaja iz okruženja. Predloženim modelom bi se međusobno uskladile i funkcionalno nadopunile zaštita gasovoda od elektrohemijske korozije i zaštita gasovoda od različitih elektroenergetskih uticaja iz okruženja. Pošto su često zahtevi koji se postavljaju za uspešno funkcionisanje katodne zaštite gasovoda od elektrohemijske korozije suprotni od zahteva koji se postavljaju za zaštitu gasovoda od negativnih elektroenergetskih uticaja iz okruženja [3-8].

2. ELEKTROENERGETSKI UTICAJI NA GASOVODE

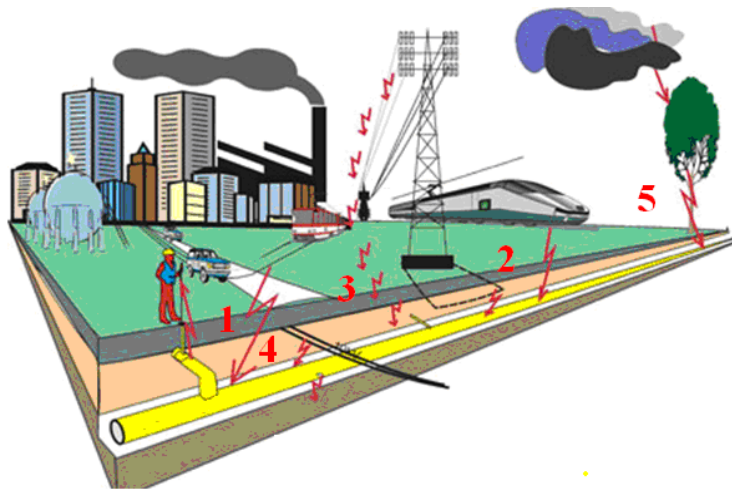
Metalni gasovodi uopšte imaju osobine električnih provodnika što znači da mogu da provode električnu struju, ali i da se u njima može indukovati napon. Zato od projektovanja preko izgradnje do održavanja njih treba posmatrati i kao elektroenergetske objekte. Gasovodi svojim dimenzijama i osobinama utiču na promene u prostoru u kojem se nalaze, ali i ostali metalni objekti iz okruženja utiču na njih [4]. Elektroenergetski objekti iz okruženja koji mogu uticati na gasovode su:

- jednosmerna električna vuča, koja kao povratni vod koristi šine po kojima se kreće elektrovučno vozilo, kao što su: tramvaji, metroi, elektrifikovna železnica, razna elektrovučna vozila u industriji koja se kreću po šinama;
- katodna zaštita drugih gasovoda;
- strani cevovodi sa i bez katodne zaštite;
- visokonaponski vazdušni vodovi (dalekovodi, kontakti vodovi elektrifikovane železnice);
- podzemni kablovi;
- trafostanice;
- razni uzemljivači;
- elektroenergetska postrojenja u okruženju;
- elektroenergetska postrojenja koja služe za pogon posmatrnog gasovoda itd.

U okviru elektroenergetskih uticaja na gasovod treba posmatrati i pražnjenje atmosferskog elektriciteta, koje može biti direktno u gasovod ili u njegovoj blizini.

Elektroenergetski uticaji iz okruženja na katodno šticeći gasovod mogu biti dugotrajni i kratkotrajni (akcidentni), a s obzirom na mehanizam delovanja mogu biti: galvanski (npr. lutajuće struje različitog porekla) i elektromagnetni (npr. indukovane struje u gasovodu usled elektromagnetnog uticaja dalekovoda) [1].

Na slici 1. je prikazana ilustracija različitih elektroenergetskih uticaja iz okruženja na jedan gasovod, kao što su: lutajuće struje tramvaja, lutajuće struje elektrifikovane železnice, indukovane struje u gasovodu usled elektromagnetnog uticaja dalekovoda, pražnjenje atmosferskog elektriciteta [3].



Slika 1. Ilustracija elektroenergetskih uticaja iz okruženja na gasovod: 1-lutajuće struje tramvaja, 2-lutajuće struje elektrifikovane železnice, 3- indukovane struje u gasovodu usled elektromagnetnog uticaja dalekovoda, 4- lutajuće struje uzrokovane oštećenjem izolacije metalnih omotača podzemnih kablova, 5- pražnjenje atmosferskog elektriciteta

Lutajuće struje različitog porekla, indukovane struje i pražnjenja atmosferskog elektriciteta mogu dovesti do različitih negativnih efekata na gasovodu [2], kao što su:

- previsoki napon dodira na nadzemnim delovima gasovoda i opreme, zbog čega postoji opasnost od strujnog udara po radno osoblje i korisnike;
- električno varničenje između nadzemnih delova gasovoda međusobno i prema drugim metalnim konstrukcijama, usled čega postoji opasnost od požara ili eksplozija posebno u prostorima sa eksplozivnim i lako zapaljivim materijama;
- ubrzana korozija podzemnih delova gasovoda;
- električno varničenje podzemnih delova gasovoda prema oklonom zemljištu;
- oštećenje izolacije gasovoda itd.

Na slici 2. je prikazan primer korozije gasovoda uzrokovane lutajućim strujama [3].



Slika 2. Primer korozije gasovoda uzrokovane lutajućim strujama

Pored elektroenergetskih uticaja postoje i drugi faktori koji utiču na katodno šticeći gasovod, kao što su: meteorološke prilike (padavine, suša, pražnjenje atmosferskog elektriciteta i sl.), godišnje doba, konfiguracija terena, vrsta zemljišta, razgranatost gasovodne mreže, dogradnja novih delova u gasovodnoj mreži, građevinske promene na starim cevovodima u okruženju, izgradnja novih cevovoda u okruženju, vrsta medija koja se prenosi cevovodima u okruženju, prostori sa eksplozivnom atmosferom i slično [4].

