

# ISPITIVANJE VT PLINOVODA METODAMA BEZ RAZARANJA

---

Ramov, Ivor

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:460398>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STUDIJ STROJARSTVA

IVOR RAMOV

**REKONSTRUKCIJA VT ČELIČNOG  
PLINOVODA  
ISPITIVANJE ČE CIJEVI NA  
NEPROPUSNOST METODOM ISPITIVANJA  
BEZ RAZARANJA**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, rujan, 2023.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STUDIJ STROJARSTVA

IVOR RAMOV

**REKONSTRUKCIJA VT ČELIČNOG  
PLINOVODA  
ISPITIVANJE ČE CIJEVI NA  
NEPROPUSNOST METODOM ISPITIVANJA  
BEZ RAZARANJA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: prof. Tomislav Božić, dipl. ing.

KARLOVAC, rujan, 2023.

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija te stručnu literaturu i uz konzultacije sa mentorom Tomislavom Božićem, dipl. ing.

Karlovac, 18.09.2023.

Potpis studenta \_\_\_\_\_

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru profesoru Tomislavu Božiću dipl. ing., na ukazanom povjerenju, pruženoj pomoći, te stručnom vodstvu tijekom izrade završnog rada.

Također zahvaljujem svome Poslodavcu Gradskoj plinari Zagreb d.o.o., koja mi je omogućila nastavak školovanja na Veleučilištu u Karlovcu, te završetak Specijalističkog diplomskog stručnog studija strojarstva.

## **SAŽETAK**

Ideja završnog rada je opisati rekonstrukciju čeličnog visokotlačnog (VT) plinovoda te razloge zbog kojih dolazi do rekonstrukcije čeličnog (VT) plinovoda.

U uvodnom dijelu opisan je pojam distributivno područje plina, plinovod, elementi plinovoda, radni tlakovi i montaža VT plinovoda.

Tijekom rada prikazani su postupci i vrste metoda ispitivanja VT plinovoda sukladno zakonskoj i podzakonskoj regulativi. U završnom dijelu rada opisane su metode ispitivanja bez razaranja čeličnih cijevi VT plinovoda i način saniranja istog.

**KLJUČNE RIJEČI** : Rekonstrukcija, VT plinovod, metode ispitivanja, zakonska regulativa.

## **SUMMARY**

The idea of the final paper is to describe the reconstruction of the steel high-pressure gas pipeline and the reasons for the reconstruction of the steel gas pipeline.

In the introductory part, general terms of natural gas, elements of gas pipelines, working pressures and installation of high-pressure gas pipelines are described.

During the work, procedures and types of high-pressure gas pipeline testing methods were presented in accordance with legal and by-law regulations. In the final part of the paper, methods of non-destructive testing of steel pipes of the high-pressure gas pipeline and the method of its rehabilitation are described.

**KEY WORDS:** Reconstruction, high-pressure gas pipeline, test methods, legal regulations.

# SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Općenito.....	2
2.1. Prirodni plin.....	3
2.2. Sastav i svojstva.....	4
2.3. Prednosti prirodnog plina.....	5
3. Elementi plinovoda.....	6
3.1. Zapori.....	6
3.1.1. Ispitivanje funkcionalnosti ugrađenih kuglastih slavina.....	7
3.2. Cijevi i fitinzi.....	8
3.3. Zaštitne cijevi.....	8
3.4. Izolacija.....	10
4. Minimalne sigurnosne udaljenosti od plinskog distribucijskog sustava.....	11
5. Montaža VT plinovoda.....	13
6. Katodna zaštita.....	14
6.1. Osnove katodne zaštite.....	14
6.2. Zaštita od korozije - katodna zaštita VTP.....	16
6.3. Tehničko rješenje.....	17
7. Ispitivanje zavarenih spojeva i debljine stijenke plinovoda i nosive konstrukcije nadzemnog dijela VT plinovoda - Podsusedski most.....	19
7.1. Uvod.....	19
7.2. Vizualni pregled plinovoda i konstrukcije.....	19
7.3. Radiografsko ispitivanje.....	23
7.4. Ultrazvučno mjerenje debljine stijenke VT plinovoda.....	25
8. Ispitivanje VT plinovoda DN 500 ultrazvučnom i vizualnom metodom na lokacijama iskopa dobivenih Pearson's metodom.....	31
8.1. Vizualna metoda.....	32
8.2. Ispitivanje zavarenih spojeva ultrazvučnom metodom.....	34

8.3. Oprema.....	36
8.4. Baždarenje i ispitivanje.....	36
8.5. Rezultati mjerenja debljine stjenke na lokacijama.....	37
9. Razvoj strategija održavanja.....	40
9.1. Planiranje uporabnog vijeka.....	42
9.2. Prikupljanje podataka o stanju i događajima na plinskoj mreži.....	42
9.3. Očekivani utjecaj rekonstrukcija na poslovne pokazatelje .....	42
10. Smjernice za proces razvoja održavanja .....	44
10.1. Određivanje faktora rizika .....	45
10.2. Određivanje kriterija za rekonstrukcije plinovoda .....	47
11. Rekonstrukcija VT čeličnog plinovoda zbog dotrajalosti .....	51
12. Zaključak .....	59
Literatura .....	60
POPIS SLIKA .....	61
POPIS TABLICA.....	62

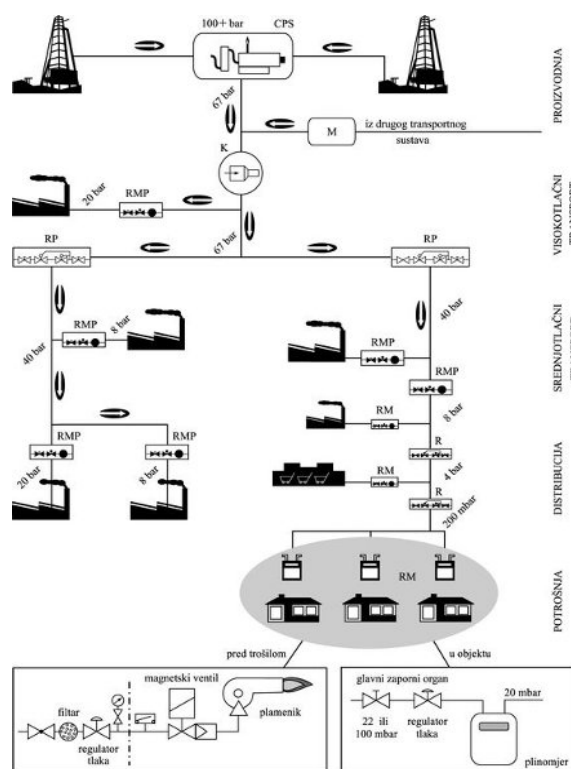




## 2. Općenito

Cjevovodni dio distribucijskog sustava koji služi za prijenos plina od ulaza u distribucijski sustav do priključka, uključivo i opremu koja je na njemu ugrađena nazivamo plinovod. Plinovodi se mogu razvrstati u tri kategorije prema transportnoj udaljenosti:

- **Tranzitni**
- **Magistralni**
- **Distribucijski**



Slika 2. Distribucija plina

Izvor: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=48741>

Tranzitni plinovodi grade se od čeličnih cijevi promjera do 1500 mm, dužine veće od tisuću km. Takvim plinovodima transportiraju se velike količine plina preko više zemalja i teritorija. Tlak pod kojim se plin prenosi kreće se od 7 – 10 MPa.

Za transport plina unutar granica zemlje ili užeg područja, najčešće od mjesta proizvodnje ili od mjesta uvoza do potrošačkih središta ili velikih industrijskih potrošača

služe magistralni plinovodi. Radni tlak je manji od 7 MPa, a promjer najčešće nije veći od 1000 mm.

Plin od mjesta preuzimanja na magistralnom plinovodu do mjesta predaje potrošačima dovodi se distribucijskim plinovodima. Radni tlak na glavnim dijelovi distribucijske mreže manji je od 0,8 MPa, a razdjelna distribucijska mreža za dovod do stambenih zgrada s tlakom manjim od 3 kPa. Promjeri cijevi distribucijskih plinovoda kreću se od 50 - 600 mm.

Distributivna mreža razvodi plin do krajnjih korisnika. U njoj se također nalaze regulacijske stanice za manje industrijske korisnike ili široku potrošnju (domaćinstva, obrt, ustanove). U njima se, uz ostalo, nalaze i uređaji za odorizaciju, tj. za dodavanje sredstva koje plinu daje posebno neugodan miris kao signal njegova mogućeg ispuštanja iz cjevovoda.

Distributivna je mreža u pravilu protočna, a izvodi se u nekoliko razina tlakova (visokotlačna, srednjotlačna i niskotlačna) i oblika (razgranata, prstenasta). Mreža završava kućnim priključkom na objektu potrošača. Plinska instalacija u objektu može također biti od čelika, bakra ili polietilena, a ima ugrađene zaporne organe, regulator tlaka i plinomjer.

## 2.1. Prirodni plin

Prirodni plin je smjesa nižih alifatskih ugljikovodika, pretežito metana, koja se u prirodnim podzemnim ležištima nalazi u plinovitom stanju (*slobodni plin*), otopljena u sirovoj nafti ili je s njom u kontaktu (*vezani* ili *naftni plin*).

Naziva se i *zemnim plinom*. Rabi se prvenstveno kao gorivo u kućanstvima i gospodarstvu te u petrokemijskoj industriji za proizvodnju amonijaka, metanola, formaldehida, vodika, ugljikova monoksida i mnogih drugih kem. proizvoda.

Prirodni plin je, kao i nafta, bio poznat prije više tisuća godina. Kinezi su ga koristili za osvjetljavanje hramova i za isparavanje vode pri dobivanju soli, a iz Cezarova doba postoje podatci o izbijanju prirodnoga plina u Galiji. Prva komercijalna upotreba prirodnoga plina datira oko 1802., kada se koristio za osvjetljavanje ulice u Genovi. Postoji više teorija o njegovu postanku, od kojih je najšire prihvaćena ona o org. podrijetlu.

