

# 20 godina Plinacra – razvoj i nove tehnologije nadzora, upravljanja i održavanja plinskog transportnog sustava

20 years of Plinacro – gas transmission system development and new pipeline monitoring, operation and maintenance technologies

**doc. dr. sc. Darko Pavlović**  
Plinacro d.o.o., Zagreb  
darko.pavlovic@plinacro.hr

**Dario Noha, mag. ing.**  
Plinacro d.o.o., Zagreb  
dario.noha@plinacro.hr

**David Roketinec, dipl. ing.**  
Plinacro d.o.o., Zagreb  
david.roketinec@plinacro.hr

**Hribar Elizabeta, dipl. ing.**  
Plinacro d.o.o., Zagreb  
elizabeta.hribar@plinacro.hr



**Ključne riječi:** Održavanje plinovoda – *in-line* inspekcije, katodna zaštita plinovoda, inspekcije plinovoda dronovima, PIMS

**Key words:** Pipeline maintenance, in-line inspections, pipeline cathodic protection, drone pipeline inspections, PIMS

## Sažetak

Od izgradnje prvih plinovoda koji su služili za transport prirodnog plina u Hrvatskoj prošlo je više od pedeset godina. Naime, razvoj transportnog sustava plinovoda započinje 1954. godine kada INA-Naftaplin počinje graditi prvi plinovod Ivanić Grad – Zagreb, koji je dovršen 1959. godine. Također, izgradnjom plinovoda Rogatec – Zabok te povezivanjem s transportnim sustavom Sloveni-

je osigurani su preduvjeti za uvoz plina iz Rusije, koji započinje 1978. godine. Za to je vrijeme, plinski transportni sustav Republike Hrvatske doživio je brojne izmjene, nadogradnje i modernizacije. Izgrađeni su novi plinovodi, mjerno-redukcijske stanice, plinski čvorovi te kompresorska stanica. Ugrađena je brojna oprema koja je doživjela najveći preobražaj u posljednjih dvadeset godina, od materijala od kojih se danas izrađuju plinovodi, metoda kojima se ispituju pa do sofisticiranih softvera kojima se prate parametri stanja stijenki plinovoda. S napretkom tehnologije neminovno se mijenjaju i načini održavanja plinovoda i pripadajuće opreme. Tako danas Plinacro vrlo precizno snima plinovode *in-line*, računa rast korozije i s priličnom točnošću izračunava vijek trajanja oštećenih cijevi. Plinacro koristi najmodernije *in-line* snimače plinovoda,

ugrađuje katodnu zaštitu na gotovo svim plinovodima te dronovima provjerava plinovode na nepropusnost na nedostupnim dijelovima trasa. Plinacro svojim neprekidnim nadzorom, upravljanjem i održavanjem transportnog sustava i tehnoloških objekata, odgovarajućom pripremom sustava za potrebne uvjete rada, analizom uvjeta u sustavu i predviđanjem njegova ponašanja, osigurava pouzdanu i sigurnu isporuku plina te je nedvojbeno spreman za nove izazove u predstojećim godinama.

## Abstract

The first gas pipelines for the transmission of natural gas in Croatia were built more than fifty years ago. The development of the gas transmission system began in 1954 when INA-Naftaplin started the construction of the first Ivanić Grad-Zagreb gas pipeline, which was completed in 1959. Moreover, the construction of the Rogatec-Zabok gas pipeline and its connecting to the transmission system of Slovenia provided preconditions for the import of gas from Russia, which started in 1978. In this period, the gas transmission system of the Republic of Croatia underwent numerous changes, upgrades, and modernizations. New gas pipelines, measuring-reduction stations, gas nodes and a compressor station were constructed. Numerous equipment has been installed and it has undergone the largest transformation in the last twenty years, in terms of the materials from which gas pipelines are made today, the methods by which they are tested and the sophisticated software that monitors the parameters of the gas pipeline walls condition. With the advancement of technology, the methods of maintenance of gas pipelines and associated equipment are inevitably changing. Today Plinacro conducts in-line inspections of gas pipelines very precisely, it calculates the growth of corrosion and the service life of damaged pipes with considerable accuracy. Plinacro uses the state-of-the-art in-line inspection tools, provides cathodic protection on almost all gas pipelines, and checks gas pipelines for leaks by drones on inaccessible parts of routes. With its continuous monitoring, management and maintenance of the transmission system and technological facilities, adequate preparation of the system for the necessary operating conditions, analysing the conditions in the system and forecasting its behaviour, Plinacro ensures safe and secure gas delivery and it is undoubtedly ready for new challenges in the coming years.

## 1. Uvod

Društvo Plinacro d.o.o. osnovano je 2001. kao sastavni dio INA Grupe, a postaje samostalno Društvo u stopostotnom vlasništvu Republike Hrvatske 11. ožujka 2002. godine. Tadašnji energetske regulator, Vijeće za regulaciju energetske djelatnosti, 2003. izdaje Plinacro dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti transporta plina, čime su ostvareni svi preduvjeti za razvoj tvrtke i plinskog transportnog sustava.

Pri tome je važno istaknuti da je Plinacro sukladno Planu razvoja izgradnje i modernizacije plinskog transportnog sustava u Republici Hrvatskoj u dva investicijska ciklusa (razvojno-ulagački ciklusi, 2002. – 2006., 2007. – 2011.), vrijedna više od 5 milijardi kuna, izgradio više od 1100 kilometara novih plinovoda i pratećih objekata. Isto tako, početkom 2018. počeo je i treći investicijski ciklus vrijedan 2 milijarde kuna (izgrađena prva kompresorska stanica na plinskom transportnom sustavu i osiguran stalni dvo-



Slika 1. – Plinski transportni sustav RH (2001.)



Slika 1a. – Plinski transportni sustav RH (2021.)  
(Izvor: PLINACRO d.o.o.)

smjerni protok plina na interkonekciji s Mađarskom; rekonstrukcijom magistralnog plinovoda Rogatec – Zabok isto je omogućeno i sa Slovenijom, završena je i izgradnja otpremnog plinovoda Zlobin – Omišalj). Na slici 1. prikazan je razvoj transportnog sustava Plinacra od osnutka do danas.