3. OPŠTE MERE ZAŠTITE GASOVODA OD ELEKTROENERGETSKIH UTICAJA IZ OKRUŽENJA

Opšte mere zaštite gasovoda od elektroenergetskih uticaja iz okruženja su:

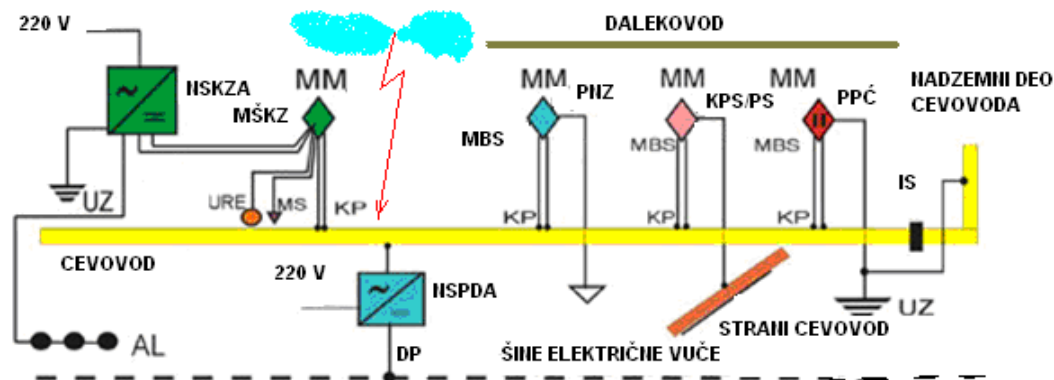
- razmak između trase gasovoda i elektroenergetskih objekata iz okruženja treba da bude što veći,
- dužina paralelnog vođenja trase gasovoda i trase vazdušnog voda treba da bude što manja,
- ugao ukrštanja između trase gasovoda i trase vazdušnog voda treba da bude što bliži 90° , jer u tom slučaju je međusobna induktivnost između gasovoda i vodova jednaka nuli, a time i induktivni uticaj vazdušnih vodova na gasovod najmanji,
- trasu gasovoda treba pažljivo odrediti i po potrebi je korigovati itd.

U okviru opštih mera zaštite gasovoda od negativnih efekata elektroenergetskih uticaja iz okruženja treba voditi računa i o eventualnim putevima pražnjenja atmosferskog elektriciteta koji mogu ići preko visokog drveća, tako da može doći do preskoka atmosferskog elektriciteta sa žila drveća na gasovod. Zato trasu gasovoda treba odabrati tako da se ona ne prostire previše blizu usamljenog visokog drveća [5].

4. MODEL SISTEMA KATODNE ZAŠTITE GASOVODA U ZONI DEJSTVA LUTAJUĆIH STRUJA I DRUGIH ELEKTROENERGETSKIH UTICAJA

Standardne šeme za projektovanje sistema katodne zaštite važe isključivo u idealnim uslovima. Međutim u praksi se sprovodi kombinacija teoretskih i praktičnih rešenja prilagođenih svakom konkretnom gasovodu, jer svaki gasovod ima svoje osobenosti i specifična okruženja koja su najčešće neponovljiva na drugim gasovodima. Zato za svaki konkretan gasovod treba prikupiti podatke o svim elementima koji utiču na njega u smislu povećane opasnosti od korozije, ali i u smislu povećane opasnosti od napona dodira i električnog varničenja, te predvideti adekvatne mere zaštite. Proračuni za zaštitu metalnih gasovoda od negativnih elektroenergetskih uticaja iz okruženja se zasnivaju na utvrđivanju deonica gasovoda na kojima se zbog specifičnih odnosa sa elektroenergetskim objektima iz okruženja na njima mogu pojaviti lutajuće i indukovane struje. Ove struje na nadzemnim delovima gasovoda mogu dovesti do pojave previsokog napona dodira i električnog varničenja, a na podzemnim delovima mogu dovesti do pojačane korozije, oštećenje izolacije i varničenja prema okolnom zemljištu [1].

Na osnovu istraživanja razmatrane problematike [2-13] predložen je model automatizovanog sistema katodne zaštite gasovoda, koji je izložen različitim elektroenergetskim uticajima iz okruženja, kao što su: jednosmerna električna vuča, dalekovodi, strani cevovodi, pražnjenje atmosferskog elektriciteta itd., kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Model kompletnog sistema katodne zaštite gasovoda

Predloženi model automatizovanog sistema katodne zaštite, pored zaštite gasovoda od elektrohemijske korozije zemljišta, obezbeđuje i zaštitu gasovoda od različitih elektroenergetskih uticaja iz okruženja, kao što je:

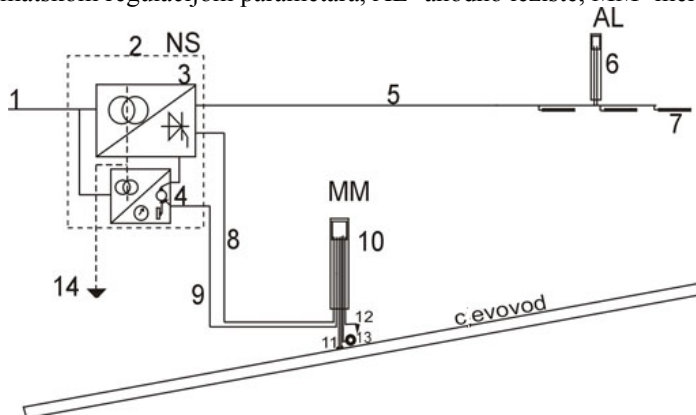
- zaštita od korozije uzrokovane lutajućim strujama i indukovanim strujama različitog porekla,
- zaštita od previsokog napona dodira i pojave električne varnice na nadzemnim delovima gasovoda,
- zaštita od oštećenja izolacije i električnog varničenja podzemnih delova gasovoda prema okolnom zemljištu itd.

Predloženi model obuhvata korišćenje različitih uređaja i opreme, koji su navedeni u nastavku rada.

4.1. Napojne stanice katodne zaštite sa automatskom regulacijom parametara (NSKZA)

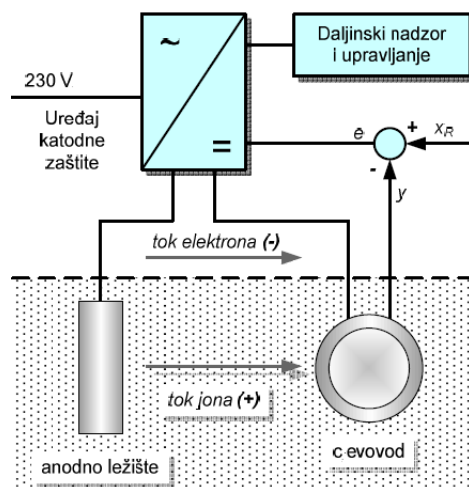
Napojne stanice katodne zaštite sa automatskom regulacijom parametara (NSKZA) se koriste za zaštitu gasovoda od korozije ako se on nalazi u zoni dejstva lutajućih ili drugih elektroenergetskih uticaja iz okruženja, pa zbog promene intenziteta lutajućih struja ili promene drugih elektroenergetskih uticaja (npr. intenziteta indukovanih struja) dolazi do promene potencijala na gasovodu. U tom slučaju se obično najniža vrednost negativnog potencijala na koju treba dovesti celu površinu čeličnog gasovoda podiže sa $-0,85 [V]$ na $-0,95 [V]$. Takođe ove stanice se koriste u područjima u kojima se menja vlažnost zemljišta, a time i njegova električna otpornost. Kod ovih napojnih stanica postoji mogućnost daljinskog upravljanja i nadzora (merenja i praćenja parametara) [6].

