

Аутор: Љиљана Топаловић, дипл.ел.инж.

Катодна заштита подземних инсталација

У складу са принципима термодинамике метали у које је уложена енергија у процесу екстракције из руде настоје да у природном окружењу заузму стање најниже енергије. Ово је познато као корозија метала. Електрохемијска корозија се јавља кад се метали нађу у електролиту и она доводи до неповратног губитка материјала на металним инсталацијама и до смањења њиховог употребног века. Као пасивна заштита од корозије употребљавају се премази и облоге, а као активна заштита – катодна заштита која се остварује поларизацијом за заштитни потенцијал. Разликујемо два основна система катодне заштите: заштита протекторима и систем заштите са наметнутом струјом, а избор система зависи од више параметара, како техничких, тако и економских. У Републици Србији је у протеклих пет година усвојен сет стандарда везаних за катодну заштиту који представља основ за њену примену.

Увод

У складу са принципима термодинамике метали у које је уложена енергија у процесу екстракције из руде настоје у природном окружењу да заузму стање најниже енергије. Ово је познато као корозија метала.

У савременим економијама сматра се да се услед корозије годишње губи 3 – 4 % БДП, што је у САД 1998. г. износило 276 милијарди долара. Губици су директни: замена кородираних опреме и трошкови одржавања, али и индиректни: откази и застоји у раду, губици производа (разна цурења и сл.) и утицај на животну средину.

Прве забележене описе корозије срећемо још код Платона (IV век пре нове ере), а пасивна заштита битуменским облогама је у примени још од античких времена.

Основе електрохемијских процеса на којима се базира активна антикорозивна заштита су постављене у 19. веку, а прва практична примена ових принципа се приписује господину Humphrey Davy који је препоручио употребу оловних и цинканих анода за заштиту бакарних делова бродова 1820. г.

Убрзани развој катодна заштита доживљава четрдесетих година 20. века када нафтна и гасна индустрија тражи начин за употребу танкозидних челичних цеви за транспорт нафте и гаса. У Европи се примена катодне заштите интензивира од педесетих година прошлог века и практично постаје незаобилазан начин заштите у појединим гранама индустрије.

Теоријски, катодном заштитом се могу штитити сви метали који се налазе у контакту са електролитом. Практично, највећа примена се налази у заштити подземних или уроњених челичних инсталација, највише цевовода.

Механизми корозије

Електрохемијска корозија се јавља кад се метали нађу у електролиту. Састоји из два процеса: оксидације на површини метала који представља аноду и редукције на површини метала катоде. Овако формирано електрично коло називамо корозиона ћелија и присутно је у свакој реакцији корозије метала у микро и макро облику.

Разликујемо следеће типове корозије:

- Општа (природна или спонтана) корозија која настаје услед тежње метала да се врати у своје природно стање. Код овог типа корозије не постоји појединачна анодна и катодна зона, корозија је униформна по површини метала и зависи од концентрације јона у електролиту.



Слика 1: Општа корозија

- Концентровани корозиони спрег је узрокован појавом различитих компоненти у електролиту. Формирају се дискретне анодне и катодне зоне услед различитих слојева тла, концентрација кисеоника, различите влажности и присутности биолошких организама.
- Галванска (контактна) корозија која настаје услед споја различитих метала.
- Корозија услед лутајућих струја изазвана спољним изворима струје који развијају градијент потенцијала у тлу или индукују струју у металу, чиме један део инсталације постаје катода, а други анода.

Значајна карактеристика корозионих процеса је брзина корозије. Спонтана, униформна корозија је спор процес, док је корозија услед лутајућих струја веома инвазивна и може узроковати перфорације у веома кратким временским интервалима. Брзина корозије се у претходном периоду процењивала на основу вероватноће врсте корозије која може настати и посредно преко мерења и анализа параметара тла. Новија решења катодне заштите уводе у систем индикаторе брзине корозије који се постављају непосредно уз штићену структуру и дају информацију о брзини развоја корозије која се јавља под датим условима што омогућава праћење корозије и правовремено предузимање потребних мера да би се она држала у пројектованим параметрима.

Пасивна заштита од корозије

Основна заштита од корозије која се примењује на већини инсталација је пасивна заштита премазима и облогама и представља услов за добру и ефикасну катодну заштиту. Облоге успоравају миграцију јона са електрода и стварају униформне услове на инсталацијама које пролазе кроз различите врсте тла. Отпор облога је далеко већи од контактне отпора голе цеви, умањују утицај окружења и њихова примена смањује потребне заштитне струје и до хиљаду пута.