Najčešće se koriste u sustavima grijanja i pripreme tople vode, proizvodnji električne i toplinske energije te u motorima s unutrašnjim izgaranjem. Kao i svako drugo fosilno

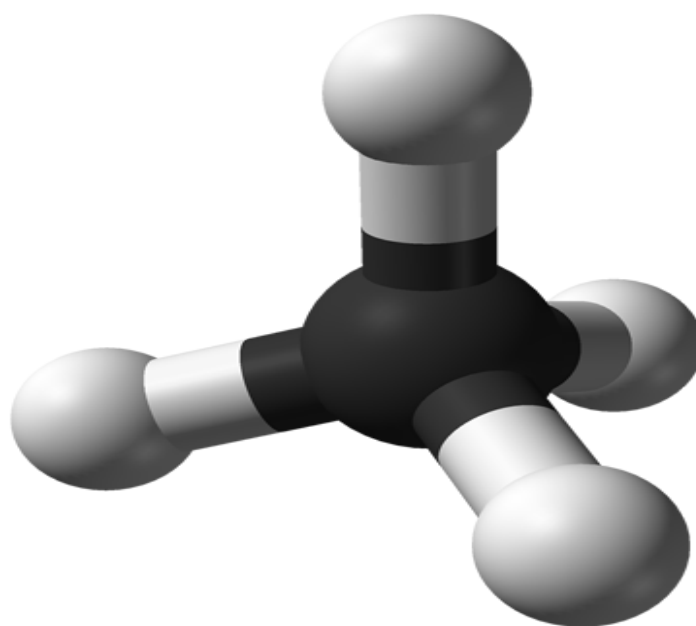
gorivo i prirodni plin ima ograničene zalihe. Procjene su današnje da bi zalihe prirodnog plina uz sadašnju razinu iskorištavanja mogle potrajati još stotinjak godina.

## 2.2. Sastav i svojstva

Prirodni plin smjesa je metana (molni udjel >90%) s manjim udjelima etana, propana i viših ugljikovodika, a može sadržavati i nešto ugljikova dioksida, sumporovodika (takav se plin naziva kiselim), dušika, a katkad i helija i žive. S obzirom na udjel težih ugljikovodika razlikuju se: *suhi plin*, s neznatnim udjelom, i *vlažni (mokri) plin*, s povećanim i znatnim udjelom težih ugljikovodika iz plinskih i plinsko-kondenzatnih ležišta.

U svojoj najčišćoj formi, kao što je prirodni plin koji se isporučuje kućanstvima, on je skoro čisti metan. Molekula metana složena je od jednog atoma ugljika i četiri atoma vodika ili skraćeno kemijskom formulom CH<sub>4</sub>.

Pri standardnom stanju:



Slika 3. Molekula plina CH<sub>4</sub>

Izvor: <https://www.plinprojekt.hr/hr/Prirodni-plin>

**Tablica 1. Sastav plina**

Gornja ogrjevna vrijednost	Hg = 10,28 kWh/m <sup>3</sup> (37,010 MJ/m <sup>3</sup> )
Donja ogrjevna vrijednost	Hd = 9.26 kWh/m <sup>3</sup> (33,338 MJ/m <sup>3</sup> )
Gornji Wobbeov broj	Wg = 13,6 kWh/m <sup>3</sup> (49,0MJ/m <sup>3</sup> )
Gustoća	R = 0,731 kg/m <sup>3</sup>
Relativna gustoća	D= 0,57 (lakši od zraka)
Molarna masa	M = 16,32 kg/mol
Udio CO <sub>2</sub> u dimnim plinovima	CO <sub>2</sub> max= 11,84 %
Područje eksplozivnosti u zraku	5 – 15 %

Izvor: <https://www.plinprojekt.hr/hr/Prirodni-plin>

### **2.3. Prednosti prirodnog plina**

- ekološki prihvatljiv
- visoki stupanj korisnosti
- široki spektar upotrebe
- lako i jednostavno dovođenje do potrošača
- plaćanje prema potrošnji
- instalacije zauzimaju malo prostora
- nepotrebna je nabava goriva unaprijed
- nema izdataka za spremnik goriva
- optimalno reguliranje temperature
- manji investicijski troškovi
- niska emisija štetnih tvari

### **3. Elementi plinovoda**

Pod nazivom elementi plinovoda podrazumijevaju se svi sastavni dijelovi plinovoda spojeni u funkcionalnu cjelinu tako da se osigura sigurna i pouzdana distribucija prirodnog plina.

Tijekom izvođenja plinovoda i kućnih priključaka smiju se ugrađivati samo elementi (cijevi, zapori, fitinzi, izolirajuća traka i sl.) za koje postoji pravovaljani atest proizvođača o kvaliteti i ispitivanju, te koji su odobreni od strane Gradske plinare Zagreb za primjenu na njenom distributivnom području. Norme kojima moraju udovoljavati elementi plinovoda navedeni su u specifikaciji materijala i radova.

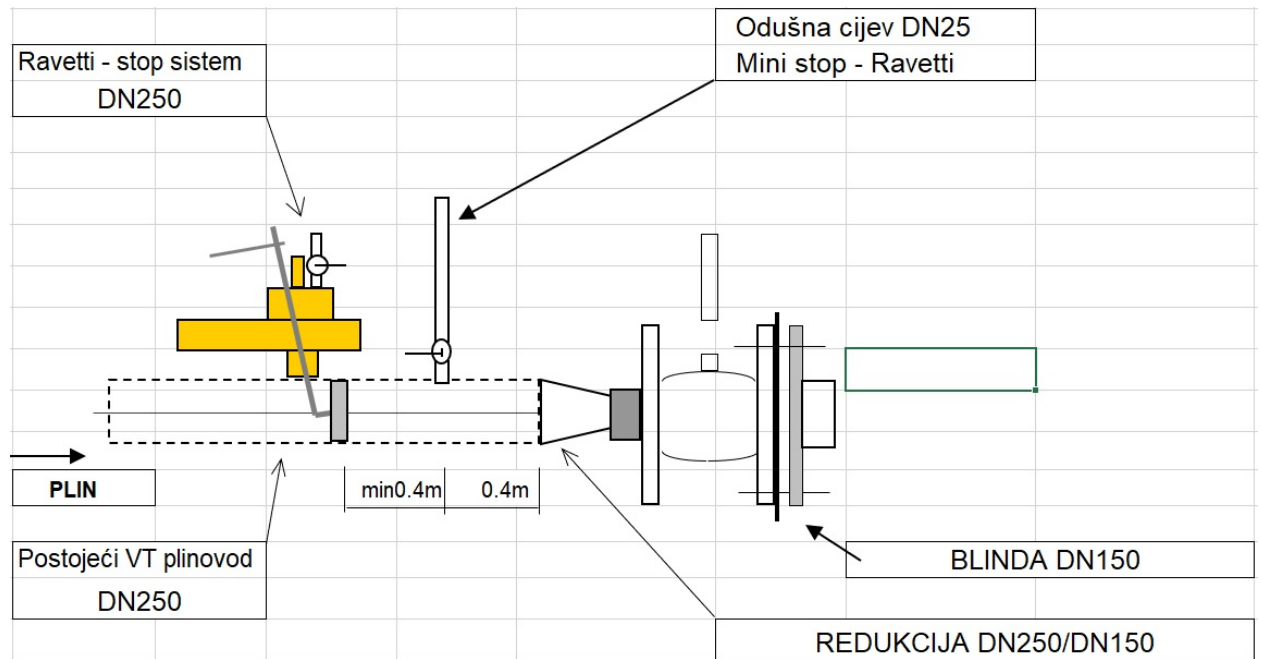
#### **3.1. Zapori**

Zapori su određeni na mjestima koja zahtijevaju plinovodi sagledan u cjelini s postojećim plinovodima na koje se spaja, a u cilju ostvarenja sigurnog snabdjevenija plinom na predmetnom području i sigurne tehnologije puštanja plina u sustav.

Zatvaranjem zapora obustavlja se protok plina kroz plinovod i ne mogu se rabiti kao ručni regulatori za sniženje tlaka. Na VTP zapori su ukopane prirubničke ili prirubničko-uvarne kuglaste slavine klase PN16 punog otvora, kratke izvedbe, za podzemnu ugradnju s produžnom garniturom za rukovanje u razizemlju duljine za slavinu ukopanu na dubinu 1,0 do 1,5 m (os slavine – nivo uređenog terena) i konusnim kvadrantnim nastavkom za ključ i to za zapore DN150 i manje dimenzije 28x28, 32x32 ili 36x36, a za zapore DN200 i veće dimenzije 42x42 ili veći. Ukopani zapori DN150 i veći moraju imati uz slavinu planetarni reduktor za rukovanje sa slavinom.

Sa zaporom se rukuje putem prijenosnog nasadnog ključa. Kraj vretena zapora smješten je u plitkom šahtu na čijem poklopcu je oznaka PLIN. Prirubnice na VTP moraju biti klase PN16. Prirubnički spoj na zaporima primjenjuje se na mjestima gdje je potrebno u slučaju radova obustaviti protok plina ugradnjom međuprirubničkog zaslona dok se na ostalim mjestima može ugraditi uvarni zapor.

Na prirubničkim spojevima ispod glava vijka i matica potrebno je montirati nazubljene podložne pločice radi ostvarenja dobre električne veze na prirubničkim spojevima glede funkcioniranja katodne zaštite. Nazubljene podložne pločice montiraju se ispod 1/3 vijka ili minimalno ispod dva nasuprotna vijka.



**Slika 4. Kuglasta slavina – VT i Ravetti naprava**

Izvor: baza podataka GPZ

### 3.1.1. Ispitivanje funkcionalnosti ugrađenih kuglastih slavina

Na projektiranom VT plinovodu postoje ugrađene podzemne kuglaste slavine. Kuglaste slavine postavljene su u betonska okna, a njihova manipulacija se vrši preko vretena. Prilikom prvog obilaska terena potrebno je ustanoviti lokaciju okna sukladno geodetskom snimku.

Tijekom pokusnog rada je potrebno izvršiti otvaranje i zatvaranje podzemnih kuglastih slavina upotrebom nasadnog ključa uz uporabu sile koju propisuje proizvođač. Funkcionalnost kuglaste slavine ostvarena je ako je njihovim zatvaranjem omogućena potpuna obustava dotoka plina, odnosno njihovim otvaranjem omogućene ponovna uspostava dotoka plina.

Svi analogni i digitalni izvještaji o obavljenim ispitivanjima se arhiviraju te je potrebno sačuvati sve izvještaje o ispitivanjima tijekom pokusnog rada.

## **3.2. Cijevi i fitinzi**

Zabranjeno je ugrađivati fittinge (koljena, redukcije, T komadi) izrađeni tvornički ili radionički od segmenata cijevi, prerađeni tvornički proizvedeni fitinzi, fitinzi napravljeni od naknadno zagrijavanih i oblikovanih cijevi na gradilištu ili izrađeni na sličan način.

Cijevi i fitinzi moraju biti označeni trajnom oznakom koja sadrži podatke o proizvođaču, dimenziji, normi po kojoj je su proizvedeni, normi za kvalitetu i vrstu materijala s pripadnom šaržom i datumom proizvodnje, te namjeni (plin ili drugo) i radnom tlaku ili klasi.