Na slici 4. je prikazana principijelna šema napojne stanice katodne zaštite sa automatskom regulacijom parametara, gde je: 1- priključak na distributivnu mrežu 220 [V], 50 [Hz], 2- ormarić sa napojnom stanicom, 3- izvor jednosmerne struje (transformatorsko ispravilački uređaj sa tiristorskim mostom), 4- I regulator (upravljajući tiristor), 5- anodni strujni krug, 6- merni (spojni) stubić na anodnom ležištu, 7- anodno ležište, 8- katodni strujni krug, 9- merni krug, 10- merni stubić (spojna kutija sa sabirnicama), 11- kablovski priključak na gasovod, 12- merna sonda, 13- referentna elektroda, 14- uzemljivač, NS- napojna stanica katodne zaštite sa automatskom regulacijom parametara, AL- anodno ležište, MM- merno mesto [16].



Slika 4. Principijelna šema napojne stanice katodne zaštite sa automatskom regulacijom parametara

Na slici 5. je prikazan princip rada napojne stanice katodne zaštite sa automatskom regulacijom parametara, kod koje postoji mogućnost daljinskog nadzora i upravljanja (praćenja i podešavanja parametara) [17].



Slika 5. Princip rada napojne stanice katodne zaštite sa automatskom regulacijom parametara sa mogućnošću daljinskog nadzora i upravljanja

Napojna stanica katodne zaštite sa automatskom regulacijom parametara je transformatorsko ispravljački uređaj sa tiristorskim mostom čija se vrednost izlaznog napona U_{IZL} menja u granicama od 0 do 50 [V], pomoću upravljača tiristora. Na taj način upravljač tiristora, koji je mikroprocesorski uređaj, automatski podešava zadatu (referentnu-željenu) vrednost potencijala gasovoda V_{ZAD} . To je u stvari sistem automatskog upravljanja procesom sa I-regulatorom (upravljačem tiristora) kod koga se kao povratna veličina koristi izmerena (stvarna) vrednost potencijala gasovoda V_{IZM} . Izmerena (stvarna) vrednost potencijala gasovoda V_{IZM} se dobija merenjem potencijala čelične merne sonde, koja se ugrađuje u zemljište u blizini gasovoda, u odnosu na referentnu elektrodu bakar-bakarsulfat ($Cu/CuSO_4$). Zadana (referentna - željena) vrednost potencijala gasovoda V_{ZAD} se podešava pomoću obrtnog potenciometra na upravljaču tiristora ili pritiskom na tastere za povećanje ili smanjenje predmetne veličine, i ona ne može biti veća od 5 [V]. Uređaj automatski pamti podešenu vrednost zadatog potencijala na gasovodu V_{ZAD} . Zadana (referentna - željena) vrednost zaštitnog potencijala je vrednost potencijala koja mora biti zadovoljena prema normama za katodnu zaštitu [18-24].

U zavisnosti od regulacionog odstupanja između zadate (referentne - željene) V_{ZAD} i izmerene (stvarne-procesne) vrednosti potencijala gasovoda V_{IZM} : $e=V_{ZAD}-V_{IZM}$ upravljač tiristora slanjem odgovarajućih analognih upravljačkih signala na tiristore linearno menja ugao njihovog provođenja, u granicama od 0 do 180°, a time menja i izlazni napon tiristorskog mosta U_{IZL} . Što je regulaciono odstupanje veće upravljač tiristora će više smanjivati ugao provođenja tiristora čime će se povećavati izlazni napon U_{IZ} tiristorskog mosta. Na taj način tiristorski most propušta odgovarajuću vrednost zaštitne struje sve dok se izmerena (stvarna) vrednost potencijala štice gasovoda V_{ZAD} ne izjednači sa zadatom (referentnom-željenom) vrednošću potencijala gasovoda, tada vrednost zaštitne struje pada na nulu. Postepenim povećanjem vrednosti zadatog potencijala V_{ZAD} , kada vrednost zadatog potencijala postane veća od vrednosti izmernog (stvarnog) potencijala V_{IZM} , zaštitna struja počinje proticati i proticaće sve dok vrednost izmerenog potencijala na gasovodu V_{IZM} ne dostigne vrednost zadatog (željenog) potencijala V_{ZAD} tj. dok ne bude $V_{IZM}=V_{ZAD}$.

Izlazna veličina iz regulatora je analogni signal koji se koristi za pogon tiristorskog mosta [17]. Izlazni napon tiristorskog mosta U_{IZL} iz bezbedonosnih razloga ne sme biti veći od 50 [V], jer prema IEC standardima (standardima Međunarodne elektrotehničke komisije) najveći dozvoljeni napon dodira ne sme biti veći od 50 [V].

Razvojem automatike i informatike stvorene su mogućnosti daljinskog nadzora i upravljanja napojnim stanicama katodne zaštite sa automatskom regulacijom parametara. U predloženom modelu sistem daljinskog nadzora i upravljanja napojnim stanicama katodne zaštite koristi optičku komunikacionu mrežu (zasnovanu na Ethernet mreži i TCP/IP protokolu) i bežičnu GPRS mrežu. Ovako izrađen komunikacioni sistem omogućava nadzor (praćenje parametara) i upravljanje (podešavanje parametara) napojnim stanicama katodne zaštite, bez obzira da li se nalaze u blizini optičke komunikacione mreže ili su udaljene od nje (povezane su preko bežične GPRS mreže) [17].

Samim napojnim stanicama katodne zaštite se upravlja daljinski preko programabilnih logičkih kontrolera, a izvedeni SCADA sistem sve nadzire i kontroliše rad.

Dosadašnji sistemi katodne zaštite su izvođeni tako da podatke sa napojnih stanica nije bilo jednostavno preneti u računar, a u skladu s tim te iste podatke nije bilo moguće preneti u centralno mesto gde bi bio omogućen daljinski nadzor i upravljanje. Zbog toga je predloženo da se sistem daljinskog nadzora i upravljanja napojnih stanica katodne zaštite projektuje tako [17]:

- Da se podaci sa napojnih stanica mogu prilagoditi da se mogu prenositi preko optičke komunikacione mreže, pošto se često paralelno sa trasom gasovoda grade i optičke komunikacione mreže.
- Da se podaci sa napojnih stanica mogu prilagoditi da se mogu prenositi preko bežične GPRS mreže, pošto napojne stanice mogu biti dislocirane pa ne postoji mogućnost njihovog povezivanja na optičku komunikacionu mrežu.
- Da napojne stanice katodne zaštite budu samostalne jedinice i nezavisne u radu, ali nadzirane i po potrebi upravljane daljinski.