Hrvatska je 1962. godine imala 112 kilometara plinovoda, deset godina kasnije transportni sustav sastojao se od ukupno 484 km plinovoda, a 1982. godine od 1320 km plinovoda. U narednih deset godina izgrađena su dodatna 284 kilometra plinovoda. U trenutku izdvajanja Plinacra iz INA-e 2002. godine transportni sustav sastojao se od 1876 km plinovoda, dok danas Plinacro upravlja s oko 2550 km visokotlačnih plinovoda. Od transportnog sustava kakav je bio prije dvadeset godina nastao je transportni sustav kakav imamo danas – veći, moderniji i za transport sigurniji sustav. Plinovodni sustav Republike Hrvatske sastoji se od ukopanih plinovoda, nadzemnih instalacija, mjerno-redukcijskih stanica, plinskih čvorova i kompresorske stanice te možemo reći da se u dvadeset godina transportni sustav Plinacra gotovo udvostručio.

U vremenu energetske tranzicije i dekarbonizacije plina, ističemo kako je plinski transportni sustav u mogućnosti primiti sve plinove, koji zadovoljavaju zahtjeve standardne kvalitete plina iz Općih uvjeta za opskrbu plinom (bioplin, miješani plin, plin iz biomase i UPP), u onoj mjeri u kojoj se takvi plinovi mogu tehnički i sigurno primiješati u tok prirodnog plina i tako distribuirati kroz plinski sustav. Naime, prema sada dostupnim podacima o mogućnosti transporta vodika kroz sustave za transport prirodnog plina, moguće je bez dodatnih tehničkih zahvata u regulacijskim sklopovima i mjernoj opremi transportirati čak i do 50% vodika u smjesi metana. Pri tome treba istaknuti da kod transporta 100-postotnog vodika kroz mrežu čeličnih plinovoda još nije dovoljno dokazan utjecaj vodika na trajnost i integritet stijenke cjevovoda (zbog male veličine molekule, vodik na sobnoj temperaturi i tlakovima ispod 100 bara uzrokuje krhkost kod čelika veće čvrstoće i prodire u pukotine koje nastaju na površini metala te ima negativan utjecaj na plastičnost materijala, što može dovesti do pucaanja cjevovoda). Negativan utjecaj vodika značajniji je kod materijala veće čvrstoće, koji se koriste kod plinovoda za više razine tlaka. Utjecaj vodika na čelike manje čvrstoće (API 5L A, B, X42 i X46) manji je te se očekuje da će oni biti sigurni za transport visokih koncentracija vodika. S tim u vezi, ako uzmemo u obzir da su u područjima velike koncentracije potrošnje (sjeverozapadna i istočna Hrvatska) plinovodi

izgrađeni od „mekog“ (50 bara) i „čvršćeg“ (70 bar) čelika nalaze u istim koridorima, prema dostupnim saznanjima o utjecaju vodika na stijenske plinovoda, Plinacro sustav ima visoku razinu mogućnosti prihvata i transporta visokih koncentracija vodika, kako u vremenu paralelnog transporta vodika i prirodnog plina, tako i u vremenu pune dekarbonizacije transportnog sustava.

## 2. Tehnologije održavanje transportnog sustava Plinacra

U posljednjih dvadeset godina transportni sustav Plinacra doživio je mnoge promjene. Počela je izgradnja novih, promjerom većih plinovoda predviđenih za rad na višem tlaku, s unutarnjom i vanjskom zaštitom protiv korozije te cijevima od kvalitetnijeg i izdržljivijeg čelika. Sve je to dovelo do razvijenog i modernijeg transportnog sustava plinovoda, triju različitih razreda radnih tlakova:

- *najstariji dio transportnog sustava maksimalnog radnog tlaka 50 bar (oko 1579 km promjera od DN 80 do DN 500 mm),*
- *noviji dio transportnog sustava radnog tlaka do 75 bar (oko 952 km promjera od DN 200 do DN 800 mm),*
- *te najnoviji dio transportnog sustava radnog tlaka 100 bar (dužine 17,66 km i promjera DN 800 mm).*

Kako bi plinski transportni sustav, kakav imamo danas, ostao jednako efikasan i pouzdan, potrebno ga je redovno održavati. U Plinacru je s tehničkog aspekta zauzet stav tzv. prediktivnog održavanja, kojim nastojimo spriječiti kvarove i oštećenja koja bi se mogla očekivati na ovako složenom sustavu te redovnim održavanjem sačuvati plinovode i opremu od kvarova ili havarija. Zahvaljujući dugogodišnjem iskustvu i primjeni novih raspoloživih tehnologija, došli smo do zavidne razine redovnog održavanja plinovoda te u bližoj prošlosti ne bilježimo veća propuštanja ili pucaanja plinovoda. Plinovodi kojima se plin transportira ukopani su u tlo i pod stalnim su utjecajem prirodnih procesa degradacije cijevi, antikorozivne zaštite, trošenja i kvarova ugrađene opreme i materijala. Iako su gotovo svi ukopani plinovodi katodno štice, oni su i dalje pod utjecajem okoline i trećih strana koje mogu uzrokovati oštećenja.

Velik dio plinovoda na transportnom sustavu stariji je od projektiranog životnog vijeka. Kako bi se sukladno globalnim standardima osigurao siguran, pouzdan i kontinuiran rad plinovoda, obavezne su redovite



inspekcije i kontinuirana procjena stanja. Kako bi se osigurao minimalan broj planiranih ili neplaniranih prekida isporuke plina, produljenje životnog vijeka plinovoda te optimizacija troškova održavanja, Plinacro koristi najnovije dostupne tehnologije za preventivno održavanje i kontrolu stanja plinovoda.

### 2.1. In-line inspekcije

Prva *in-line* inspekcija Plinacrovih plinovoda obavljena je 1998. U to vrijeme *in-line* inspekcije su se tek počele koristiti u našem okruženju, a Plinacro ih je prepoznao kao odlične metode za otkrivanje oštećenja na ukopanim plinovodima. *In-line* inspekcije postale su, može se tako reći, „naš najbolji pogled na cijev iznutra“ i omogućile su nam velik iskorak u procesima kontrole stanja i popravaka plinovoda.