Za čelične cijevi i fittinge trajna oznaka mora biti utisnuta najmanje na jednom kraju čelične cijevi i fittinga, te na svaki metar antikorozijske izolacije od PE. Na mjestima skretanja plinovoda horizontalno ili vertikalno, skretanje se može izvesti ugradnjom tvornički proizvedenih cijevnih koljena, savijanjem cijevi s dozvoljenim granicama.

Odvojeci na VTP mogu se ostvariti ugradnjom tvornički proizvedenih T-komada ili ugradnjom navarnih komada (Weldolet) s time da se na VTP DN300 ogranci do uključivo DN100 izvode s navarnim komadima, a preko DN100 s T-komadima.

VTP će se izvesti od šavnih čeličnih cijevi i čeličnih bešavnih fittinga od materijala garantiranih mehaničkih osobina i svojstva zavarivanja. Cijevi će biti izvana tvornički zaštićene od korozije ekstrudiranim polietilenom (PE), a fitinzi ovojnicom žute boje od PE odnosno od duroplasta ili sinterirane epoksidne smole. Obzirom da je trasa VTP određena u prometnicama gdje se odvija gusti promet teških vozila, debljina stijenke određena kao minimalna debljina stijenke prema DIN 2470-T1.

## **3.3. Zaštitne cijevi**

Zaštitne cijevi su projektirane gdje se:

– plinovod treba zaštititi od mehaničkih oštećenja (promet teških vozila ili strojeva tijekom izvođenja radova ili tijekom rada plinovoda) ili toplinskih oštećenja (toplovodi, elektroenergetski kablovi), s time da su na tim mjestima čelične zaštitne cijevi.

- nije mogao postići propisani nadsloj iznad plinovoda 1 m. Nadsloj iznad zaštitne cijevi ne smije biti manji od 0,5 m i iznad zaštitne cijevi potrebna je zaštitna armirano betonska ploča širine 1 m. Ovakve zaštitne cijevi su čelične.



- nije mogla postići propisana udaljenosti plinovoda od postojećih ili projektiranih instalacija i objekata. Ovakve zaštitne cijevi primjenjuju se iznimno, uz odobrenje komunalnih poduzeća i nadležnih ustanova.
- plinovod polaže ispod željezničke odnosno tramvajske pruge ili prometnice koja se ne smije zatvarati za promet,
- kada to zahtjeva interni propis vlasnika druge instalacije ili građevine.

Kao mehanička zaštita ili zaštita od toplinskih oštećenja koriste se čelične zaštitne cijevi. U svim ostalim slučajevima može se koristiti zaštitne cijevi od PE ili PVC-a. Na katodno šticepljenim plinovodima čelične zaštitne cijevi moraju biti neizolirane. Ukoliko se za zaštitne cijevi rabe nove cijevi prednost treba iz gospodarskih razloga dati šavnim cijevima.

Za zaštitne cijevi mogu se rabiti i izvađene šavne ili bešavne cijevi starih plinovoda pod uvjetom da nisu deformirane ili korodirane toliko da im je debljina stijenke manja od zahtjevane. Ovakve cijevi prije ugradnje treba očistiti iznutra i izvana, posebno od stare antikorozijske izolacije.

Gdje se ne zahtjeva proračun debljine stijenke zaštitne cijevi, debljina stijenke čelične zaštitne cijevi za slučaj zaštite od toplinskih utjecaja i manjih mehaničkih opterećenja određena je kao minimalna debljina stijenke prema DIN 2470-T1, a za slučaj zaštite od pojačanog mehaničkog opterećenja kao na primjer gustog prometa teških vozila, debljina stijenke zaštitne cijevi treba biti za stupanj veća od minimalne.

Cijevi čelične zaštitne cijevi spajaju se zavarivanjem tako da se na unutarnjoj strani cijevi ne pojavljuju oštri grebeni. Zavari na zaštitnim cijevima se ne ispituju radiografski. Čelične zaštitne cijevi duljine veće od 5 m odnosno 10 m, zavisno o njihovoj namjeni, se katodno štite. Treba nastojati da na PE zaštitnim cijevima nema zavora. U protivnom PE cijevi se spajaju isključivo elektrospojnicama, a ukoliko se spajaju sučelnim zavarivanjem prije uvlačenja plinovoda treba s unutarnje strane PE zaštitne cijevi odrezati višak zavora u nivou stijenke cijevi.

Plinovod se vodi u zaštitnim cijevima na distantnim prstenovima. Kao distantni prsteni rabe se posebne obujmice s PE svornjacima ili valjčićima koji se postavljaju na razmacima od najviše 5 promjera plinske cijevi odnosno prema uputama proizvođača

distantnih prstenova. Treba nastojati da cijev plinovoda unutar zaštitne cijevi bude u jednom komadu, da unutar zaštitne cijevi nema spojeva.

**Tablica 2. Zaštitne cijevi na VT plinovodu**

Broj ZC	Plinovod/ZC	Duljina ZC	Svrha ugradnje ZC
ZC 1	DN150/DN250	43,82 m	Uvlačenje nove cijevi u postojeći VTP
ZC 2	DN150/DN250	31,20 m	Uvlačenje nove cijevi u postojeći VTP
ZC 3	DN150/DN250	63,18 m	Uvlačenje nove cijevi u postojeći VTP
ZC 4	DN150/DN250	85,87 m	Prolaz ispod želj. Pruge I ceste
ZC 5	DN150/DN250	1,2 m	TK kabel
ZC 6	DN150/DN250	1,2 m	NT plinovod
ZC 7	DN150/DN250	1,2 m	NT plinovod
ZC 8	DN150/DN250	2,0 m	hidrant
ZC 9	DN150/DN250	1,0 m	Vodovod
ZC 10	DN150/DN250	1,2 m	TK kabel + NT plinovod

Izvor: baza podataka GPZ

### 3.4. Izolacija

Antikorozivno se štite čelični dijelovi plinovoda. Preporuča se ugradnja elemenata koji su tvornički antikorozivno zaštićeni. Naknadnom izolacijom štite se elementi plinovoda koji nisu tvornički izolirani, na kojima je došlo do oštećenja tvorničke izolacije, zavareni spojevi ili mjestima prespoja postojećeg na novi VT plinovd gdje je došlo do uklanjanja dijela izolacije. Naknadna izolacija provodi se prema DIN 30672. Prije postavljanja antikorozivne izolacije podlogu treba očistiti do metalnog sjaja stupnja St3, odmastiti i odprašiti. Naknadnu izolaciju se postavlja minimalno 5 cm, a preporuča se 10 cm preko postojeće izolacije. Prije zatrpavanja potrebno je ispitati kvalitetu antikorozijske izolacije.

#### 4. Minimalne sigurnosne udaljenosti od plinskog distribucijskog sustava

Sigurnosni pojas je sukladno članku 4. točka 37. Mrežnih pravila plinskog distribucijskog sustava (NN 50/18) prostor, s obje strane, mjereno od osi plinovoda ili priključka, unutar kojega se ne mogu graditi ili postavljati građevine, a koji određuje operator distribucijskog sustava, ovisno o tlačnom razredu plinovoda ili priključka te namjeni građevine. Isto tako se u sigurnosnim pojasevima za vrijeme cijelog vijeka trajanja plinovoda ne smiju skladištiti teško transportabilni materijali ili saditi visoko zelenilo te sve ostalo što bi moglo negativno utjecati na stanje ili pogon plinovoda.

Tlačni razredi na distribucijskom sustavu GPZ definirani su kako slijedi:

- NT ( $p \leq 0,1$  bar)
- ST ( $0,1 < p \leq 4$  bar)
- **VT ( $4 < p \leq 9$  bar)**

Minimalne sigurnosne udaljenosti utvrđuju se ovisno o promjeru cjevovoda, vrsti pogonskih uvjeta, mjerama održavanja plinovoda, gustoći naseljenosti, geomehanici i koroziivnosti tla, prometnom opterećenju kao i ostalim okolnostima koje mogu utjecati na ispravan rad plinovoda.

U nastavku su navedeni iznosi minimalnih sigurnosnih udaljenosti plinovoda i priključaka od građevina i zelenila, mjereno od osi cijevi.

**Tablica 3. Minimalne udaljenost plinovoda od zgrada**

Tlačni razred	Udaljenost (m)
NT	1
ST	2,0 (d $\leq$ 160 mm)
	3,0 (d = 225 mm)
	4,0 (d = 315 mm)
	6,0 (d = 400 mm)
VT	10

Izvor: baza podataka GPZ

Minimalne sigurnosne udaljenosti iz Tablice 2. mogu se dodatno smanjiti uz primjenu dodatnih mjera zaštite i nadzora prema tehničkom rješenju projektanta u odnosu na bitne zahtjeve zaštite od požara i tehnoloških eksplozija te u skladu s uvjetima navedenim u Tablici 3..

Zaštitne udaljenosti ne smiju se smanjivati u slučaju zgrada javne namjene u kojima boravi ili u kojima se pruža usluga većem broju ljudi.

**Tablica 4. Minimalne udaljenost plinovoda od zgrada uz primjenu dodatnih mjera tehničke zaštite**

Tlačni razred	Završni sloj terena iznad plinovoda	Udaljenost (m)	Dodatne mjere tehničke zaštite
ST	Propusni/nepropusni završni sloj	1,0 (d ≤ 160 mm)	- zaštitna cijev.
		2,0 (d > 160 mm)	
VT	Propusni završni sloj	6	- drenažni završni sloj propusniji od okolnog terena širine najmanje 2 m, koaksijalno od osi plinovoda ili - glinena barijera minimalno 1 m od zgrade.
	Propusni završni sloj	3,5	- zaštitna cijev.
	Nepropusni završni sloj	3,5	- zaštitna cijev i minimalno 1 m širok propusni sloj između plinovoda i zgrade.
	Nepropusni završni sloj	3,5	- zaštitna cijev i debljina stjenke veća jednaka 11,0 mm.

Izvor: baza podataka GPZ

Na zaštitnim cijevima duljine preko 10,0 m postavlja se jedna odzračna cijev, a kod zaštitnih cijevi preko 20,0 m dvije odzračne cijevi postavljene na suprotnim stranama zaštitne cijevi. Zaštitne cijevi potrebno je brtviti na krajevima.