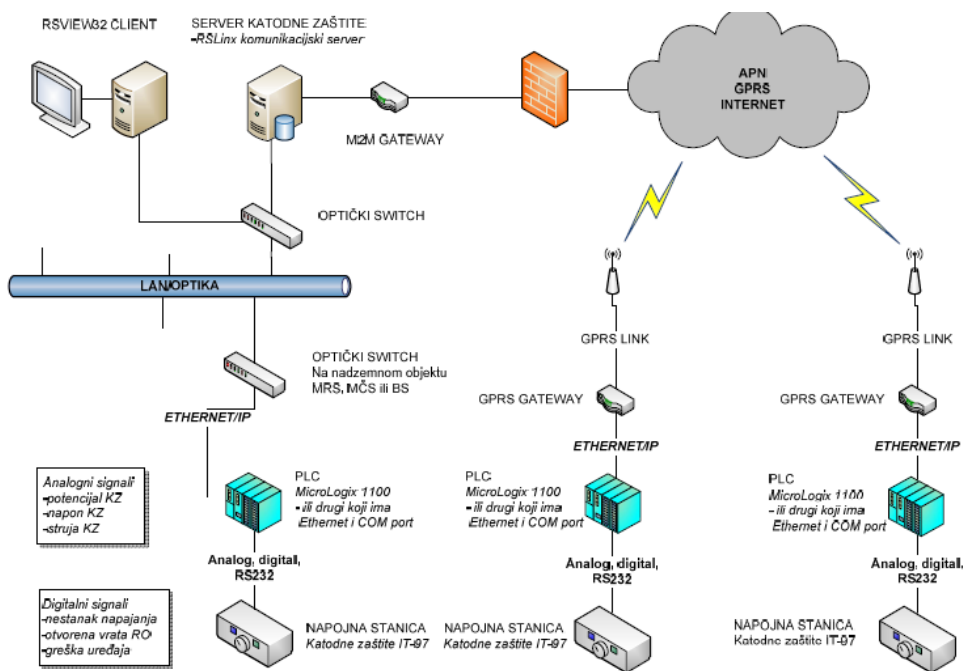
Pošto napojne stanice katodne zaštite imaju standardne analogne izlaze (4-20 [mA]) za praćenje u realnom vremenu i digitalni komunikacioni kanal (RS232) za podešavanje, za daljinski nadzor i upravljanje može se koristiti bilo koji PLC (eng. Programmable Logic Controller - programabilni logički kontroler) sa tri ili više analognih ulaza, te jednim serijskim portom. Takođe PLC mora imati ugrađen Ethernet interfejs tako da se izmereni podaci sa napojne stanice mogu preko optičke komunikacione mreže ili preko bežične GPRS mreže preneti u centralno mesto nadzora. U prikazanom rešenju odabran je PLC uređaj serije MicroLogix 1100 (1763-L16DWD) proizvođača Allen Bradley. Uz osnovni PLC uređaj predviđena je ugradnja jednog standardnog analognog modula (1762-IF4) za prihvatanje 4 standardna analogna signala 4-20 [mA] ili 0-10 [V].

Na slici 6. je prikazana blok šema sistema daljinskog nadzora i upravljanja napojnim stanicama katodne zaštite [17].

Podaci sa napojnih stanica dolaze na server katodne zaštite, preko optičke komunikacione mreže ili preko bežične GPRS mreže, na kojem se čuvaju svi podaci, log datoteke, te snimci prelaznih pojava svih napojnih stanica katodne zaštite.

Komunikacija između centralnog mesta nadzora i upravljanja i procesnih računara zasnovana je na Ethernet mreži i TCP/IP protokolu. Ulogu povezivanja svih procesnih računara u Ethernet mrežama ima RSlinx komunikacioni softver koji je instalisan na serveru (računaru) katodne zaštite. Povezivanje je zasnovano na OLE (eng. Object-Linking and Embedding), DCOM (COM) (eng. Distributed Component Object Model) i ActiveX tehnologijama kao standardima koji omogućavaju povezivanje različitih proizvođača opreme u jedan SCADA sistem [17].

Za vizualizaciju procesa izabran je programski paket RSview32 koji radi u operativnom sistemu Windows XP. Predviđeno je više klijent računara sa instalisanim RSview32 Runtime programskim paketom tako da više osoba iz održavanja koje su udaljene mogu nadzirati i upravljati napojnim stanicama [17].



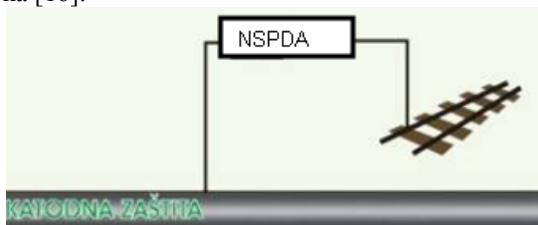
Slika 6. Blok šema sistema daljinskog nadzora i upravljanja napojnim stanicama katodne zaštite

4.2. Napojne stanice katodne zaštite sa ručnom regulacijom parametara (NSKZR)

Napojne stanice katodne zaštite sa ručnom regulacijom parametara (NSKZR) služe za zaštitu gasovoda od elektrohemijske korozije zemljišta. Koriste se u zonama u kojima se vlažnost zemljišta veoma malo menja, a time i otpornost zemljišta, kao i u područjima gde ne postoji mogućnost pojave lutajućih i indukovanih struja u gasovodu [17].

4.3. Napojne stanice prisilne drenaže sa automatskom regulacijom parametara (NSPDA)

Napojne stanice prisilne drenaže sa automatskom regulacijom parametara (NSPDA) se koriste u zonama u kojima postoje lutajuće struje električne vuče. One na kontrolisan način odvođe lutajuće struje sa gasovoda na šine pri čemu uvažavaju kriterijume katodne zaštite, slika 7. Stanje izolacije gasovoda uslovljava broj stanica prisilne drenaže za jedan gasovod, što je izolacija gasovoda bolja to jedna stanica prisilne drenaže može da zaštititi dužu deonicu. U slučaju kada je korozija posledica više faktora, između ostalog prisustva lutajućih i indukovanih struja neophodno je usaglasiti katodnu zaštitu sa prisilnom drenažom kako bi korozija bila zaustavljena [16].