Brojnim metodama koje su se koristile prije 1998. moglo se samo utvrditi oštećenje izolacije ukopane cijevi, ali ne i stanje stijenke cijevi. Prisutnost korozije ili uleknuća bili su nam nepoznanica. Plinovodi su popravljani kada bi propustili ili kada bi bili oštećeni, a o preventivnom održavanju možemo govoriti tek od 1998.



Slika 2. Pojedinačna korozijska oštećenja vanjskog dijela plinovoda



Slika 4. Mehaničko oštećenje nastalo radnim strojem za melioraciju

Na plinovodima se koriste *in-line* alati s MFL tehnologijom (*Magnetic Flux Leakage* tehnologija koja se temelji na snimanju promjena magnetskog toka inducirano na stijenci cijevi). MFL tehnologija i danas je najviše korištena metoda za snimanje stanja stijenke cjevovoda, kojima se transportira plin. Ova tehnologija s velikom sigurnošću indicira oštećenja plinovoda uzrokovana nezaustavljivim prirodnim procesima (korozija), oštećenja koja uzrokuju treće strane tj. osobe koje borave i djeluju u prostoru trasa plinovoda, deformacije i pomake uzrokovane prirodnim silama (odroni, potresi) ili druga oštećenja cijevi koja mogu uzrokovati propuštanje plina, požare ili veće havarije. Osnovni principi rada ove tehnologije nisu se mijenjali tijekom proteklih dvadeset godina, ali se u međuvremenu značajno poboljšala točnost, pouzdanost, rezolucija alata, kao i mogućnost korištenja na teže prohodnim cjevovodima (manji radijusi lukova, prolazak pokraj većih prepreka, širi rasponi prihvatljivih tlakova i brzina strujanja plina). Plinacro danas koristi isključivo *in-line* alate visoke razlučivosti, koji daju značajno realniju sliku oštećenja na plinovodima, te smanjuju potrebu za konzervativnim metodama



Slika 3. Primjer „klaster“ korozije



Slika 5. Deformacijsko oštećenje cijevi plinovoda (udubljenje ili engl. „dent“)



Slika 6. Odašiljanje MFL alata na plinovodu promjera DN800



Slika 7. Korišteni MFL alat na plinovodu promjera DN800

procjene potencijalno opasnih oštećenja. Kao rezultat upotrebe najnovije tehnologije snimanja stanja stijenke plinovoda, smanjio se broj potrebnih iskopa u svrhu direktnog mjerenja i procjene oštećenja na licu mjesta. Druga velika prednost korištenja alata visoke razlučivosti, dobivanje je bolje podloge za precizniju simulaciju razvoja svake indicirane anomalije. Također, oni omogućuju točnije i pouzdanije određivanje rasta korozije i potrebnih zahvata/popravaka na plinovodima. Korištenje ove tehnologije omogućilo nam je bolje planiranje termina popravaka i objedinjavanje tj. optimizaciju potrebnih zahvata.

Prilikom odabira *in-line* alata, kada je god moguće, biraju se kombinirani alati koji u jednom prolazu obavljaju nekoliko vrsta snimanja. Najčešće korištena kombinacija uređaja je MFL alat za snimanje stanja stijenke plinovoda, alat za snimanje geometrije tj. deformacije cijevi plinovoda i alat za prostorno pozicioniranje snimljenih informacija.

Suvremeni, kombinirani alati, daju bolji uvid u eventualnu interakciju pojedinih evidentiranih anomalija, kao i oštećenja koja inače ne bi mogla biti pravilno indicirana i prepoznata korištenjem zasebnih tehnologija. Plinacro je u proteklom razdoblju implementirao redovne *in-line* inspekcije na svim plinovodima, koji imaju zadovoljavajuće uvjete za njihovo korištenje. Ova tehnologija omogućila je pronalaženje oštećenja na plinovodima. Sva indicirana oštećenja pravodobno su provjerena i po potrebi sanirana.

U proteklih deset godina obavljeno je više od 300 sanacija potencijalno opasnih oštećenja metodama bez zaustavljanja protoka plina (sanacija vanjskim obujmicama), kao i brojne zamjene jače oštećenih dijelova plinovoda (godišnje se zamjenjuje od neko-

liko stotina do nekoliko kilometara plinovoda). Osim navedenih tehnologija, kontinuirano se prati i razvoj drugih *in-line* tehnologija, te se one planiraju koristiti kada to postane ekonomski opravdano ili nužno radi osiguranja sigurnog i pouzdanog rada plinovoda.

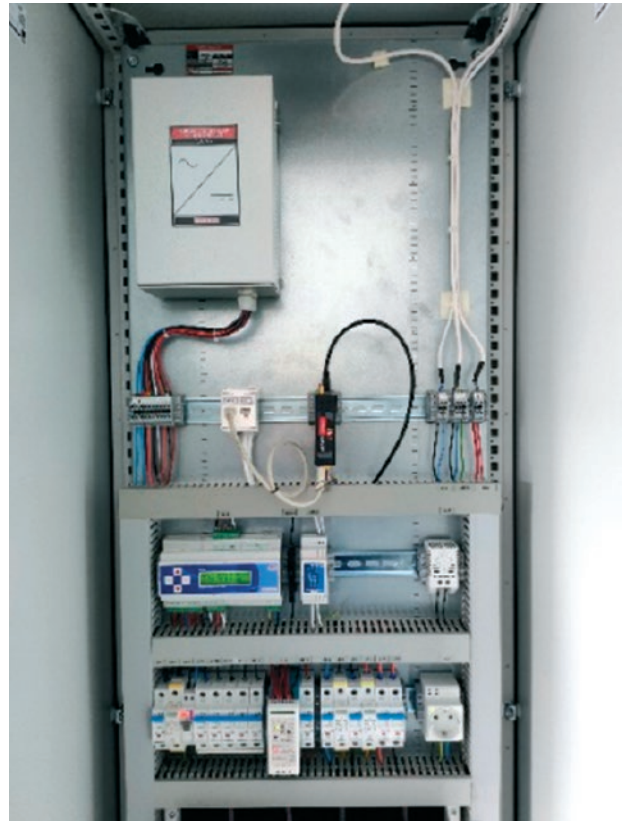
## 2.2. Modernizacija sustava katodne zaštite