Пасивне облоге које су у савременој примени су:

- Битумен / Катран (1940. - 1970.г.): лаки за примену, изискују минималне припреме површине, компатибилани са применом катодне заштите, али подложни оксидацији и пуцању, имају ограничену примену на нижим температурама, еколошки непопуларани.
- Двослојни екструдирани полиетилен (од 1960.г.): одличних изолационих особина, лак за руковање, али ограниченог температурног опсега примене, слабе отпорности на смицање.

- Епоксидне смоле (од 1975.г.): одличних особина у погледу адхезије и изолације, компатибилне са катодном заштитом, али слабо отпорне на удар и хигроскопне.
- Трослојни полиолефини (трослојни епокси-полиетилен и епокси-полипропилен) и композитни материјали и др.

Развој технологије је допринео великим побољшањима у погледу диелектричних особина облога, али је примена у пракси за неке од материјала показала да су слабије компатибилни са применом катодне заштите. Код материјала са великом диелектричном отпорношћу може доћи до потпуног екранирања катодне заштите у случају одвајања облоге од штићене површине. Такође, добре диелектричне особине облога поспешују преношење недозвољених пренапона на цевоводима на велике даљине.

Основни принципи активне заштите од корозије

Катодна заштита представља активну заштиту од корозије. Заснива се на принципу поларизације штићене металне инсталације на заштитни потенцијал (E_p) на ком процес разарања метала престаје или тачније, одвија се прихватљиво малом брзином. Овим метал основне инсталације доводимо у позицију да у електричном колу има улогу катоде (уместо аноде подложне корозији тј. разарању).

Заштитни потенцијал је потенцијал при ком је ниво корозије мањи од од 0,01 mm годишње (према стандарду SRPS EN 12954). Заштитни потенцијал зависи од корозионе околине (електролита, тј. врсте тла или воде) у ком се метал налази, у мањој мери, и, претежно, од врсте метала.

Горе наведен критеријум се за, на пр. нелегиране и нисколегиране, ненапрегнуте челике у аеробном тлу, радне температуре до 40 °C , инжењерски преводи у:

$$- 0,85 \text{ V} \geq E_p \text{ (мерено у односу на бакар/бакар сулфатну электроду)}$$

Да би се избегао штетан ефекат издвајања водоника из метала и оштећење изолације, заштитни потенцијал не би требао бити негативнији од $- 1,1 \text{ V}$ (дата вредност је конзервативна и у литератури и стандардима се наводе и вредности од $- 1,2 \text{ V}$ до $- 1,5 \text{ V}$, зависно од врсте изолације, али свакако се мора образложити већа вредност од оне препоручене стандардом).

За инсталације положене у анаеробном тлу (где постоји значајна количина сулфатно – редукујућих бактерија и сл.) препоручује се да се заштитни потенцијал одржава негативнијим од $- 0,95 \text{ V}$.

Како је у тлу велике специфичне отпорности тешко постићи дате заштитне потенцијале, сматра се да ће ефикасна заштита бити постигнута и коришћењем заштитних потенцијала

$$- 0,750 \text{ V за } 100 < \rho < 1000 \Omega\text{m}$$

$$- 0,65 \text{ V за } 100 \rho / 1000 \Omega\text{m}$$

где је ρ специфична отпорност тла.

У изузетним случајевима се може користити критеријум од 100 mV катодне поларизације између површине цевовода и референтне електроде која је у контакту са електролитом.

Два су основна типа катодне заштите: заштита протекторским анодама и систем са наметнутом струјом.