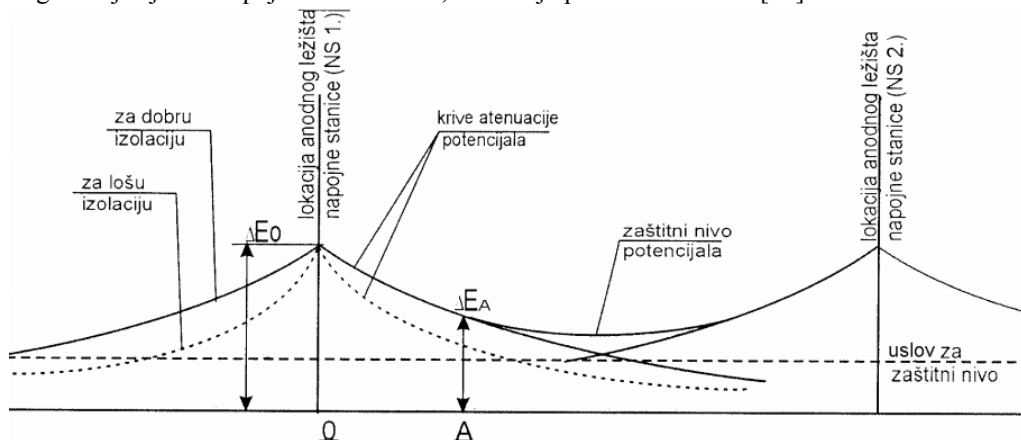


Slika 7. Odvođenje lutajućih struja sa gasovoda na šine električne vuče korišćenjem napojnih stanica prisilne drenaže

4.4. Anodna ležišta (AL)

Anodna ležišta (AL) se najčešće izrađuje od ferosilicijumskih (FeSi) anoda, koje se postavljaju u ispunu od koksnog granulata. Veličina i broj anoda zavise od potrebne zaštitne struje i konfiguracije terena. Anode se izrađuju s različitim dužinama i presecima priključnih kablova, zavisno od mesta njihove ugradnje [16].

Posmatranjem krivih atenuacije potencijala može se utvrditi domet rada (dužina zaštite) napojne stanice L, odnosno mogu se uočiti delovi na deonicama gde krive atenuacije potencijala “padaju” ispod minimalnog zaštitnog potencijala E_k . Zbog toga je mesta na trasama, na kojima gasovod više nema dovoljnu vrednost negativnog (zaštitnog) potencijala, potrebno locirati i postaviti novo anodno ležište ili ako je potrebno u sistem katodne zaštite dograditi još jednu napojnu stanicu NS2, kao što je prikazano na slici [16].



Slika 8. Krive atenuacije potencijala na gasovodu

Krive atenuacije potencijala gasovoda predstavljaju raspodelu potencijala (dobijenu proračunom) duž gasovoda na obe strane od tačke 0, mesta gde se nalazi anodno ležište (ili napojna stanica NS1) odnosno tačka дренаže [16].

4.5. Merna mesta katodne zaštite (MM)

Merna mesta katodne zaštite (MM) su zasebne instalacije u sistemu katodne zaštite raspoređena duž trase gasovoda koja u toku eksploatacije gasovoda služe za merenje zaštitnog potencijala štice gasovoda, ali isto tako mnoga merna mesta svojim instalacijama i pomoćnim sklopovima dopunjuju katodnu zaštitu u kompletan sistem katodne zaštite, koji pored zaštite gasovoda od elektrohemijske korozije zemljišta obezbeđuje i zaštitu gasovoda od elektroenergetskih uticaja iz okruženja. Osnovni delovi mernih mesta su: kablovski priključci na gasovod, merne kutije, pomoćni sklopovi i pomoćna merna oprema [4].

4.6. Kablovski priključci na gasovod (KP)

Kablovski priključci na gasovod (KP) su kablovi tipa PP00, čiji je jedan kraj termitskim postupkom zavaren na površinu gasovoda, dok je drugi kraj spojen u mernoj kutiji [4].

4.7. Merne kutije (MK)

Merne kutije (MK) su zatvorena kućišta različitih dimenzija izrađena najčešće od elektroizolacionog materijala, a ako su od metala onda treba da budu uzemljena. Merne kutije služe za spajanje na sabirnice kablova čiji je jedan kraj povezan sa gasovodom, kao i za ugradnju pomoćnih sklopova, čiji se parametri mogu podešavati u zavisnosti od njihovih vrednosti dobijenih tokom merenja, kao što su: kompenzaciono-prilagodni sklopovi,

prilagodni sklopovi, prenaponsko zaštitni sklopovi, poluprovodničke polarizacione ćelije itd. Pored toga na mernim mestima za kontrolu potencijala gasovoda uz štice gasovoda treba ugraditi pomoćnu mernu opremu, kao što su referentne elektrode i merne sonde. One zavise od izabrane merne metode i raspoloživih instrumenta, služe za više vrsta merenja, pomoću kojih se može utvrditi vrednost zaštitnog potencijala, nivo uticaja lutajućih struja, pravci prostiranja lutajućih struja, gustina zaštitne struje itd. Kao merne kutije koriste se: merne šahte katodne zaštite (MŠKZ), merni betonski stubići (MBS), merni plastični stubići (MPS) itd [4].

4.8. Prenosna referentna elektroda bakar/bakarsulfat ($Cu/CuSO_4$) (PRE)

Prenosna referentna elektroda bakar/bakarsulfat ($Cu/CuSO_4$) (PRE) se koristi kao referentna tačka u odnosu na koju se vrši merenje potencijala katodno štice ukopanih ili uronjenih metalnih konstrukcija na mernim mestima gde nisu ugrađene ugrađene referentne elektrode. Pored toga služi za proveru rada ukopanih referentnih elektroda, te u korozivnoj dijagnostici za merenje korozivnog i potencijala lutajućih struja [16].

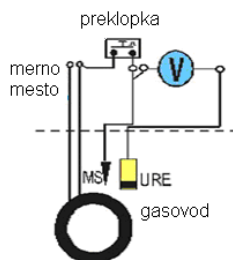
Međunarodno utvrđen elektrohemijski potencijal od nula volti ima vodonikova elektroda. Međutim, zbog složenosti konstrukcije, održavanja i korišćenja izvan laboratorijskih uslova retko se koristi u praksi. Zato se najčešće merenje potencijala katodno štice podzemnih gasovoda vrši u odnosu na referentnu elektrodu bakar/bakarsulfat ($Cu/CuSO_4$), koja ima elektrohemijski potencijal od $+0,318 [V]$ u odnosu na vodonikovu elektrodu [4].

4.9. Ugrađena referentna elektroda bakar/bakarsulfat ($Cu/CuSO_4$) (URE)

Ugrađena referentna elektroda bakar/bakarsulfat ($Cu/CuSO_4$) (URE) se koristi kao referentna tačka u odnosu na koju se vrši merenje potencijala katodno štice ukopanih ili uronjenih metalnih konstrukcija. Namenjena je za trajnu ugradnju u zemlju u neposrednoj blizini štice gasovoda [16].