Sustav katodne zaštite, uz zaštitne prevlake, pruža cjelovitu zaštitu plinovoda od korozije te omogućuje siguran i pouzdan transport plina. U posljednjih dvadeset godina osnovni principi katodne zaštite nisu se bitno mijenjali, no razvoj modernih tehnologija, prije svega telekomunikacija, informatike i automatizacije, kao i razvoj i dostupnost novih materijala, omogućio je optimizaciju sustava te mogućnost detaljnog praćenja stanja katodne zaštite plinovoda. Učinkovitost katodne zaštite dokazana je mnogim primjerima u praksi te je njeno uvođenje zakonska obveza u mnogim zemljama. Značajan pomak ostvaren je u razvoju napojnih stanica katodne zaštite (uređaji koji omogućuju zaštitnu struju). Prije dvadesetak godina napojne stanice podešavale su se ručno, a podatci o stanju uređaja (kvarovi, izlazni napon i struja) nisu postojali u realnom vremenu te je ispravnost i provjeru parametara uređaja bilo moguće utvrditi tek prilikom fizičkog obilaska uređaja. Razvojem telekomunikacija i informatike, stvoren je SCADA sustav nadzora i upravljanja katodnom zaštitom, kojim je moguće pratiti relevantne podatke u realnom vremenu. Mobilne (od 2G pa do 5G) i optičke mreže omogućavaju da se svi relevantni podatci vrlo brzo i uz minimalnu „potrošnju“ energije prenose od napojnih stanica do SCADA sustava, koji sve prenesene podatke obrađuje, arhivira i prikazuje odgovornim





Slika 8. Napojna stanica s ručnom regulacijom



Slika 9. Napojna stanica s automatskom regulacijom

osobama. Napredak je ostvaren i na području regulacije napojnih stanica. U prošlosti regulacija je bila ručna, što je podrazumijevalo dolazak na lokaciju, mjerenje zaštitnih potencijala te podešavanje uređaja u skladu s podacima. Postupak se ponavljao sve dok izlazni parametri uređaja (napon i struja) nisu omogućili adekvatnu razinu zaštitnog potencijala (podešavanje dok mjereni potencijal nije jednak zadanom), odnosno osigurali zaštitu plinovoda.

Današnji uređaji samostalno mjere zaštitni potencijal te uspoređujući mjerenu vrijednost potencijala sa zadanom, samostalno reguliraju izlazni napon i struju, kako bi mjereni potencijal odgovarao zadanom i time osigurao zaštitu plinovoda. Zahvaljujući automatskoj regulaciji uređaja, moguće je u realnom vremenu anulirati i smetnje poput lutajućih struja, što nije bilo moguće uređajima s ručnom regulacijom.

Za rad katodne zaštite, uz napojne stanice, ključna su i anodna ležišta. Napojna stanica služi kao izvor napajanja, dok anodna ležišta služe kao nisko-otporni put zaštitnoj struji katodne zaštite. U prošlosti, gotovo su se isključivo koristila horizontalna anodna ležišta. Iako imaju mnoge prednosti, horizontalna ležišta zahtijevaju veći prostor (minimalno 50 metara od osi plinovoda te barem 50-ak metara za polaganje anoda) te nisu pogodna za ugradnju

gdje postoji mogućnost utjecaja na strane ukopane metalne konstrukcije u blizini ležišta (cjevovodi, spremnici, itd.). Razvojem tehnologije vertikalna anodna ležišta postala su pristupačnija. Iako su skuplja od horizontalnih, vertikalna anodna ležišta pružaju brojne prednosti te su na određenim lokacijama neophodna.

Anodna ležišta ugrađuju se tamo gdje nema prostora za ugradnju horizontalnih (ne treba im veliki prostor za ugradnju), kao i na lokacijama gdje postoji opasnost od negativnog utjecaja na strane metalne konstrukcije. Vertikalna ležišta idealna su za ugradnju u urbanim područjima, kao i na područjima gdje horizontalna mogu negativno utjecati na strane ukopane metalne konstrukcije.



Slika 10. Horizontalno anodno ležište



Slika 11. Ukopano vertikalno anodno ležište



Slika 13. Polarizacijska ćelija s kalijevom lužinom



Slika 14. Poluvodička polarizacijska ćelija



Slika 15. Betonsko mjerno mjesto



Slika 16. Plastično mjerno mjesto

Napredak je ostvaren i kod uređaja za uklanjanje smetnji s plinovoda, poput lutajućih struja, struja munje itd. U prošlosti, korištene su polarizacijske ćelije ispunjene ekološki manje prihvatljivom kalijevom lužinom (KOH). Osim ekološke neprihvatljivosti, ćeliju je trebalo nadopunjavati, što je uzrokovalo i potencijalnu opasnost za djelatnike. Polarizacijske ćelije punjene kalijevom lužinom zamijenjene su poluvodičkim polarizacijskim ćelijama koje nije potrebno održavati.

Mjerna mjesta katodne zaštite također su doživjela promjene u proteklom razdoblju. Masivna i teška betonska mjerna mjesta zamijenila su mjerna mjesta napravljena od PVC-a. Jednostavna ugradnja i modularnost neke su od prednosti koje pruža razvoj tehnologije u području plastičnih masa.

### 3. Ispitivanje stanja zaštitne prevlake cijevi

U području ispitivanja stanja zaštitne prevlake, dostupnost višenamjenskih i cjenovno dostupnih mjernih uređaja omogućila je preciznije i jednostavnije određivanje potencijalnih oštećenja zaštitnih prevlaka i stanja katodne zaštite. Mogućnost simultanog mjerenja omogućila je i redukciju troškova popravaka, jer nije nužno sanirati svako oštećenje zaštitne prevlake. Kao jedna od najstarijih metoda snimanja stanja zaštitne prevlake, koristi se Pearson metoda. U usporedbi s novijim metodama, poput DCVG, ACVG ili PCM, Pearson metoda pokazuje lošije rezultate (lošija detekcija oštećenja) te je danas primjena ove metode ograničena. DCVG i ACVG metode slične su po načinu detekcije oštećenja (mjeri se gradijent napona), međutim, različit je način djelovanja – DCVG koristi postojeće napojne stanice i istosmjernu struju, a

ACVG koristi prijenosne generatore signala (izmjenična struja) koje je potrebno postaviti duž plinovoda. PCM koristi metodu detekcije „gubitka“ struje na mjestima oštećenja zaštitne prevlake na cjevovodu (također se koriste prijenosni generatori signala). PCM metoda pogodna je i za lociranje mogućih podzemnih kontakata sa stranim instalacijama. Ako ne postoji sustav katodne zaštite narinutom strujom, ACVG i PCM su češće korištene metode.