## 5. Montaža VT plinovoda

Montaža plinovoda provodi se tehnološkim redoslijedom:

- doprema cijevi i cijevnih fazonskih komada.
- nizanje cijevi na trasu, doprema aparata i alata
- odrezivanje
- zavarivanje odnosno spajanje sa standardnim fazonskim komadima,
- spuštanje zavarenih sekcija u rov,
- spajanje pojedinih sekcija zavarivanjem u rovu,
- prespajanje na postojeći plinovod
- konačna tlačna proba zrakom završnog plinovoda, te eventualni popravci propusnih mjesta,
- zatrpavanje rova
- polaganje žute trake u sloju zemlje na udaljenosti cca 50 cm iznad položenog plinovoda
- puštanje cjevovoda u rad i preuzimanje istog od strane investitora.

Osobitu pozornost treba posvetiti tome da ne uđe voda, prljavština ili čak životinja u cijev. Zbog toga cijevi moraju biti kapama zatvorene cijelo vrijeme sve do samog zavarivanja krajeva cijevi. Kod svakog prekida rada, pa makar i vrlo kratkog krajeve cijevi plinovoda obavezno se mora zatvoriti vodonepropusnim kapama.

## 6. Katodna zaštita

### 6.1. Osnove katodne zaštite

Sustavi katodne zaštite su aktivna mjera za zaštitu ukopanih i uronjenih plinovoda od korozije koja je uzrokovana stalno aktivnim elektrokemijskim korozijskim procesima u tlu i vodi. Osnova njihovog djelovanja su elektrokemijski procesi koji nastaju na metalnoj anodi i katodi ( katodno zaštićenomu plinovodu ), u istom elektrolitu, pri čemu pod utjecajem razlike napona između katode i anode dolazi do katodne polarizacije zaštićene metalne površine pomoću istosmjerne struje elektrona kroz metalnu vezu i iona kroz elektrolit od anode prema katodi. [1]

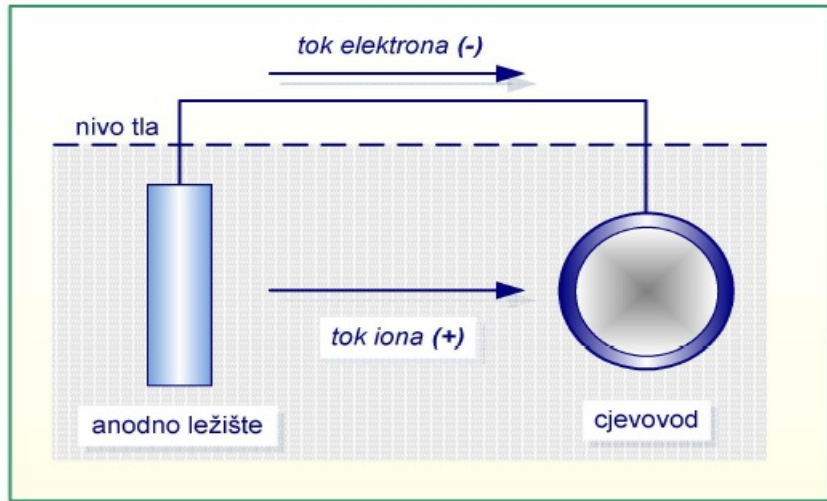


**Slika 5. Korozijska šupljina na plinovodu bez katodne zaštite nakon samo nekoliko godina**

Izvor: Plinarski priručnik (7. izdanje)

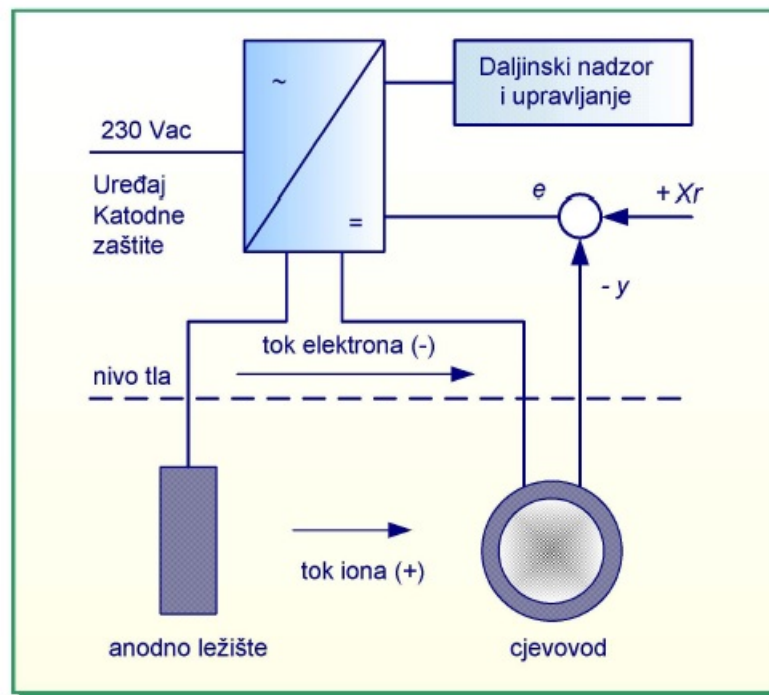
Sustav katodne zaštite možemo uspostaviti na dva temeljna načina;

1. Sustav katodne zaštite sa žrtvenim anodama (magnezij, cink, aluminij)
2. Sustav katodne zaštite sa vanjskih izvorima struje



**Slika 6. Shema sustava katode zaštite sa žrtvenim anodama**

Izvor: Plinarski priručnik 7. izdanje



**Slika 7. Sustav katode zaštite sa vanjskim izvorom struje**

Izvor: Plinarski priručnik 7. izdanje

Cjevovodi svojim dimenzijama i svojstvima utječu na promjene u prostoru u kojem su ugrađeni, ali i ostale instalacije i okruženje utječe na cjevovode. Jedna od najvećih smetnji iz okruženja jest pojava elektriciteta, odnosno pojava električnog napona i "lutajućih"

struja na metalnim cjevovodima što može izazvati iskrenje prema tlu, odnosno anodno otapanje (koroziju) i/ili nedozvoljeni (visok) nivo dodirnog napona.

Stoga veoma veliku pozornost treba posvetiti konstruiranju čelične konstrukcije (cjevovoda) s ciljem prilagodbe za rad sustava katodne zaštite uz ostala tehnička rješenja koja trebaju osigurati usklađenost ostale električne opreme i instalacije uz međusobne nadopunjavanje u radu (električne instalacije jake i slabe struje, uzemljivači, sustavi za zaštitu od munje itd...).

Dispozicijom opreme i tehničkim mjerama potrebno je postići zaštitu opreme i instalacija od međusobnog štetnog djelovanja elektromagnetskih polja same opreme na građevini i od elektroenergetskih postrojenja iz okruženja. Učinkovitost katodne zaštite mogu biti narušene elektroenergetskim i elektromagnetskim promjenama u blizini ili na samom objektu, a za koje se često ne mogu predvidjeti sve mjere zaštite, te se one moraju po potrebi dograditi u sustav katodne zaštite u tijeku održavanja.

Stoga najveća odgovornost za učinkovitost sustava katodne zaštite je na korisniku, tj. osobama koje su zadužene za održavanje i praćenje ponašanje sustava katodne zaštite, odnosno objekta u cjelini u tijeku eksploatacije, kako bi se na vrijeme otkrile promjene koje utječu na sustav, te poduzele mjere za dopunu sustava.

Uz pretpostavku da je sustav katodne zaštite dobro dimenzioniran i izveden nivo učinkovitosti katodne zaštite ovisi o dva osnovna preduvjeta; Prvi da je sustav stalno u radu i drugi da je nivo potencijala šticiena konstrukcije stalno na potrebnoj razini.

U literaturi procjene uspješnosti zaštite od korozije pomoću katodne zaštite, za cijeli vijek korištenja građevine se kreću od 95% do 99,99%.

## **6.2. Zaštita od korozije - katodna zaštita VTP**

Za pasivnu protukorozijsku zaštitu strojarskim projektom predviđena je tvornički nanosena PE presvlaka na cijevima i PE toplokupljajuće trake na mjestima zavara. Za aktivnu protukorozijsku zaštitu čeličnog plinovoda sustav katodne zaštite s vanjskim izvorima struje (napojnom stanicom), s pripadajućim brojem kombiniranih mjernih mjesta i opremom za zaštitu plinovoda od EE i EM smetnji.

Mjerna mjesta treba opremiti standardnim kabelskim priključcima, kabelskim razvodom, referentnim elektrodama, mjernim sondama, te mjernim razdjelnim ormarićima. Za efikasno funkcioniranje sustava katodne zaštite ukopani plinovod mora



biti galvanski odvojeni od uzemljivača, tj. na predmetnom plinovodu prije uzemljenog nadzemnog dijela plinovoda na cijevi treba ugraditi izolirajući umetak, a na mjestima gdje katodno štice cjevovod ima nadzemne dijelove koje treba uzemljiti, uzemljenje izvesti pomoću specifičnih prenaponskih zaštitnih sklopova.

Za mjerenje potencijala treba ugraditi višenamjenska mjerna mjesta sa adekvatnom opremom prema potrebi pojedinih lokacija. Za zaštitu plinovoda od EE i EM smetnji i lutajućih struja predviđena je oprema i instalacija s uzemljenjima na lokacijama gdje je pojava takvih smetnji očekivana u odnosu na poznate i projektirane izvore takvih smetnji. U slučaju prirubničkih spojeva na cjevovodu u zemlji iste treba premostiti kabelom.