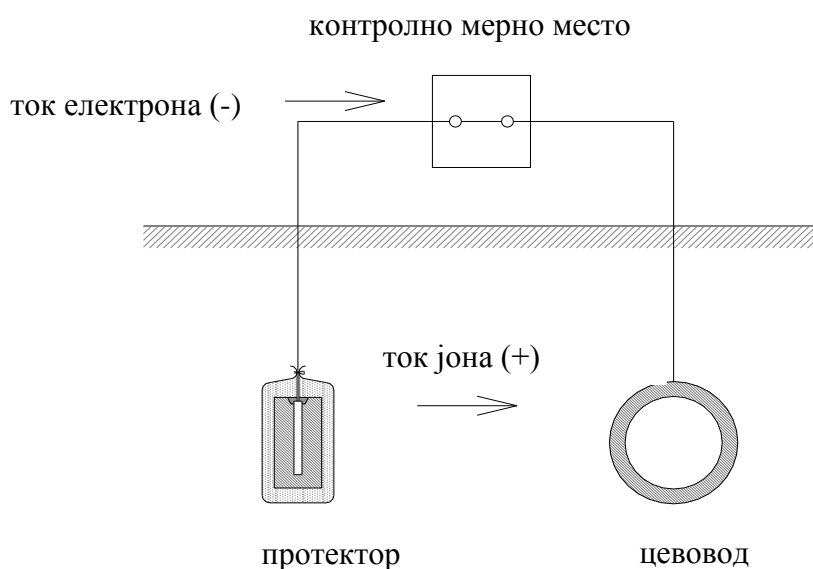
Систем са протекторима

Заштита протекторским анодама се заснива на позицији различитих метала коју заузимају у напонском низу, тј. на оксидационој способности различитих метала (способности за примање електрона).

Из напонског низа метала поређаних по растућој вредности стандардних потенцијала:

K, Na, Ca, Mg, Al, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Sn, Pb, H, Cu, Hg, Ag, Pd, Pt, Au

видимо да је Fe, тј. челик, електропозитивнији у односу на Mg, Al, Zn. Из ове чињенице произлази да ако формирамо електрично коло повезивањем металним проводником штићеног објекта од челика и протектора од, на пр. легуре магнезијума, који се налазе у тлу (електролиту) формираћемо електрохемијску (галанску) ћелију где ће се челик понашати као катода, а магнезијум као анода.



Слика 2: Систем са протекторским анодама

Предност примене заштите протекторским анодама је у једноставности и следствено томе поузданости, мањом могућношћу интерференције са суседним објектима, независношћу од спољног извора напајања и мањим инвестиционим улагањима.

Ограничења примене овог система заштите леже на принципима на којима је заснован. Ограничена разлика потенцијала између протектора и штићеног објекта, као и ограничен струјни излаз протектора чини да се овој вид заштите примењује на објектима мањег обима и у тлу мале специфичне отпорности.



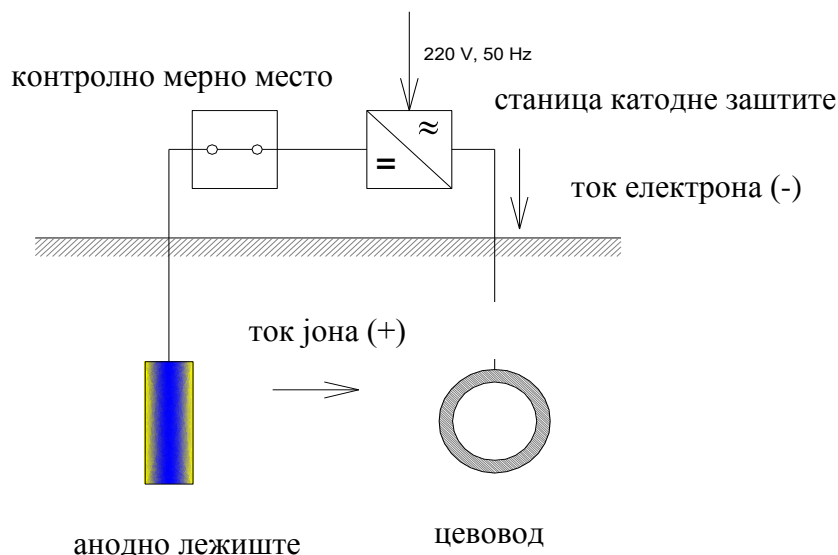
Слика 3: Магнезијумски протектор

Пројектовање оваквог система заштите се заснива на потребама за заштитном струјом.

Систем са наметнутом струјом

Систем са наметнутом струјом има знатно ширу примену. Са гледишта штићене структуре, систем са наметнутом струјом се у основи не разликује од система са протекторским анодама. Разлика је у извору заштитног потенцијала који овде није разлика спонтаних потенцијала метала у тлу, већ спољни извор једносмерног напона. Електрично коло се формира од извора напона, металних веза до штићене структуре која има улогу катоде, електролита и анодног лежишта састављеног обично од више, и у овом случају "жртвених" анода.