Plinacro posljednjih godina korištenjem prijenosnih, višekanalnih uređaja obavlja simultano mjerenje ON/OFF potencijala katodne zaštite te stanja zaštitne prevlake plinovoda i to DCVG i CIPS metodama. Uređaji imaju ugrađen GPS prijemnik čime je omogućeno i snimanje točne lokacije svakog mjernog mjesta. S obzirom na to da se mjerenja obavljaju simultano, točke mjerenja stanja zaštitne prevlake i stanja OFF potencijala se preklapaju pa je moguće s visokom sigurnošću utvrditi štiti li na točki oštećenja zaštitne prevlake katodna zaštita plinovod od korozije. Na teško dostupnim lokacijama na navedeni se način izbjegava potreba za skupim popravcima zaštitne prevlake.

Ako katodna zaštita (OFF potencijal) zadovoljava, nije potrebna sanacija svih oštećenja zaštitne prevlake. Naravno, kao potvrdu stanja cijevi koriste se i podatci iz *in-line* inspekcije.

Iako je navedenom metodom (DCVG/CIPS) moguće dobiti kompletan pregled stanja prevlake i katodne zaštite te je kao takva ta metoda optimalna u pogledu količine podataka i evaluacije, ona nije pogodna u slučajevima gdje se mogu očekivati lutajuće struje. U takvim slučajevima najčešće se koristi PCM metoda za snimanje stanja zaštitne prevlake. PCM se koristi i u situacijama kada postoje interferencije sa stranim ukopanim metalnim objektima.





Slika 17. Primjeri loše antikoroziivne prevlake



#### 4. Inspekcije trasa plinovoda bespilotnim letjelicama (dronovi)

Osim kontrole stanja samog plinovoda, sukladno zakonskim odredbama te interno definiranim procedurama, obaveza operatera je kontrola trasa i objekata na plinovodu. Pri tome se kontrolira ispravnost obilježnosti trase, eventualni građevinski ili drugi zahvati u pojasu plinovoda, rast biljaka dubokog korijena u pojasu plinovoda te koncentracija metana duž trase plinovoda. Definiranu kontrolu trase uobičajeno su, ophodnjom pješice duž trase plinovoda, obavljala najmanje dva operatera. Jedan od operatera detektorom položaja cijevi određuje točan položaj plinovoda,

dok drugi iza njega detektorom plina traži eventualno propuštanje plina. Paralelno vode evidenciju o izmjenjenim vrijednostima i uočenim pojavama na plinovodu. S obzirom na mogući učinak pješačke ophodnje, pogotovo na teže prohodnim dijelovima trasa (kanali, dvorišta, poljoprivredni nasadi), ovaj način kontrole prilično je neučinkovit. U slučaju trasa u planinskim područjima (regija Južna Hrvatska i Zapadna Hrvatska) postoje dijelovi koji su gotovo neprohodni i opasni (odroni kamenja, suhozidi), a pristup vozilima ponekad je nemoguć ili otežan i opasan.

Razvojem tehnologije omogućena nam je alternativna metoda obveznih kontrola trasa snimanjem iz zraka. Od 2020. Plinacro na teško prohodnim terenima koristi multitrotorske bespilotne letjelice (indu-



Slika 18. Primjer teško prohodnog terena





Slika 19. Беспилотна летјелјца опремљена видеокamerom i TDLAS detektorom metana



Slika 20. Erozijski odron terena



Slika 21. Ilegalno odlagalište otpada i nepravilno postavljen marker



Slika 22. Pregled pojačanih koncentracija plina metana duž trase plinovoda

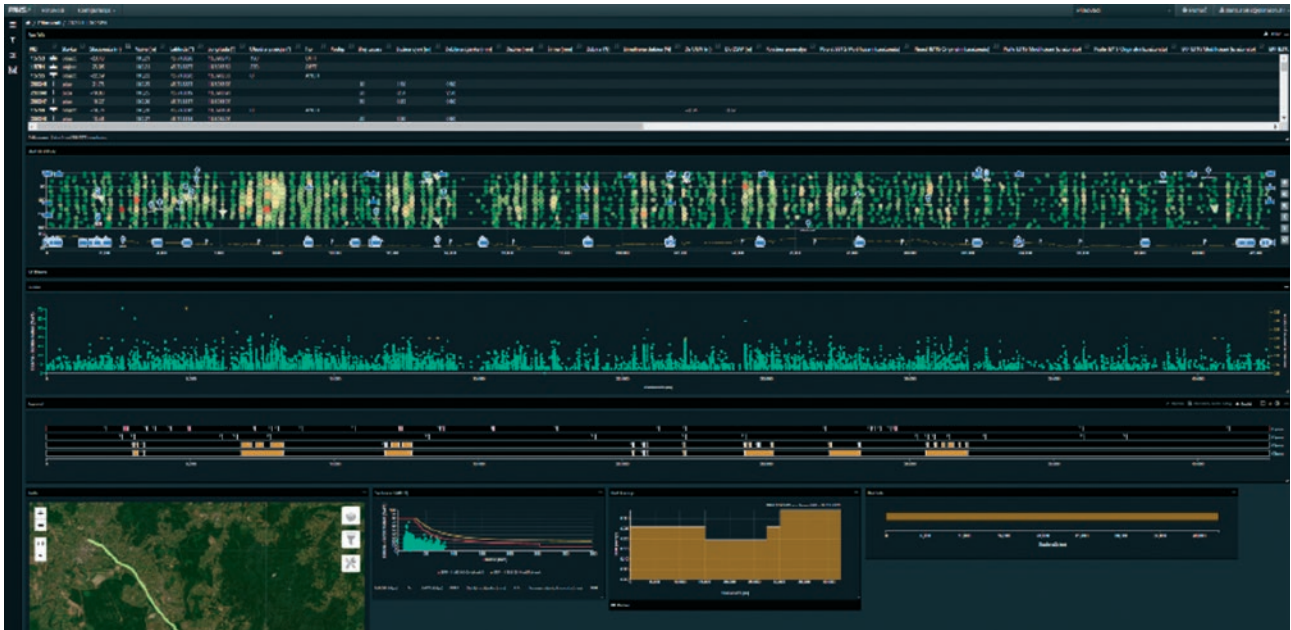
strijski *heavy lifter* dron) opremljene TDLAS detektorom koncentracije metana (laserska spektroskopija), videokamerom i GPS+GLONASS lokatorom.