4.10. Merna sonda (MS)

Merna sonda (MS) služi za merenje isključnih potencijala (V_{off}) na katodno štice gasovodu. U praksi je najčešće problem utvrditi stvarni potencijal gasovoda zbog različitih elektroenergetskih uticaja iz okruženja. Da bi se izbegle greške pri merenju zbog ovih uticaja potrebno je izvršiti kratki prekid dotoka struje i izmeriti potencijal na gasovodu koji u tom trenutku čine zatečeni joni. Tako izmereni potencijal najčešće se naziva isključni potencijal (V_{off}) i on treba da bude negativniji za $0,1 [V]$ u odnosu na prirodni potencijal neizolovanog čeličnog gasovoda, odnosno treba da ima vrednost negativniju od $-0,85 [V]$ za izolovane čelične gasovode [5]. Međutim isključni potencijal na gasovodu je teško izmeriti, posebno u zonama dejstva lutajućih struja ili kada je gotovo nemoguće istovremeno isključenje svih napojnih stanica. Ove teškoće se izbegavaju upotrebom merne sonde, koja se u praksi pokazala kao vrlo dobra. Merna sonda (MS) se izrađuje od iste vrste čelika od koga je izrađen i gasovod, sa tačno određenom neizolovanom površinom koja dolazi u neposredni kontakt sa zemljištem u koje se ukopava. Kao takva merna sonda može predstavljati neizolovanu čeličnu površinu gasovoda na mestu oštećenja izolacije, a ne predstavlja dovoljno veliku površinu na koju bi imale uticaj lutajuće struje. Ugrađuje se u zemlju u neposrednoj blizini štice gasovoda, najčešće u paru sa ugrađenom referentnom elektrodom (URE). Način merenja isključnih potencijala (V_{off}) na gasovodu pomoću ukopane merne sonde (MS) u neposrednoj blizini gasovoda i ugrađene referentne elektrode (URE), prikazan je na slici 9. [4].



Slika 9. Merenje isključnih potencijala (V_{off}) na gasovodu pomoću ukopane merne sonde (MS) u neposrednoj blizini gasovoda i ugradbene referentne elektrode (URE)

Preklopka u pravilnim vremenskim razmacima uspostavlja (on) i prekida (off) električnu vezu između gasovoda i merne sonde (MS).

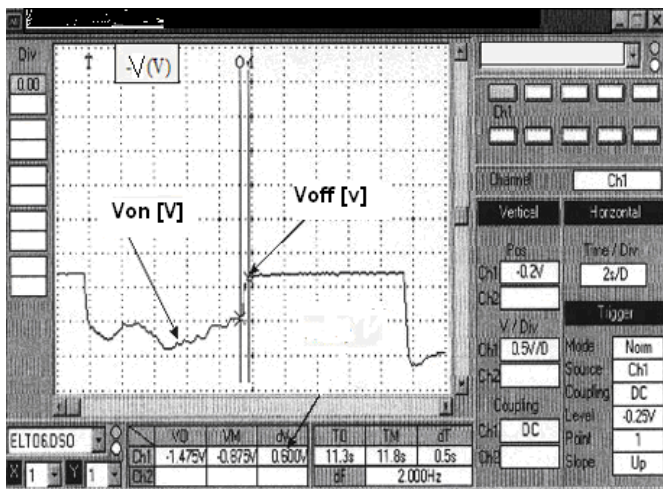
U područjima sa izrazito jakim delovanjem lutajućih struja i u blizini elektroenergetskih postrojenja ugrađuje se i dodatna merna sonda, koja se ne uključuje u sistem katodne zaštite gasovoda, već se postavlja u zemljište da bi bila prepuštena elektrohemijskom korozivnom delovanju zemljišta, kako bi se mogli uporediti potencijali katodno zaštićenog i nezaštićenog gasovoda [4].

4.11. Merni instrumenti i oprema

Merni instrumenti i oprema služe za merenje različitih parametara. Merenje potencijala najčešće se vrši voltmetrom čija je rezolucija merenja manja od 1 [mV] , a ulazni otpor veći od $1\text{ [M}\Omega\text{]}$. Međutim mnogo preciznija merenja i obrada rezultata se postiže kada se snimanje potencijala vrši pomoću osciloskopa.

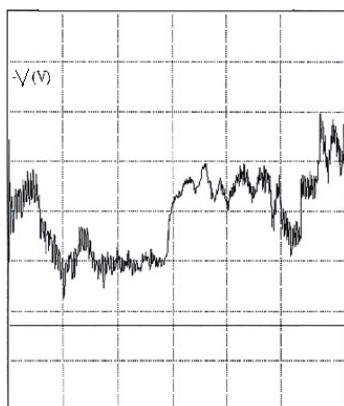
Na sledećim slikama je prikazano nekoliko snimaka potencijala gasovoda u odnosu na referentnu elektrodu Cu/CuSO_4 . U toku analize potencijala treba obratiti pažnju na polaritete potencijala.

Na slici 10. je prikazan grafik promene uključnih i isključnih potencijala (V_{on}/V_{off}) na gasovodu u odnosu na referentnu elektrodu bakar/bakarsulfat (Cu/CuSO_4) snimljen pomoću osciloskopa [16].



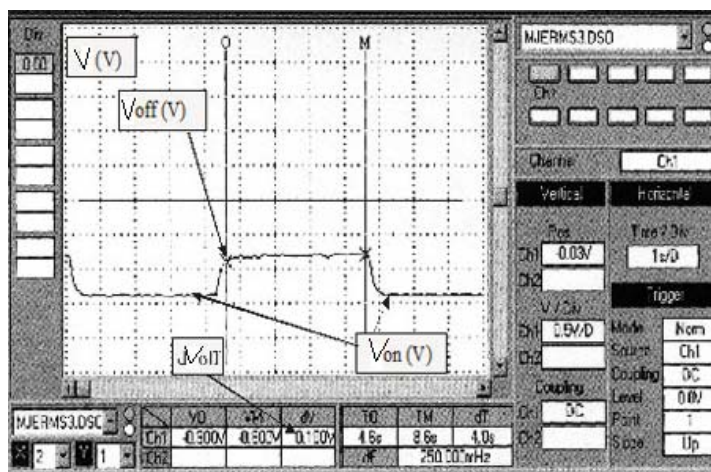
Slika 10. Grafik promene uključnih i isključnih potencijala (V_{on}/V_{off}) na gasovodu u odnosu na referentnu elektrodu bakar/bakarsulfat (Cu/CuSO_4) snimljen pomoću osciloskopa

Na slici 11. je prikazan dijagram raspodele potencijala duž trase gasovoda u zoni dejstva lutajućih struja, na kome se uočavaju visoki (prividni) katodni potencijali [16].