Предност овог система је што није ограничен вредностима потенцијала метала у тлу. Као извор једносмерног напона користе се станице катодне заштите које су по својој функцији исправљачи/трансформатори (излазни напон станице је 50 V – ограничен заштитом од електричног удара). Ово омогућава да се штите инсталације великих површина, на великим дужинама, у тлу веће специфичне отпорности. Систем показује флексибилност и струјни излази се могу контролисати.



Слика 4: Систем са наметнутом струјом

Мане система су већи оперативни трошкови, повећано одржавање и могу проузроковати интерференцију с обзиром на удаљеност анодних лежишта.



Слика 5: Станице катодне заштите са и без даљинске контроле

Материјали који се у овом систему користе за аноде су најчешће феросилицијум, графит, металоксидни титанијумске аноде, платинизирани титанијум или ниобијум и проводни полимери.



Слика 6: Феросилицијумске аноде

Код пројектовања оваквог система заштите, потребно је, осим о вредности заштитне струје, на инсталацијама велике дужине водити рачуна и о паду потенцијала.

Мерења у катодној заштити

Иако је корозија у већини случајева спор процес, ефикасност система катодне заштите знатно зависи од правовременог предузимања потребних активности на одржавању система у оптималним перформансама. Специфичност контроле ефикасности система катодне заштите је да се не спроводи само испитивање инсталиране опреме, већ и испитивања на штићеној структури.

Штићена структура је за време свог експлоатационог века изложена разним променама околине које могу значајно да утичу на радне параметре система.

Ако по Менделејеву "наука почиње тамо где почињу мерења", свакако и управљање заштитом од корозије почиње мерењима.

Стандард SRPS EN 12954 даје опште смернице у погледу врсте мерења и периодичности са којом их треба спроводити, а стандард SRPS EN 13509 начине извођења мерења.

Основно мерење које се спроводи је мерење разлике потенцијала инсталација/тло у циљу установљења да ли систем катодне заштите правилно функционише и да ли се заштитни потенцијал креће у дозвољеним границама.

Ово мерење се спроводи у дискретним тачкама на контролно мерним местима која се постављају дуж цевовода или штићене инсталације. На прецизност ових мерења утиче техника мерења и савременим решењима се настоји да се превазиђе појава тзв. IR пада потенцијала узрокованог струјама изједначења, струјама спрега и променљивим и непроменљивим струјама из удаљених извора применом стационарних референтних електрода, купона и тест сонди.

Такође и техникама интезивног мерења које упоредо мере потенцијал штићена инсталација/тло и одговарајућег градијента потенцијала је могуће избећи појаву IR пада потенцијала у резултатима мерења.



Слика 7: Типови контролно мерних места

Усвојени стандарди у РС у области катодне заштите

Може се рећи да је у Републици Србији до 2010. године на снази била тзв. de facto стандардизација решења катодне заштите коју су развиле гасне и нафтне компаније зарад својих потреба, а базирана на стандардима и пракси земаља западне Европе и САД. Од 2010. године, усвајањем сета европских стандарда везаних за катодну заштиту створен је формалан оквир за примену катодне заштите. Усвајање ових стандарда "у корицама", на енглеском језику, иако понекад доноси мање проблеме у примени, даје велику предност, јер се измене стандарда веома лако усвајају пратећи најновија технолошка достигнућа у овој области. Подручја примене и комплексност савремених решења се може проценити из списка стандарда датих у наставку:

- SRPS EN 12954: Катодна заштита укопаних или потопљених металних конструкција - Општи принципи и примена на цевоводе,
- SRPS EN 13509: Технике мерења које се примењују у катодној заштити,
- SRPS EN 12068: Катодна заштита – Спољашње органске превлаке за заштиту од корозије укопаних или потопљених челичних цевовода које се примењују заједно са катодном заштитом – Траке и материјали који се скупљају,
- SRPS EN 50162: Заштита од корозије која настаје од лутајућих струја из система једносмерне струје,
- SRPS EN 15280: Оцењивање вероватноће корозије укопаних цевовода изазване деловањем наизменичне струје, које је примењиво на катодно заштићене цевоводе,
- SRPS EN 12499: Катодна заштита унутрашњих површина металних конструкција,
- SRPS EN 12696: Катодна заштита челика у бетону,
- SRPS EN 13636: Катодна заштита укопаних металних резервоара и припадајућих цевовода,
- SRPS EN 16299: Катодна заштита спољашњих површина основа резервоара надземних складишта у контакту са земљиштем и темељима,
- SRPS EN 15112: Катодна заштита спољашње стране омотача бушотине,
- SRPS EN 12474: Катодна заштита цевовода испод мора,
- SRPS EN 12495: Катодна заштита фиксираних офшор конструкција,
- SRPS EN 13173: Катодна заштита пловећих офшор конструкција,