Prilikom prve inspekcije utvrđene su određene nepravilnosti uzrokovane prirodnim pojavama (erozija tla, odroni), neovlašteni zahvati u pojasu plinovoda od strane trećih osoba, ilegalni deponiji otpada i sl.

Prikazana tehnologija daje nam bolji pregled trase, konzistentnija mjerenja i trajni arhivski foto i videozapis stanja trase u određenom trenutku. Osim toga, djelatnici se ne izlažu opasnijim neprohodnim područjima, a u slučaju prirodnih prepreka (planinska područja, rijeke, kanali) koje iziskuju mnogo obilazaka da bi se pristupilo trasi plinovoda, očita je i značajna ušteda vremena i operativnih resursa. Za ostala, lakše pristupačna područja gdje nova tehnologija još nije ekonomski opravdana i dalje se koristi klasičan pješački obilazak i nadzor trase.

## 5. PIMS sustav

Tijekom proteklih godina Plinacro je uveo digitalizaciju brojnih dijelova svojih tehnoloških i poslovnih procesa. Jedan od primjera je PIMS sustav, koji je uveden kao jedinstvena platforma za praćenje svih informacija o zahvatima i/ili izmjenama duž bilo kojeg plinovoda, za spremanje rezultata provedenih ispitivanja, analizu trenutnog stanja kao i procjenu razvoja indiciranih anomalija na plinovodu te planiranje i praćenje potrebnih sanacija. Prije dvadeset godina svi zapisi izrađivani su i arhivirani u fizičkom (papirnatom obliku) te pohranjivani lokano u pojedinačnoj organizacijskoj jedinici. Kako Plinacro na području Republike Hrvatske trenutno ima pet samostalnih regionalnih organizacijskih jedinica, koje provode radove ili nadzor radova na svojem dijelu transportnog sustava, podatci su bili teško dostupni za sveobuhvatnu sistematsku analizu ili planiranje. Razvojem transportnog sustava mijenjale su se granice organizacijskih jedinica i djelatnici zaduženi za pojedino područje održavanja, što je nerijetko dovodilo i do gubitka bitnih informacija koje nisu bile pravilno i pravodobno zapisane. Razvojem digitalnih medija znatno je olakšana razmjena podataka. Organizirano je centralno mjesto za sustavno sakupljanje i obradu podataka i to ne samo podataka *in-line* inspekcija, nego i svih ispitivanja i nadzora koji se obavljaju na plinovodima. Tijekom 2018. Plinacro je uveo PIMS sustav. Plinacro je jedna od prvih tvrtki koja je uvela potpuno nov softverski program, koji omogućava pohranu svih relevantnih podataka o plinovodima na

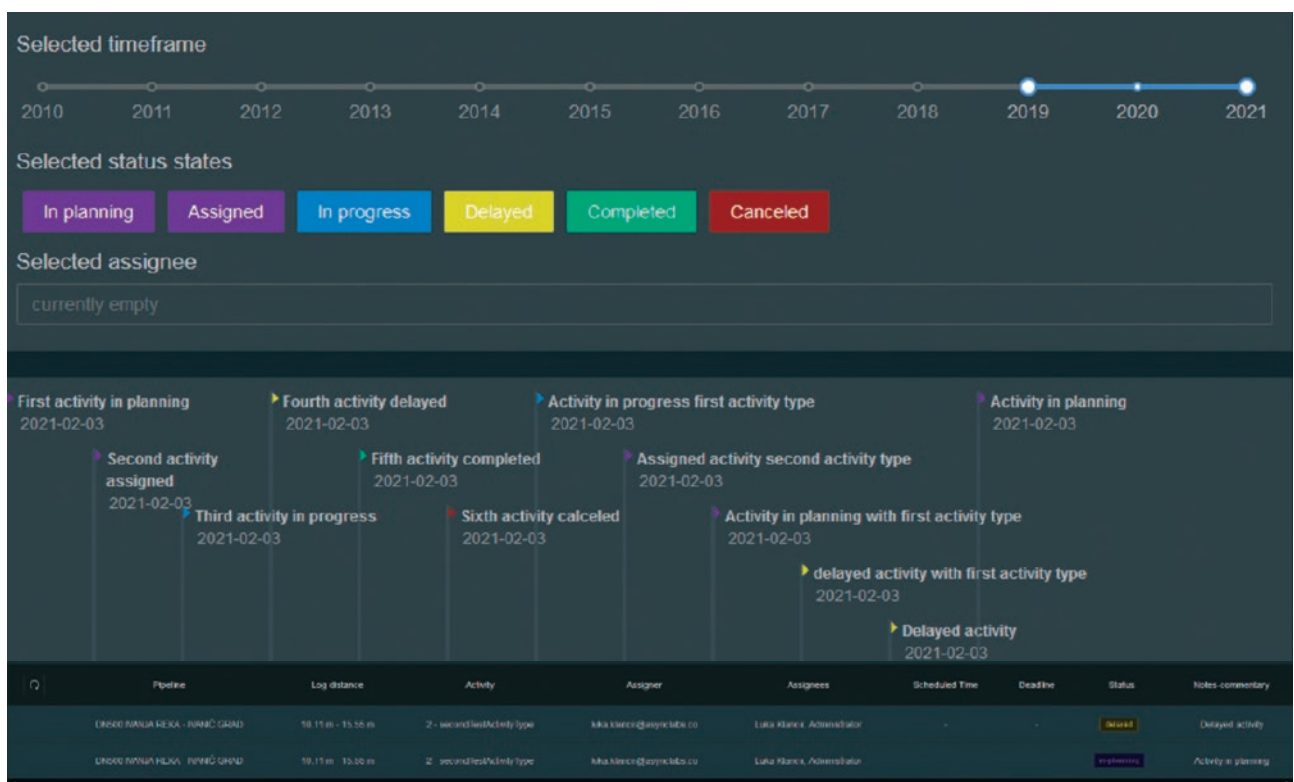


Slika 23. Sučelje iz PIMS sustava

jednom mjestu te centralno planiranje svih održavanja vezanih uz plinovode.