Slika 11. Dijagram raspodele potencijala duž trase gasovoda u zoni dejstva lutajućih struja

Na slici 12. je prikazan dijagram raspodele potencijala duž trase gasovoda (V_{off} i V_{on}), snimljen pomoću preklopke i merne sonde [16].



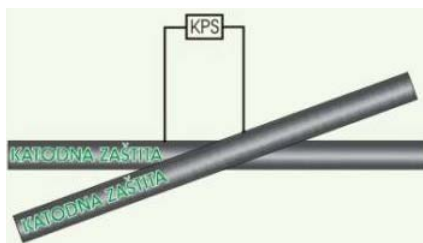
Slika 12. Dijagram raspodele potencijala duž trase gasovoda

Kod svake merne metode treba obratiti pažnju na položaj referentne elektrode i njen dobar kontakt sa zemljištem, kao i na kvalitet mernog instrumenta.

Osim neprekidnog rada katodne zaštite veoma je važno praćenje vrednosti katodnih potencijala pri čemu merne metode i postupci treba da obezbede što manje greške merenja. Upotrebom ugradbenih referentnih elektroda, mernih sondi i preciznih instrumenata veličina greške merenja se može svesti na minimum, odnosno može se postići kvalitetno održavanje katodne zaštite [16].

4.12. Kompenzaciono-prilagodni sklop (KPS)

Kompenzaciono-prilagodni sklop (KPS) služi za usklađivanje rada katodnih zaštita dva gasovoda koji se mimoilaze, slika 13. Podešava se samo promenom otpornosti radnog otpornika, namenjen je za jednokratnu upotrebu [4].

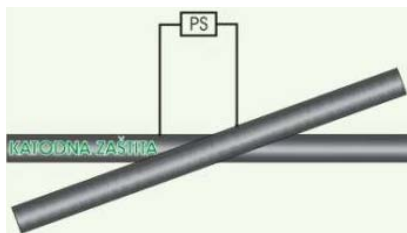


Slika 13. Usklađivanje rada katodnih zaštita dva gasovoda koji se mimoilaze pomoću kompenzaciono-prilagodnog sklopa

Razlike zaštitnih (katodnih) potencijala koje nastaju između dva gasovoda mogu u određenim okolnostima na trasi izazvati interferentno delovanje, tj. anodno otapanje (koroziju) na gasovodu koji ima manju polarizaciju. Zbog toga je najvažnije u prvom koraku pravilno izvesti kablovski razvod napojne stanice. Sa pravilno izvedenim kablovskim razvodom može se vršiti ujednačavanje zaštitnih potencijala na gasovodima, a eventualne razlike potencijala duž trase pojavljuju se jedino zbog različitih krivih atenuacije potencijala. U takvim slučajevima mogućnost interferentnih pojava duž trase je daleko manja [4]. Ugradnjom kompenzaciono-prilagodnih sklopova (KPS) u merna mesta (MM) katodni potencijali se dodatno ujednačavaju i usklađuju. Tako izveden sistem katodne zaštite daje skladniju polarizaciju gasovoda koji se mimoilaze, a sigurnost funkcionisanja sistema katodne zaštite je daleko veća [4].

4.13. Prilagodni sklop (PS)

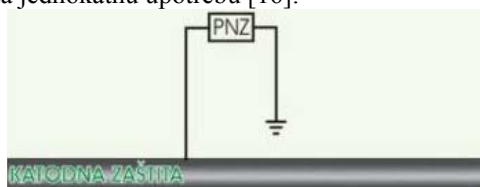
Prilagodni sklop (PS) se koristi za otklanjanje uticaja katodno šticećenog gasovoda na katodno nezaštićeni gasovod, slika 14 [16].



Slika 14. Otklanjanje uticaja katodno šticećenog gasovoda na katodno nezaštićeni gasovod pomoću prilagodnog sklopa

4.14. Prenaponsko-zaštitni sklop (PNZ)

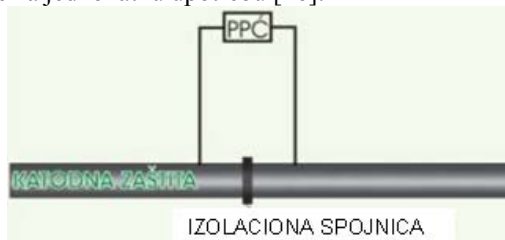
Prenaponsko-zaštitni sklop (PNZ) služi za odvođenje prenapona sa gasovoda na uzemljenje, slika 15. Ovi prenaponi mogu nastati kao posledica indukovanja napona u gasovodu usled elektroenergetskih uticaja iz okruženja ili praznjenja atmosferskog elektriciteta. Ne može se podešavati, namenjen je za jednokratnu upotrebu [16].



Slika 15. Odvođenje prenapona sa gasovoda na uzemljenje pomoću prenaponsko-zaštitnog sklopa

4.15. Poluprovodnička polarizaciona ćelija (PPĆ)

Poluprovodnička polarizaciona ćelija (PPĆ) se koristi za odvođenje prenapona i kratkotrajnih strujnih udara sa gasovoda na uzemljenje, kao i za usklađivanje rada katodne zaštite sa zahtevima uzemljenja, izjednačenja potencijala i gromobranske zaštite, slika 16. Ne može se podešavati, namenjena je za jednokratnu upotrebu [16].



Slika 16. Usklađivanja rada katodne zaštite gasovoda sa zahtevima uzemljenja, izjednačenja potencijala i gromobranske zaštite pomoću poluprovodničke polarizacione ćelije

Kompletan automatizovani sistem katodne zaštite treba da i na nadzemnim delovima gasovoda i opreme ima zaštitu od različitih elektroenergetskih uticaja iz okruženja, kao što je zaštita od previsokog napona dodira, električnog varničenja i atmosferskih pražnjenja. Ove zaštite se ostvaruju izvođenjem uzemljenja, izjednačenja potencijala i gromobranske zaštite, one se izvode čak i ako na nadzemnim delovima gasovoda ne postoji nikakva električna instalacija i oprema.

5. ZAKLJUČAK

Katodnu zaštitu gasovoda ne treba sagledavati samo sa aspekta zaštite gasovoda od elektrohemijske korozije zemljišta, već istovremeno i sa aspekta zaštite gasovoda od različitih elektroenergetskih uticaja iz okruženja, pri čemu u obzir treba uzeti i pražnjenje atmosferskog elektriciteta. Predloženi model automatizovanog sistema katodne zaštite gasovoda, pored zaštite gasovoda od elektrohemijske korozije zemljišta, obezbeđuje i zaštitu gasovoda od različitih elektroenergetskih uticaja iz okruženja. Ovim modelom se međusobno usklađuju i funkcionalno nadopunjuju zaštita gasovoda od elektrohemijske korozije i zaštita gasovoda od različitih elektroenergetskih uticaja iz okruženja. Takođe, predloženi model ima mogućnost daljinskog nadzora i upravljanja napojnim stanicama katodne zaštite sa automatskom regulacijom parametara. Primena predloženog modela je potpuno opravdana kako na novim tako i na starim gasovodima, jer se njom potpuno zaustavlja korozija, produžava period eksploatacije i smanjuju troškovi održavanja gasovoda. Pored obezbeđenja dugog radnog veka gasovoda, predloženi model automatizovanog sistema katodne zaštite obezbeđuje i veliku sigurnost pogonskog osoblja i korisnika.