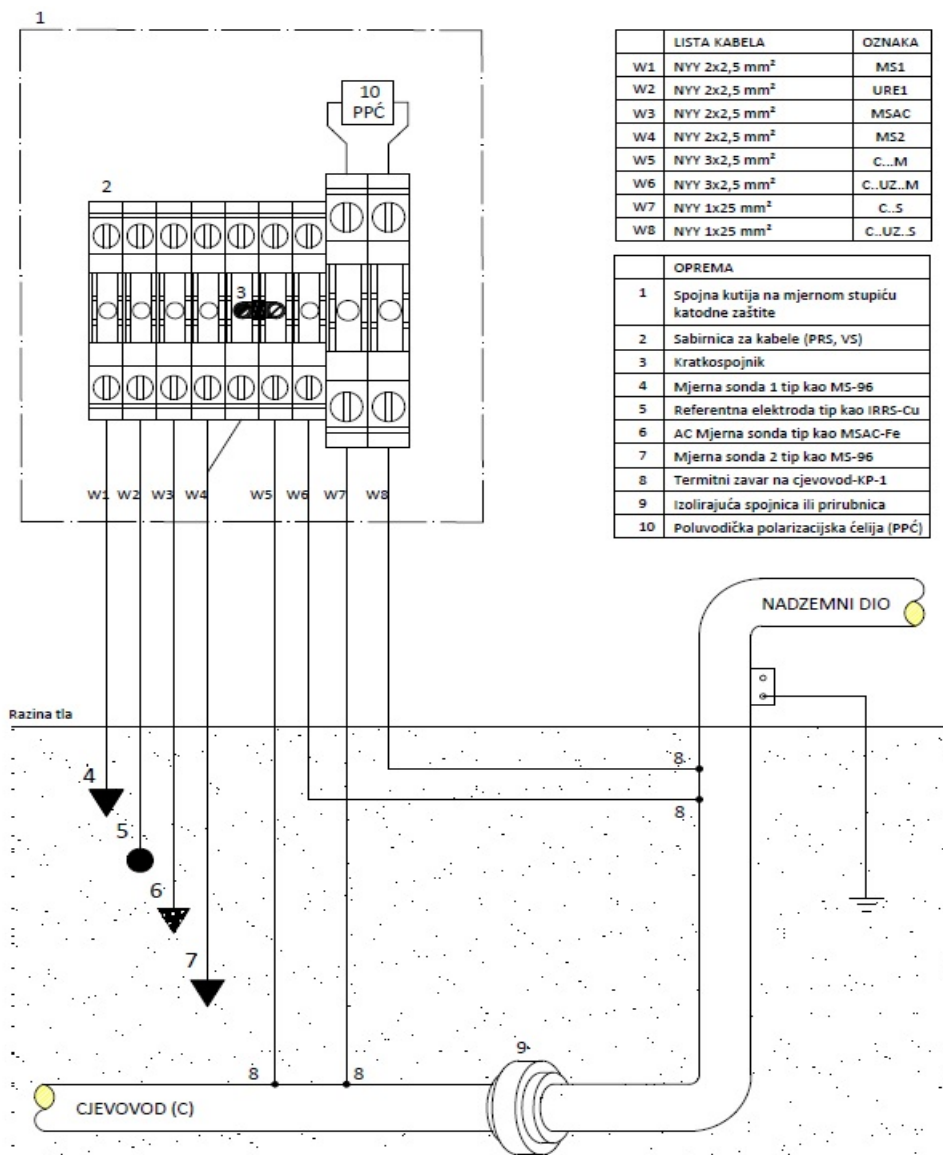
Procjena rizika od korozijske aktivnosti tla je mala do srednja, ali je postoji velik rizik korozije pod djelovanjem lutajućih AC i DC struja na plinovodu zbog rada okolnih elektromagnetskih postrojenja i djelovanja munji, odnosno elektro vuče vlaka. Zbog toga se predviđa napojna stanica s drenažom na tračnice HŽ-a.

### **6.3. Tehničko rješenje**

Za potrebe katodne zaštite, za zaštitu od lutajućih struja i zaštitu od elektroenergetskih i elektromagnetskih utjecaja na predmetnoj dionici potrebno je ugraditi: više kombiniranih mjernih mjesta s referentnim elektrodama i mjernim sondama (kuponima), te s prenaponskim zaštitnim i kompenzacijskim sklopovima, prema specifikaciji materijal i opreme.

Mjerno mjesto treba ugraditi na početku trase, kod napojne stanice, na početku i na kraju zaštitne kolone ispod željeznice u slučaju da plinovod prolazi ispod. Za zaštitu od induciranih napona, prenapona te ostalih elektroenergetskih i elektromagnetskih smetnji s plinovoda se može odvesti preko prenaponskih zaštita – polarizacijska ćelija uz PRS na uzemljenje PRS-a.

U trasi plinovoda gdje dolazi do približavanja ili križanja s drugim metalnim cjevovodima, da bi se spriječio negativan međusobni interferencijski utjecaj treba se prema potrebi izvesti mjerno mjesto s adekvatnim kabelskim priključkom. Ukoliko se u tijeku građenja ustanovi neki novi element koji nije vidljiv iz trenutnih podataka, a utječe na sustav katodne zaštite, izvođač treba odmah poduzeti standardnu mjeru i o njoj izvijestiti nadzornog inženjera ili projektanta.



**Slika 8. Shema spajanja kabelskog priključka**

Izvor: baza podataka GPZ

## **7. Ispitivanje zavarenih spojeva i debljine stijenke plinovoda i nosive konstrukcije nadzemnog dijela VT plinovoda - Podsusedski most**

### **7.1. Uvod**

Obavlja se detaljan vizualni pregled plinovoda i konstrukcije te se sva oštećenja i kritična mjesta dokumentirana i analizirana. Obim i tehnologija nerazomih ispitivanja prilagođeni su karakteru mogućih nedostataka u zavarenim spojevima i stijenci plinovoda detektiranih vizualnim pregledom. Paralelno, započinju se radiografska snimanja.

Snimljeno je svih 16 zavara u horizontalnom dijelu plinovoda. Prilikom snimanja poduzete su adekvatne mjere zaštite od zračenja, tj. tijekom samog snimanja mjeren je intenzitet zračenja dok pješacima i prolaznicima nije bio dozvoljen prolaz. Na svakom zavaru snimljena su 4 filma, što ukupno čini 64 snimka. Nakon toga pristupa se razvijanju filmova i izradi snimaka.

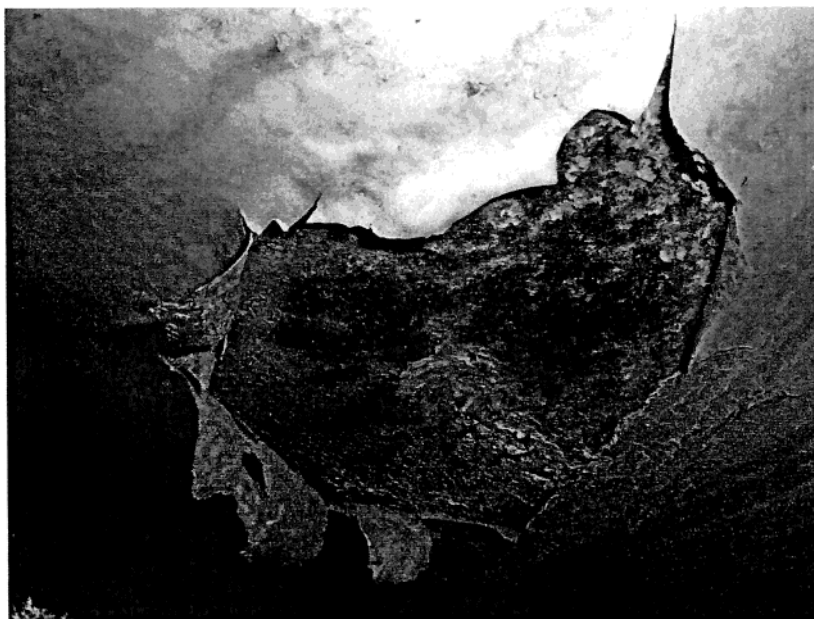
Ultrazvučno mjerenje - zbog gustog rastera ispitivanja, upotrijebljena je tehnologija mjerenja preko zaštitnog premaza, kako se brušenjem ne bi narušavao integritet konstrukcije i ugrozila sigurnost plinovoda. Brušenje brusnim papirom upotrijebljava se samo onda kada bi zaštitni premaz ili produkti korozije onemogućavali pozicioniranje ultrazvučne sonde.

Nakon što su analizirane radiografske snimke i obavljena vizualna i ultrazvučna kontrola zaključeno je da nema realne potrebe za izvođenjem ispitivanja magnetskim česticama, koje zahtijeva opsežno i kvalitetno brušenje ispitnog područja.

### **7.2. Vizualni pregled plinovoda i konstrukcije**

Vizualnim pregledom VT plinovoda Podsusedski most Ø 508 x 6.35 mm ustanovljeno je da postoje vidljiva oštećenja zaštitnog premaza, korozija stijenke plinovoda i noseće konstrukcije, oštećenja rešetkaste nosive konstrukcije i oštećenja betonskih oslonaca.

Na temelju vizualnog pregleda konstrukcije i zavarenih spojeva predložen je i detaljan plan nerazomih ispitivanja, kao i projekt antikorozivne zaštite. Slijedeće fotografije prikazuju zatečeno stanje i karakteristična oštećenja plinovoda i noseće konstrukcije i zavarenih spojeva predložen je i detaljan plan nerazomih ispitivanja, kao i projekt antikorozivne zaštite.



**Slika 9. Oštećenje zaštitnog premaza i korozija stijenke plinovoda**

Izvor: baza podataka GPZ



**Slika 10. Oštećenja betonskih oslonaca noseće konstrukcije – Podsused**

Izvor: baza podataka GPZ



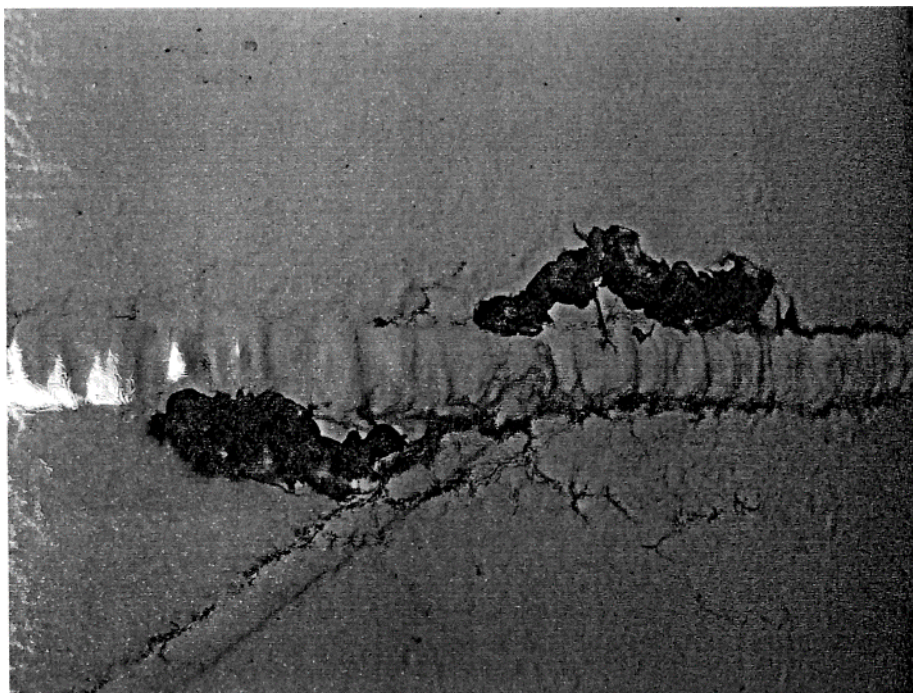
**Slika 11. Pomak ploča na kliznom osloncu noseće konstrukcije – Rakitje**