PIMS je smješten na internom virtualnom serveru, a za korisnike je dostupan kao mrežna aplikacija na računalu ili mobilnom uređaju. Mobilni pristup podacima prilikom izvođenja radova na terenu pokazao se izuzetno korisnim, u smislu donošenja boljih odluka,

kao i uštedi vremena prilikom prikupljanja relevantnih informacija. Izmjene na plinovodnom sustavu moguće je evidentirati odmah prilikom izvođenja radova na terenu, što pridonosi smanjenju mogućnosti za gubitak bitnih informacija, a sve informacije postaju odmah i trajno dostupne svim trenutnim i budućim sudionicima u održavanju integriteta plinovoda.



Slika 24. Primjer pregleda definiranih aktivnosti





Slika 25. Primjer panela s objedinjenim informacijama za odabrani dio sustava

Jedna od bitnih prednosti PIMS sustava su alati za pravilno poravnanje (preklapanje) podataka iz različitih izvora te manipulacija setovima podataka prilikom izmjena na sustavu, kao što je npr. rekonstrukcija prilikom koje dijelovi plinovoda mijenjaju svoju poziciju. Potrebna je milimetarska preciznost poravnanja pozicija svih točaka kako bi se pratio razvoj pojedinih anomalija. Prije uvođenja PIMS platforme analiza trenutnog stanja obavljala se pregledom *text* datoteka ili specijaliziranih preglednika, ovisno o dobavljaču i vrsti provedenog ispitivanja. Zbog ograničenja tehnologije, većina tih inspekcija nema jedinstveni koordinatni sustav (GPS koordinatu ili stacionažu). Pojedina točka na stvarnom plinovodu nerijetko je u različitim rezultatima ispitivanja bila prikazana s pomacima od nekoliko centimetara, pa i do 30 metara. Otežavajuća okolnost je i činjenica da pomaci skala nisu ravnomjerno raspodijeljeni duž trase, nego su skale lokalno više ili manje rastegnute. Zajedničke točke iz različitih izvora podataka teško su prepoznatljive bilo kojem operateru, pa se nerijetko pribjegavalo ručnoj interpolaciji lokacije svake promatrane indikacije. Međutim, prosječna *in-line* inspekcija sadrži velike količine podataka, a starenjem plinovoda rezultati pojedinih *in-line* inspekcija sadrže često i 100.000 indikacija. Ručno uparivanje točaka i prilagodba skala postao je prespor i nepouzdan proces. Danas tu značajno pomaže uvedeni PIMS sustav, koji raspolaže alatima za automatizirano ili poluautomatizirano uparivanje pojedinih točaka tj. značajki iz različitih setova podataka duž trase promatranog plinovoda. Osim toga, sustav raspolaže i alatima za olakšavanje

segmentirane analize, ovisno o promjeni brojnih parametara duž plinovoda ili rezultata drugih snimki. Obrada i analiza dostupnih informacija značajno se ubrzala te se uvelike smanjila mogućnost grešaka kod pripreme podataka ili previda eventualnog međusobnog utjecaja indikacija dobivenih različitim ispitivanjima. Kroz ovaj sustav radi se i planiranje potrebnih zahvata te praćenje njihove provedbe, tj. puni „životni ciklus“ svake od definiranih aktivnosti – od identifikacije oštećenja pa do saniranja.

Objedinjena platforma sa svim informacijama o stanju pojedinih elemenata plinovoda i anomalija, koje mogu utjecati na sigurnost ili pouzdanost transportnog sustava, kao i njezinim promjenama tijekom vremena, omogućila nam je preciznije predviđanje razvoja bilo koje indicirane anomalije.

To je bila osnova za uvođenje principa prediktivnog održavanja koje za rezultat ima:

- minimalan broj planiranih ili neplaniranih prekida isporuke plina,
- optimizaciju troškova održavanja,
- produljenje životnog vijeka plinovoda,
- sigurniji i pouzdaniji rad transportnog sustava.

## 6. Popravci korištenjem obujmica

Sve indikacije o potencijalnim oštećenjima ili nepravilnostima na plinovodu se provjeravaju te nakon defekataže na licu mjesta se popravljaju odgovarajućim metodama popravaka. U iznimnim slučajevima, ovisno o vrsti oštećenja cijevi, popravak je moguć jedino zamjenom cijevi. Međutim, kad god je to moguće, za sanaciju oštećenja cijevi plinovoda koristimo metode koje ne zahtijevaju zaustavljanje rada plinovoda i njegovo pražnjenje. Korištenje ovih tehnologija značajno smanjuje utjecaj na okoliš, kao i trošak cjelokupne sanacije. U posljednjih dvadeset godina na tržištu su se pojavili kompozitni materijali, koji omogućavaju popravak oštećene cijevi plinovoda bez potrebe za zaustavljanjem rada plinovoda i pražnjenjem plina iz plinovoda. Naftno – plinska industrija ih je prihvatila i ugradila u norme, koje definiraju postupke i tehnologije održavanja cjevovoda.

Plinacro je, također, počeo s praksom upotrebe kompozitnih materijala koji su se pokazali praktični i ekonomski opravdani za zahvate manjeg opsega. Najčešće je korištena kompozitna obujmica sastavljena od karbonskih vlakana i epoksidnog punila.

U slučajevima sanacije oštećenja za koje kompozitne obujmice nisu certificirane, koriste se metalne dvodijelne obujmice, koje se također mogu postaviti



Slika 26. Popravak oštećenja postavljanjem kompozitne obujmice

na plinovod zavarivanjem na „živi“ plinovod, bez zaustavljanja rada plinovoda. Plinacro je usvajanjem najboljih svjetskih praksi tijekom prethodnih godina obavio preko 300 popravaka bez zaustavljanja rada plinovoda te veći broj planiranih zamjena kritično oštećenih dijelova plinovoda, čime su izbjegnuta brojna propuštanja ili veće nezgode (havarije) na transportnom sustavu. Posljedice propuštanja ili havarije, osim samih materijalnih troškova uzrokovanih prekidom transporta plina, sanacije, nadoknade šteta oštećenim subjektima i sl., uvelike utječu i na narušavanje ugleda i povjerenja javnosti i regulatornih tijela u sposobnost operatora transportnog sustava.