6. LITERATURA

- [1] Adamović, Ž., Milovanović, R., *Metode tehničke dijagnostike u industriji*, Društvo za energetska efikasnost BiH, Banja Luka, 2010.
- [2] B. Ilić, *Uticaj lutajućih struja na metalne elemente tehničko-tehnološkog sistema*, Magistarski rad, Tehnološki fakultet Zvornik, 2004, pp. 8-36
- [3] Ilić, B., Adamović, Ž., Savić, B., Ašonja, A., *Automatizovani dijagnostički sistemi gasovoda*, Srpski akademski centar, Novi Sad, 2012. (ISBN 978-86-89087-03-1)
- [4] Ilić B., Savić B., *Katodna zaštita cevovoda u zoni dejstva lutajućih struja*, II Međunarodni kongres „Inženjerstvo, ekologija i materijali u procesnoj industriji“, Zbornik radova, 09.03-11.03. 2011 Jahorina.
- [5] Ilić B., Savić, B., *Usklađivanje rada katodne zaštite cevovoda u zoni dejstva lutajućih struja sa radom električne instalacije*, II Međunarodni kongres „Inženjerstvo, ekologija i materijali u

- procesnoj industriji“, Zbornik radova, 09.03-11.03. 2011 Jahorina.
- [6] Ilic, B., Adamovic, Z., Savic, B., *Propose mesuraes for the protection of gas pipeline corrosion caused stray currents*, Serbia Journal of gas industry, november, XVII, No 4, Belgrad (Serbia), 2012 (ISSN 0354-8589)
- [7] Ilić B, Tomić M., Došić A., *Korozija gasovoda izazvana lutajućim strujama*, I Međunarodni kongres „Inženjerstvo, materijali i menadžment u procesnoj industriji“, Zbornik radova, 14-16.10. 2009 Jahorina, 419-423.
- [8] Ilić B, Tomić M, Vujadinović D., *Zaštita gasovoda od korozije izazvane lutajućim strujama*, I Međunarodni kongres „Inženjerstvo, materijali i menadžment u procesnoj industriji“, Zbornik radova, 14-16.10. 2009 Jahorina, 216-220. [1]
- [9] Ilić B., Savić B., *Uticaj lutajućih struja na informaciono komunikacione tehnologije*, IX Naučno-stručni Simpozijum Infoteh - Jahorina, Zbornik radova, Vol. 9, Ref. D-13, p. 413-417, Mart 2010.
- [10] Ilić B., Savić B., *Opasnosti od požara usled dejstva lutajućih struja*, II Međunarodna naučna konferencija „Bezbednosni inženjering“, Zbornik radova, 21.10. 2010 Novi Sad.
- [11] Ilić, B., Adamović, Ž., Savić, B., Stanković, N., *Oštećenja gasovoda uzrokovana elektroenergetskim efektima iz okruženja i njihov uticaj na pouzdanost rada tehničkog sistema*, Zbornik radova, XXXV Konferencija „Poslovnih komunikacija i proizvodnog inženjerstva“, 01-02.06.2012. Vrnjačka Banja str. 72-80 (ISBN 978-86-85391-07-1)
- [12] Ilić, B., Adamović, Ž., Savić, B., *Oštećenja gasovoda usled dejstva lutajućih struja različitog porekla i njihov uticaj na pouzdanost rada tehničkog sistema*, Naučno-stručni časopis Održavanje mašina, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, god. VIII, br. 1-2, 2011, pp. 64-70 (ISSN 1452-9688)
- [13] Ilić B., Savić B., *Opasnosti od lutajućih struja po računare i računarske mreže*, 18 Telekomunikaciona konferencija Telfor, 23.11-25.11. 2010 Beograd.
- [14] Durham, M.O.; Durham, R.A., *Cathodic protection*, IEEE Industry Applications Magazine, Volume: 11, Issue: 1, 2005, Page(s): 41 – 47
- [15] Guibert, A.; Coulomb, J.-L.; Chadebec, O.; Rannou, C., *Corrosion Diagnosis of a Ship Mock-Up From Near Electric-Field Measurements*, IEEE Transactions on Magnetics, Volume: 46, Issue: 8, 2010, Page(s): 3205 - 3208
- [16] S. Pavliša: *Katodna zaštita*, Zagreb, 2008, pp. 8-24, www.pa-el.hr
- [17] D. Pažameta, S. Pavliša, *Daljinski nadzor i upravljanje sustavom katodne zaštite preko VPN/GPRS mreže i optičkog komunikacijskog sustava*, Zagreb, 2010 pp. 23-29
- [18] Cotton, I.; Charalambous, C.; Aylott, P.; Ernst, P., *Stray current control in DC mass transit systems*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume: 54 , Issue: 2, 2005, Page(s): 722 – 730
- [19] Charalambous, C.; Cotton, I., *Influence of soil structures on corrosion performance of floating-DC transit systems*, IET Electric Power Applications, Volume: 1 , Issue: 1, 2007, Page(s): 9 – 16
- [20] In-Dong Kim; Eui-Cheol Nho, *Module-type switching rectifier for cathodic protection of underground and maritime metallic structures*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume: 52, Issue: 1, 2005, Page(s): 181 – 189
- [21] Yii-Shen Tzeng; Chien-Hsing Lee, *Analysis of Rail Potential and Stray Currents in a Direct-Current Transit System*, IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 25, Issue: 3, 2010, Page(s): 1516 – 1525
- [22] Chien-Hsing Lee; Chien-Jung Lu, *Assessment of grounding schemes on rail potential and stray currents in a DC transit system*, IEEE Transactions on Power Delivery, Issue: 4, 2006, Page(s): 1941 – 1947
- [23] Liu, Y.C.; Chen, J.F., *Control scheme for reducing rail potential and stray current in MRT systems*, Electric Power Applications, IEE Proceedings, Volume: 152 , Issue: 3, 2005, Page(s): 612 – 618
- [24] Alamuti, M.M.; Nouri, H.; Jamali, S., *Effects of earthing systems on stray current for corrosion and safety behaviour in practical metro systems*, IET Electrical Systems in Transportation, Volume: 1 , Issue: 2, 2011 , Page(s): 69 -79