Izvor: baza podataka GPZ



**Slika 12. Oštećenje betonskih oslonaca noseće konstrukcije – Rakitje**

Izvor: baza podataka GPZ



**Slika 13. Oštećenje zaštitnog premaza i korozija oko zavarenog spoja**

Izvor: baza podataka GPZ

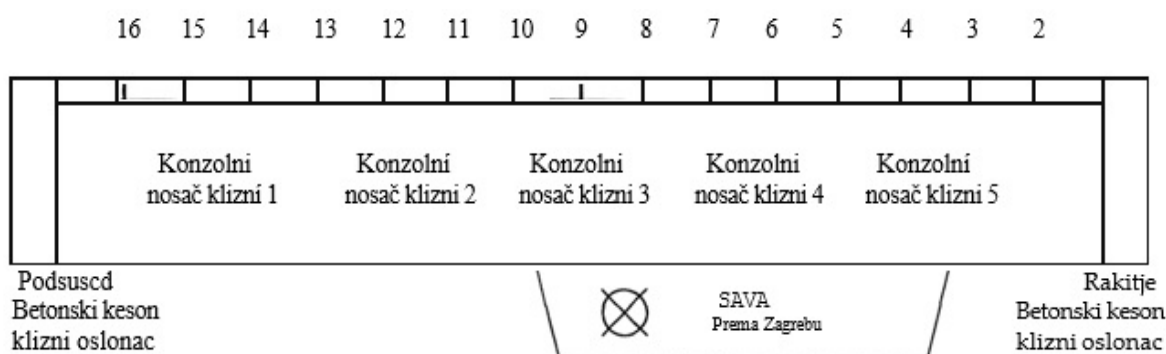


**Slika 14. Oštećenje zaštitnog premaza i korozija oko zavarenog spoja**

Izvor: baza podataka GPZ

Obim i tehnologija nerazornih ispitivanja prilagođeni su karakteru mogućih nedostataka u zavarenim spojevima i stijenci plinovoda. Ispitivanjem se je ustanovilo da korozija na području stijenke plinovoda, zavarenih spojeva i nosača plinovoda je općeg karaktera te je nužno napraviti kvalitetnu antikorozivnu zaštitu da bi se spriječilo daljnje propadanje konstrukcije.

Oštećena noseća konstrukcija (kod zavarenog spoja 3) se mora popraviti kako bi prestalo djelovanje eventualnih naprezanja koje deformirana konstrukcija prenosi na cjevovod. Betonski oslonci noseće konstrukcije su u derutnom stanju te ih je nužno adekvatno sanirati.

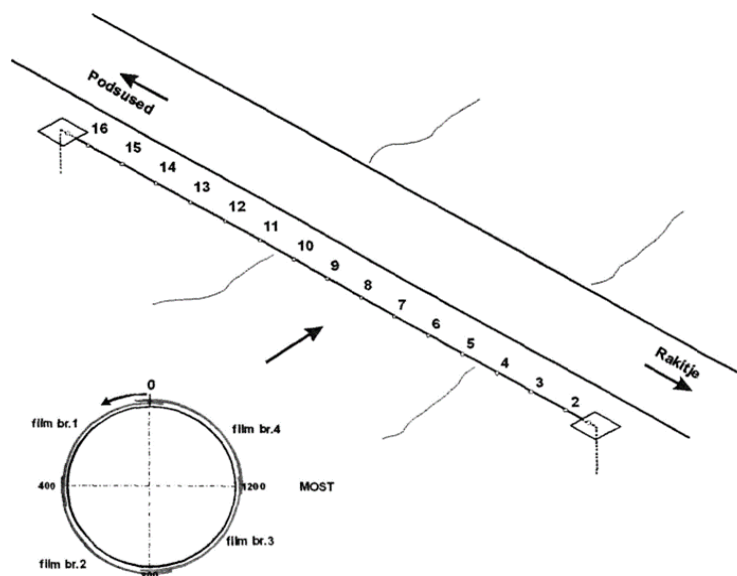


**Slika 15. Skica VT plinovoda Podsusedski most u okružju**

Izvor: baza podataka GPZ

### 7.3. Radiografsko ispitivanje

Svaki spoj je radiografiran s 4 radiograma tako da je obuhvaćen cijeli opseg spoja. Spoj br. 3 nije bilo moguće radiografirati po cijelom opsegu zbog oslonca na kojem leži dio spoja te je provedeno radiografiranje samo gornje (dostupne) polovice opsega (radiogrami br. 1 i br. 4).



**Slika 16. Plan radiografskog ispitivanja i postavljanja filmova**

Izvor: baza podataka GPZ

Svaki od zavara sadržavao je neprihvatljive indikacije i nepravilnosti. Najčešće su detektirane šupljine i poroznosti, pogreške vezivanja i pogreške oblika zavara. Čvrsti uključci detektirani su u samo nekoliko spojeva (7, 9 i 11). Većina grešaka nalazi se u korijenu zavara. Najopasnija vrsta grešaka, pukotine, nije detektirana, te to predstavlja olakotnu činjenicu glede sigurnosti i eksploatacije plinovoda.

Kritični spojevi su spojevi 7, 8, 9 i 10. U spoju 7 detektirana su dva pojedinačna uključka veličine 4mm i 5mm. U spoju 8 također je detektiran plinski uključak veličine 4 mm, dok u spoju 9 postoji čvrsti i plinski uključak, oba veličine približno 4 mm. U zavarenom spoju 10 snimljena su, uz ostale nepravilnosti, i dva izdužena uključka, veličine 6x2 mm i 6x3 mm.





**Slika 17. Radiogram zavarenog spoja 7/2**

Izvor: baza podataka GPZ

Svi ispitani zavareni spojevi sadrže nepravilnosti vrsta i veličina koje nisu dozvoljene prema zadanom kriteriju te nalaz ne zadovoljava.

#### **7.4. Ultrazvučno mjerenje debljine stijenke VT plinovoda**

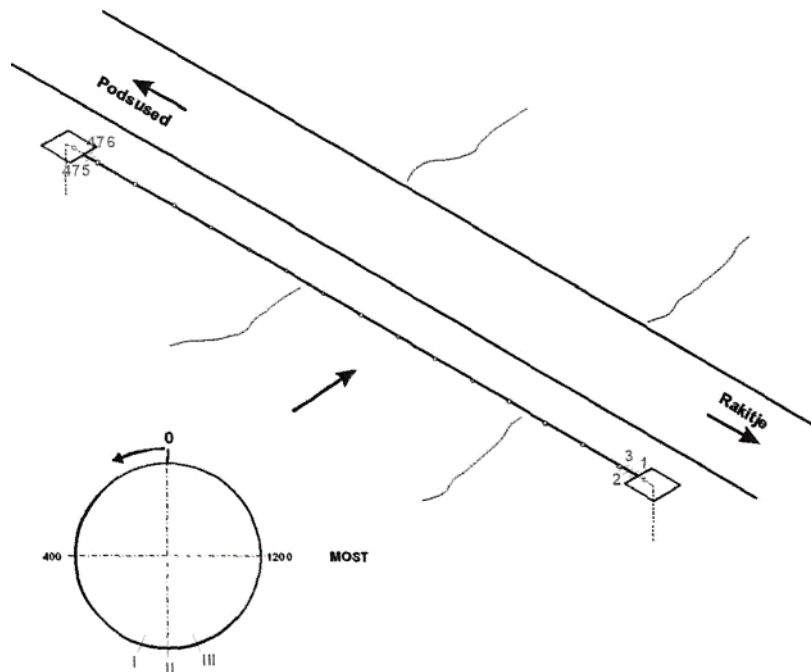
Provedeno je ultrazvučno mjerenje debljine stijenke plinovoda promjera  $\Phi 508$  mm, nazivne debljine stijenke 6,35 mm i radnog tlaka 6 bara na lokaciji Podsusedski most.

Ultrazvučno mjerenje debljine stijenke provedeno je kontaktnom tehnikom, ultrazvučnom tehnikom odjeka. Mjerenje debljine stijenke provedeno je preko zaštitnog premaza uz prethodnu pripremu ispitne površine.

Na mjernim mjestima gdje zbog principa metode nije bilo moguće provesti mjerenje debljine preko zaštitnog premaza površina je očišćena do osnovnog materijala. Ispitivanje je provedeno odgovarajućom tehnikom ultrazvučne metode nerazornog ispitivanja.

**Tablica 5. Specifikacija opreme provedenog ispitivanja**

metoda	oprema	značajke
UT	ultrazvučni mjerač debljine s A prikazom*	DMS 2
	dvostruka SORda TOPCOAT*	TC 560, ser.br. 00LLX3
	dvostruka sonda *	DA 301, ser.br. 13182; 5 MHz
	etalon	V2, STEP 1—8
	referentni uzorak (za TOPCOAT sondu)	ser.br. 00M7D1
	(* sve proizvođač Krautkraemer)	



**Slika 18. Shema mjerenja debljine stijenke**

Izvor: baza podataka GPZ

Ultrazvučna mjerenja debljine stijenke provedena su s vanjske strane plinovoda preko zaštitnog premaza. U svrhu osiguranja kvalitetnog kontakta ultrazvučne sonde u mjernim točkama provedena je priprema površine brušenjem.