- SRPS EN 16222: Катодна заштита група бродова,
- SRPS EN 13174: Катодна заштита инсталација у луци,
- SRPS M.E2.991: Загрејачи воде – Катодна заштита од корозије емајлираних посуда од челика – Захтеви и испитивања,
- SRPS EN 15257: Катодна заштита – нивои компетенције и сертификације особља које се бави катодном заштитом.

Морамо нагласити да су стандарди и у овој области, као и сви остали европски стандарди, базирани на минимуму заједничких захтева са гледишта квалитета и безбедности, тако да део националних и компанијских стандарда и даље представља врло корисан водич за пројектовање, извођење и одржавање система катодне заштите.

Техноекономска анализа примене катодне заштите

За кориснике неке металне инсталације постоје два избора: применити превентивне мере заштите од корозије, од којих је примена катодне заштите у комбинацији са применом пасивне заштите облогама најефикаснији, или периодично замењивати инсталације када степен грешке услед цурења постане безбедносни, оперативни или финансијски терет.

За поједине гране индустрије, као што је у гасна, већина земаља ову одлуку не препушта корисницима услед процене да је безбедносни ризик превелик или да је примена других мера, као што су повећана безбедносна растојања гасних инсталација од других инсталација, знатно веће финансијско оптерећење за друштво у целини. У гасној индустрији, у већини земаља, је примена катодне заштите обавезна за подземне цевоводе.

У осталим гранама индустрије, код заштите водовода, подземних резервоара, челика у армираном бетону, је на корисницима да извођењем техно – економске анализе пронађу или не свој интерес у примени катодне заштите.

На тасу су инвестициона улагања у катодну заштиту и трошкови одржавања система са битно продуженим животним веком инсталације и периодична замена инсталација без почетних улагања у катодну заштиту.

Као пример ћу навести економску анализу изведену у сажетом облику на гасоводу пречника 10", дужине 10 km, инвестиционе вредности око 800.000,00 €. Инвестиционо улагање у пасивну заштиту од корозије износи око 9,5 %, а у улагање у катодну заштиту око 0,7 % у односу на укупно улагање. Катодна заштита изискује улагања у одржавање и праћење која годишње износе мање од 0,25 % инвестиционог улагања.

Корист која се добија улагањем у пасивну заштиту је мерљива одмах. Искуства говоре да се на „голим“, незаштићеним, цевоводима корозиона оштећења са истицањем гаса могу јавити већ после прве године експлоатације, а затим њихов број драстично расте. Ако се узме да је просечна цена оправке оштећења 0,7 % од инвестиционе вредности гасовода, јасно је да се већ на четрнаестом оштећењу доказује оправданост улагања у пасивну изолацију. Четрнаест оштећења са истицањем гаса се могу имати већ у трећој години експлоатације. Овде је само сликовито приказано опште становиште којим се одавно не поставља питање оправданости пасивне заштите.

За гасоводе са пасивном изолацијом, а без катодне заштите, прва оштећења се могу јавити после 10 до 15 година експлоатације, а затим број експоненцијално расте до краја експлоатационог века. Види се да је са само седам спречених седам потенцијалних оштећења улагање у катодну заштиту себе оправдало.

Ове вредности улагања, најједноставније мерљиве, указују да се сва улагања у заштиту од корозије исплате. Искуства показују да гасоводи, ако су правилно

изоловани и катодно штићени, имају експлоатациони век знатно дужи од пројектованог и књиговодственог, односно може да буде теоријски неограничен.

Добити које доносе улагања у заштиту од корозије су и повећање безбедности и сигурности испоруке гаса без застоја што у дужем временском периоду свакако доноси и економски мерљиве ефекте.

Коришћена литература:

1. ISO 15589-1 Petroleum and natural gas industries – Cathodic protection of pipeline transportation systems, Part 1 – On land pipelines
2. Unified Facilities Criteria (UFC) 3-570-06 (2003), 3-570-02 (N 2004, A 2005), Department of Defense, USA
3. Управљање заштитом од корозије на челичним гасоводима, М. Хајвазовић, Љ. Топаловић.