## 7. Zaključak

Uvažavajući strateške odrednice razvoja, plinski transportni sustav Republike Hrvatske oblikovan je i građen s ciljem da se omogući uklapanje u sve nove strateške dobavne projekte, od kojih je najznačajniji Terminal za UPP na otoku Krku, kao najveći potencijal za razvoj cjelokupnog poslovanja s plinom, kao i Jonsko-jadranski plinovod (IAP). Slijedom činjenice da je plinski transportni sustav dosegno značajnu razinu razvijenosti, njegov daljnji razvoj bit će najvećim dijelom određen opsegom i dinamikom provedbe tih projekata. Postojeći plinski transportni sustav Republike Hrvatske spreman je za uklapanje u razmatrane mogućnosti novih dobavnih projekata, no pri tome treba voditi računa da daljnji razvoj sustava, osim konstantnog povećanja sigurnosti opskrbe, iziskuje i kontinuirani nadzor, odnosno aktivnosti na pouzdanosti sustava opskrbe (transporta).

Možemo reći da Plinacro neprekidnim nadzorom, upravljanjem i održavanjem transportnog sustava i

tehnoloških objekata, odgovarajućom pripremom sustava za potrebne uvjete rada, analizom uvjeta u sustavu i predviđanjem njegova ponašanja osigurava pouzdanu te sigurnu isporuku i transport plina. S tim u vezi, a kako bi se osiguralo produljenje životnog vijeka plinovoda te optimizacija troškova održavanja, možemo istaknuti da Plinacro, kao operator plinskog transportnog sustava, koristi najnovije dostupne tehnologije za preventivno održavanje i kontrolu stanja plinovoda. Transportni sustav svake godine postaje sve veći te klasično održavanje postaje sve kompleksnije. Primjerice, *In-line* inspekcije postale su redovni dio održavanja transportnog sustava te su nam uvelike pomogle u planiranju održavanju plinovoda. Integriranje podataka više različitih metoda snimanja stanja plinovoda (*In-line*, dronom, DCVG, PCM i dr.) u jedan softver (PIMS) omogućilo nam je da možemo predvidjeti rast korozije, ovisno o tlu u kojem se plinovod nalazi, o starosti plinovoda, o stanju izolacije itd. Upravo ti podatci su postali temelj planiranja održavanja plinovoda u Plinacro.

Svake godine izazovi su sve veći, sve je više ugrađene nove, modernije opreme za koju treba imati vrhunski obučeni kadar te uz redovno održavanje postojeće opreme (koja je sve starija, zahtjevnija te je potrebna redovita kontrola, nadogradnja i osuvremenjivanje) predstavlja nove izazove s kojima se Plinacro uspješno nosi omogućavajući sigurnosti opskrbe i pouzdanost transportnog sustava. Kao što smo naveli, danas je plinski transportni sustav u mogućnosti primiti sve plinove koji zadovoljavaju zahtjeve standardne kvalitete plina iz Općih uvjeta za opskrbu plinom (bioplin, miješani plin, plin iz biomase i UPP), u onoj mjeri u kojoj se takvi plinovi mogu tehnički i sigurno primiješati u tok prirodnog plina i tako distribuirati kroz plinski sustav. Operatori transportnih sustava već razmatraju različite mogućnosti prilagodbe mreža većim udjelima obnovljivih plinova, no zbog određene specifičnosti (primjerice vodika) treba imati na umu činjenicu da još nije dovoljno istražen njegov utjecaj na trajnost i integritet stijenke cjevovoda. Pri tome, prijelaz s prirodnog plina na zelene plinove neće imati značajan utjecaj samo na kvalitetu plina, nego i na dinamiku protoka u mreži – potreba za fleksibilnošću u kvaliteti plina u cijelom plinskom lancu u budućnosti će postati izraženija.

Zaključno, nedvojbeno je da će se dekarbonizirana Europa zasnivati na međusobnoj interakciji između proizvodnje obnovljive električne energije i pretvaranja „zelenih elektrona u zelene molekule“



za transport, skladištenje i opskrbu svih sektora. Pri tome postojeća plinska infrastruktura imati će vrlo važnu ulogu u transportu, skladištenju i distribuciji obnovljivih i niskougljičnih plinova, pri čemu će miješanje vodika u plinskim mrežama predstavljati jedno od mogućih rješenja za početnu proizvodnju

zelenog vodika. U tom kontekstu, možemo istaknuti da Plinacrov transportni sustav ima visoku razinu mogućnosti prihvata i transporta vodika, u vremenu paralelnog transporta vodika i prirodnog plina i u današnjem (budućem) vremenu energetske tranzicije i dekarbonizacije plina, odnosno transportnog sustava.

## Literatura

1. Službeni list SFRJ: „Pravilnik o tehničkim uvjetima i normativima za siguran transport tekućih i plinovitih ugljikovodika magistralnim naftovodima i plinovodima te naftovodima i plinovodima za međunarodni transport“
2. HRN EN ISO 15589-1 „Industrija nafte i prirodnoga plina -Katodna zaštita cjevovodnih transportnih sustava -1. dio: Cjevovodi na kopnu“
3. HRN EN 12954, Katodna zaštita ukopanih ili uronjenih metalnih objekata – Opća načela i primjena za cjevovode
4. API RP 1107 „Pipeline maintenance welding practices“
5. ASME 31.8 „Gas Transmission and distribution piping systems“
6. ASME 31.8S „Managing system integrity of gas pipelines“
7. ASME 31G „Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines“
8. ASME PCC-2 „Repair of Pressure Equipment and Piping“
9. Plinacro, Desetogodišnji plan razvoja plinskog transportnog sustava Republike Hrvatske 2021. – 2030., svibanj 2020.
10. Pavlović, D., Banovac, E., 2020. „Natural gas as a geopolitical factor of energy transition“, Proceedings of the 35<sup>th</sup> International Scientific & Expert Meeting of Gas Professionals, 1-12, (*Invited lecture*)