**Slika 19. Označavanje rezultata mjerenja na mjernom presjeku 200**

Izvor: baza podataka GPZ



**Slika 20. Korozijska oštećenja**

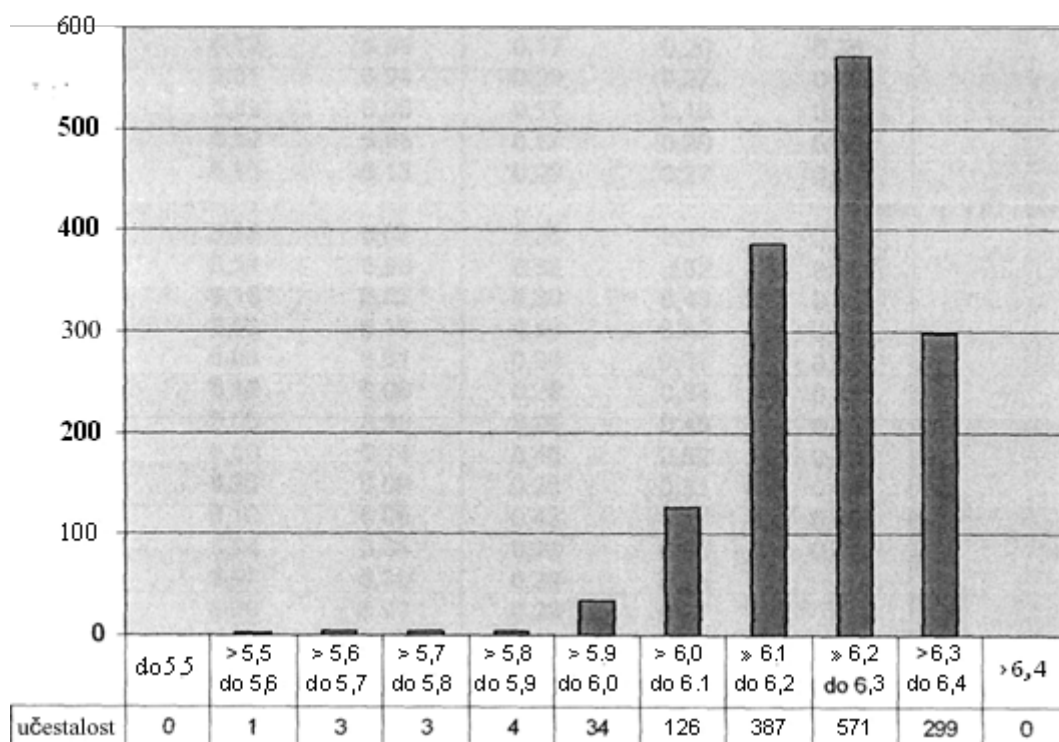
Izvor: baza podataka GPZ

Mjerenje debljine stijenke provedeno je preko zaštitnog premaza, tako da su kao rezultat mjerenja dobiveni i debljina stijenke i debljina premaza. Mjerenja su provedena s donje strane plinovoda za koju postoji veća vjerojatnost pojave korozije uzrokovane eventualnim kondenzatom.

Na mjernim mjestima gdje nedostaje podatak o debljini zaštitnog premaza bilo je potrebno očistiti/ukloniti premaz i korozijske produkte do osnovnog materijala te je provedeno samo mjerenje debljine stijenke osnovnog materijala. Naime, na tim mjestima nije bilo moguće dobiti odjek ultrazvučnog signala od zadnje stijenke preko zaštitnog premaza uslijed znatnog prisustva korozijskih produkata ispod zaštitnog premaza.

Potrebno je naglasiti da su na tim mjestima nakon brušenja na površini ostali prisutni "krateri" kao produkt korozijskog procesa koji lokalno dodatno umanjuju debljinu stijenke, a koju nije moguće izmjeriti budući da ultrazvučna sonda ima kontaktnu površinu realnog promjera ( 14 mm ).

Najveća zahvaćenosti korozijom uočena je u području mjernih presjeka od broja 200 do 240. Na pripadajućim mjestima između pojedinih mjernih presjeka u tablici su označeni zavareni spojevi. Time su razgraničene i pripadajuće izmjerene debljine stijenke ugrađenih cijevi.



**Slika 21. Raspodjela rezultata mjerenja debljine stijenke**

Izvor: baza podataka GPZ

Ukupno je izmjereno 1428 vrijednosti, od kojih je samo na 41 bilo izmjerena debljina stijenke ispod 6mm. Debljina stijenke plinovoda se kreće između 5.5 mm do 6.4mm, dok je većina izmjerenih vrijednosti u intervalu od 6 - 6.4 mm. Raspodjela rezultata mjerenja debljine stijenke priložena je u Izvještaju o mjerenju debljine stijenke.

Plinovod - Podsusedski most  
 \$ 508 x 6,35mm

0408.UT225 <sup>A1\*\*D</sup>  
 Norma/Radna uputa:

PUPes: 17  
 Standard/SOP:

HRN EN 583-1



mjerni presjek	debljina stijenke			debljina premaza			napomena
	I	II	III	I	II	III	
1.	6,21	6,18	6,20	0,34	0,51	0,54	
2.	6,26	6,19	5,98	0,39	0,40	0,40	
3.	6,36	6,19	6,28	0,31	0,50	0,47	
4.	6,34	6,38	6,19	0,26	0,29	0,31	
3.	6,18	6,19	6,20	0,29	0,40	0,40	
6.	6,16	6,05	6,05	0,34	0,39	0,39	
7.	6,20	6,30	6,19	0,37	0,24	0,36	
8.	6,18	6,10	6,08	0,47	0,66	0,39	
9.	6,17	6,16	5,93	0,43	0,31	0,55	
10.	6,11	6,23	6,09	0,31	0,21	0,48	
11.	6,11	6,12	5,96	0,17	0,20	0,36	
2.	6,09	6,01	6,04	0,20	0,27	0,19	
13.	6,08	5,99	6,05	0,17	0,19	0,20	
14.	6,12	6,12	5,96	0,17	0,20	0,30	
15.	6,12	6,13	6,13	0,25	0,27	0,29	
16.	6,02	6,18	6,07	0,30	0,37	0,40	zavaren spoj #2 između dvije cijevi
17.	6,13	6,14	5,98	0,32	0,32	0,40	
18.	6,16	6,18	6,02	0,30	0,45	0,40	
19.	6,08	5,92	6,13	0,40	0,42	0,28	
20.	6,04	6,03	6,01	0,39	0,37	0,32	
21.	6,13	6,18	6,08	0,29	0,34	0,45	
22.	6,26	6,05	5,99	0,29	0,45	0,45	
23.	6,08	6,03	6,14	0,46	0,52	0,43	
24.	6,17	6,20	6,08	0,28	0,31	0,44	
25.	6,06	6,10	6,06	0,42		0,50	
26.	6,13	5,94	6,04	0,28	0,45	0,42	
27.	6,11	5,97	6,10	0,28	0,45		
28.	6,08	6,09	6,03	0,29	0,27		
29.	6,07	5,94	6,03	0,30			
30.	5,96	6,22	6,16	0,43	0,40	0,24	
11.	6,12	6,03	6,12	0,40	0,45	0,50	
32.	6,11	6,15	6,20	0,26	0,32	0,42	
33.	6,25	6,05	6,26	0,27	0,42	0,34	
34.	6,19	6,26	6,13	0,27	0,32	0,33	
35.	6,09	6,22	6,21	0,33	0,25	0,37	
35.	6,10	6,25	6,20	0,27	0,29	0,30	
37.	6,12	6,29	6,19	0,32	0,35	0,50	
36.	6,17	6,14	6,32	0,32	0,50	0,27	

Slika 22. Izvještaj o mjerenju debljine stijenke

Izvor: baza podataka GPZ

## **Na temelju provedenih ispitivanja moguće je zaključiti sljedeće:**

U zavarenim spojevima postoji niz neprihvatljivih indikacija snimljenih radiografijom. Naime, svih 16 spojeva sadrži neprihvatljive indikacije. Najčešće su prisutne šupljine i poroznost u zavaru, pogreške vezivanja i pogreške oblika zavara. Za pretpostaviti je da je učestalost grešaka posljedica neodgovarajuće tehnologije zavarivanja, loše pripreme spoja i neodgovarajućeg rukovanja dodatnim materijalom.

Navedene greške negativno utječu na integritet konstrukcije plinovoda. Međutim, u zavarenim spojevima nisu indicirane pukotine koje su najopasnije greške, što je olakšavajuća okolnost u smislu otkaza konstrukcije i eksploatacije plinovoda. Treba naglasiti da je navedene nedostatke bilo moguće odrediti i popraviti prilikom izrade cjevovoda.

Mjerenje debljine stijenke provedeno je na 476 presjeka na plinovodu u međusobnom razmaku od 500 mm, što sa tri mjerenja po presjeku čini 1428 mjernih mjesta. Debljina stijenke plinovoda je u rasponu od 5.5 do 6.4mm. Većina izmjerenih vrijednosti je u intervalu od 6 do 6.4mm. Definirani raster ispitivanja osigurao je kvalitetan uvid u stanje stijenke plinovoda i eventualna oštećenja od korozijskih procesa. Izmjerene veličine pokazuju da nema značajnog smanjenja debljine stijenke uslijed korozije.

Analiza stanja naprezanja u plinovodu i nosećoj konstrukciji pokazala je da su opterećenja zanemariva te da nema kritičnih lokacija. Svakako, treba naglasiti da je potrebno što prije sanirati betonske oslonce i oštećeni noseći okvir kako bi se zadržao integritet i stabilnost konstrukcije.

Nakon pjeskarenja za potrebe nanošenja antikorozivne zaštite, nužno je provesti vizualnu kontrolu cjevovoda zbog toga što se radiografijom pokriva područje samo oko zavara te pukotine nije moguće uvijek ustanoviti radiografijom, dok se površinske greške na plinovodu u cijelosti mogu detektirati nakon pjeskarenja. Ako se uoče nedostaci, potrebno je poduzeti korake za daljnje ispitivanje ili sanaciju oštećenja.

Za eventualnu daljnju eksploataciju nužno je provoditi plansku kontrolu plinovoda, a posebice kritičnih pozicija na spojevima 7, 8, 9 i 10, te na lokacijama gdje je izmjerena minimalna debljina stijenke prema Izvještaju o mjerenju debljine stijenke.

## 8. Ispitivanje VT plinovoda DN 500 ultrazvučnom i vizualnom metodom na lokacijama iskopa dobivenih Pearson's metodom

Predmet ispitivanja je zona na VT plinovodu DN 500 na lokacijama detektiranih neispravnosti izolacije plinovoda Pearson's metodom ispitivanja.

Pearson's metoda ispitivanja upotrebljava se za otkrivanje oštećenja izolacijske prevlake podzemnih cjevovoda. Moguće je detektirati oštećenja veća od 20 cm<sup>2</sup>. Dnevno se može ispitati oko 2 km trase ovisno o prohodnosti.

Istovremeno s pearsonovom detekcijom često se koristi i metoda mjerenja potencijala korak po korak. Mjerenjem se može vrlo pouzdano ocijeniti stanje izolacije i preporučiti potrebne interventne mjere. Osim oštećenja izolacije moguće je otkriti i locirati neželjene spojeve na mjestima križanja sa stranim cjevovodima i uzemljivačima.



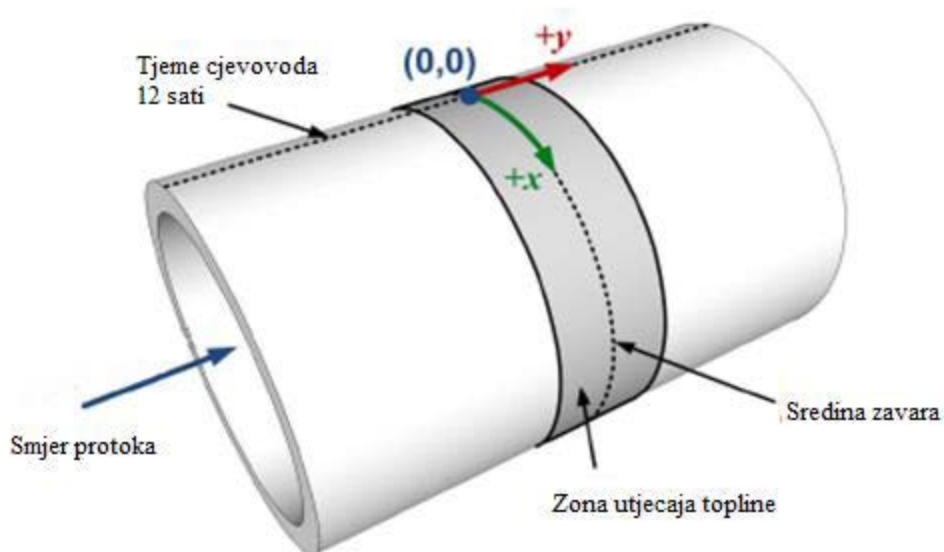
**Slika 23. Uređaj za mjerenje oštećenja izolacije**

Izvor: baza podataka GPZ

### **Za mjerenje debljine stjenke:**

Aksijalni smjer raste u smjeru protoka, gdje je ishodišna točka najisturenija točka skinute izolacije po obodu, a izražena je u mm. Obodni smjer raste u smjeru kazaljke na satu gledajući u smjeru protoka, a izražen je u satima (raspored na satu), odnosno u mm.

## Za ispitivanje suočenih zavora:



**Slika 24. Prikaz koordinata kod ispitivanja suočenog zavora**

Izvor: baza podataka GPZ

Y – aksijalna koordinata. Ishodišna točka 0 je sredina zavora. Pozitivan smjer je u smjeru protoka

X – obodna koordinata. Ishodišna točka je tjeme cjevovoda (12 sati). Pozitivan smjer je u smjeru kazaljke na satu gledajući u smjeru protoka.

Obodno u satima: 12 sati - tjeme cjevovoda 0°; 3 sata - 90° stupnjeva; 6 sati - 180°; 9 sati - 270°, gdje je pozitivan smjer u smjeru kazaljke na satu gledajući u smjeru protoka.

X koordinata se izražava u mm, gledajući puni opseg cijevi.

Za DN500 nominalni promjer cjevovoda je 508 mm gdje puni opseg iznosi 1596 mm.

### 8.1. Vizualna metoda

Vizualnom metodom, kao efikasnom i brzom metodom za otkrivanje površinskih nepravilnosti, se pregledava opće stanje iskopanog cjevovoda, stanja izolacije te stanja metala i suočenog zavora na mjestu gdje je izolacija uklonjena. Nepravilnosti kao što je korozija, nepravilnosti zavarenog spoja (oblik, dimenzije) i dr. se bilježe.





**Slika 25. Sučeoni zavareni spoj i okolni osnovni materijal**

Izvor: baza podataka GPZ

Vizualnim pregledom dijelova otkopanog plinovoda na dvije lokacije na dijelu gdje je uklonjena izolacija nisu bili uočeni nedostaci kako na dijelovima cijevi s koje je skinuta izolacija tako i na samim zavara.

## 8.2. Ispitivanje zavarenih spojeva ultrazvučnom metodom

U svrhu provođenja pouzdanog ispitivanja potrebno je izvršiti dobru pripremu. Stoga je potrebno unaprijed definirati, odnosno poznavati slijedeće: [2]

- **Podatke o vrsti zavarenog spoja**

- Materijal
- Kvaliteta površine osnovnog materijala
- Postupak zavarivanja i očekivanje pogreške
- Priprema, oblik spoja
- Debljina osnovnog materijala
- Dopuštena nadvišenja
- Eventualne teškoće u vezi zavarivanja s obzirom na poziciju
- Kriterij kvalitete odnosno prikladnosti

- **Podatke o rezultatu vizualne kontrole**

- Rezultat vizualne kontrole mora sadržavati interpretaciju uključujući sve vizualno ustanovljenje pogreške
- Dokaz o uklanjanju pogreške u skladu s kriterijem za vizualnu kontrolu

- **Podatke o provjeri kvalitete površine**

- Mjerenje hrapavosti i nalaz
- Izjavu o prihvatljivosti, s obzirom na uvjete ultrazvučne kontrole

- **Podatke o položaju i veličini zavara**

- Točan položaj i veličinu

- **Izbor sonde**

Za zavarene spojeve sa nadvišenjem moramo odabrati neku od standardnih kutnih sodi. Time moramo obratiti pažnju da odaberemo sondu koja će omogućiti da ispitivanje zavarenog spoja izvršimo na što je moguće kraćoj duljini, a da se previše ne približimo

zavaru radi nadvišenja koje može otežati nalijeganje sonde na kontaktnu površinu. U odnosu na debljinu materijala preporučuju se upotreba različitih kuteva sondi.

**Tablica 6. Izbor kuta sonde ovisno o debljini osnovnog materijala**

Debljina osnovnog materijala	Kut sonde
6 – 15 mm	60 – 70°
16 – 35 mm	60 – 45°
>35 mm	45°

Izvor: Vjera Krstelj, Ultrazvučna kontrola, Zagreb, 2003.

Kako bi objekt ispitivanja bio spreman za ispitivanje potrebno je poduzeti slijedeće korake:

- Utvrditi i provjeriti prikladnost oznaka ili provesti označavanje položaja ispitivanja sukladno tehničkoj dokumentaciji
- Provesti provjeru temperature objekta i okoline i usklađenosti temperature objekta ispitivanja i etalona za podešavanje sustava, te u slučaju većih temperaturnih razlika prilagoditi temperature ili postupke uz odobrenje odgovarajuće osobe
- Pripremiti kontaktnu plohu, površina mora biti očišćena od nečistoća u zoni skeniranja a eventualne čvrsto priljubljene kapljice od zavarivanja ili korozije moraju biti odklonjene
- U slučaju zahtijevanja poboljšanja uvjeta za provođenje ultrazvučne kontrole, radi boljeg otkrivanja pogreške i pouzdanije interpretacije, često je moguće potrebno blago izgladivanje nadvišenja na strani lica ili korijena vara, a nekad čak i brušenje zavarenog spoja do razine osnovnog materijala

U području koje se prozvučuje potrebno je ispitati slojavost, jer pogreške slojavosti mogu uzrokovati krivo interpretiranje pogreške.

#### ***Prednosti i nedostaci ispitivanja ultrazvukom***

- mogućnost ispitivanja materijala velikih debljina
- dovoljan je pristup predmetu ispitivanja samo s jedne strane
- osjetljivost metode je relativno visoka i pronalaženje greške jednostavno
- nema štetnog utjecaja na ljudsko tijelo pa ne zahtijeva zaštitna sredstva

- uređaj i pribor su lagani i lako prenosivi
- u usporedbi sa radiografijom metoda ne ostavlja izravan i vjerodostojan zapis za neke naknadne provjere
- interpretacija nalaza ispitivanja vrlo je ovisna o znanju, iskustvu i savjesnosti ispitivača
- nepogodna metoda za ispitivanje složenijih oblika konstrukcije [1], [10], [11], [12]

### 8.3. Oprema

Korišteni ultrazvučni instrument je marke Zetec model Topaz 32/128PR-X64, serijski broj: 793824.

Ravna sonda: GE/Krautkramer 0° sonda 4 MHz tipa MB4S-N serijski broj: 53465

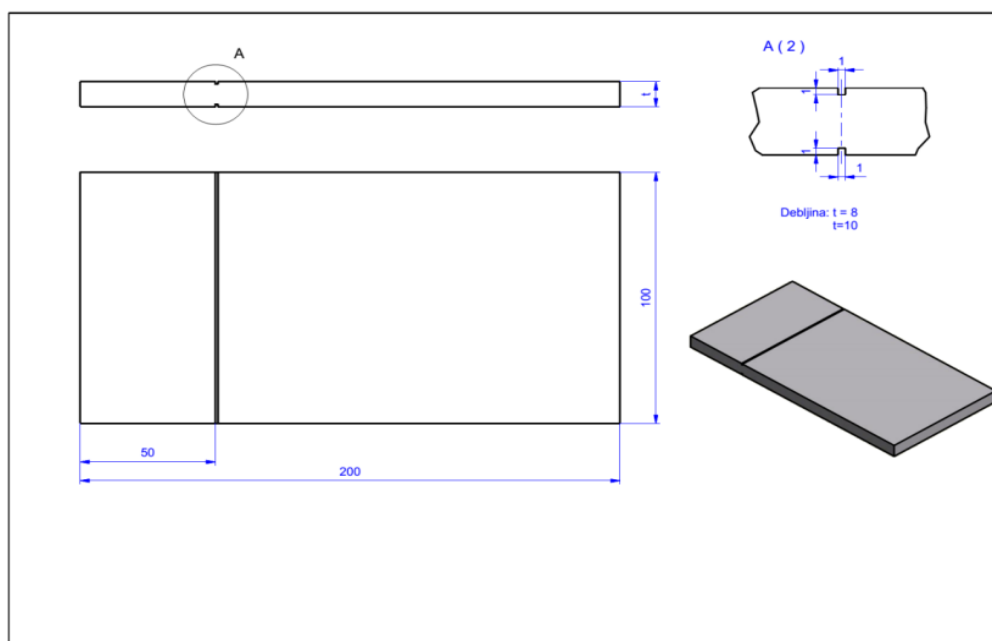
Kutna sonda: GE/Krautkramer 70° sonda 4 MHz tipa MWB-70, serijski broj: 56929-84672.

Ultrazvučni kablovi su Lemo00-Lemo00 dužine 2 m.

Upotrijebljeno kontaktno sredstvo je motorno ulje.

### 8.4. Baždarenje i ispitivanje

Za baždarenje je korišten kalibracijski blok s utorima prikazani na slici 26.



**Slika 26. Baždarni blok za podešavanje osjetljivosti ispitivanja**

Izvor: baza podataka GPZ

Korištena je metoda za ispitivanje sučeljenih zavara po ISO 17640 te su se za baždarenje koristili kalibracijski blokovi sa utorima prikazani na slici 12. kao i standardni V1 blok. Vremenska baza za ravnu i kutnu sondu je baždarena na V1 bloku. Ravnom sondom se ispitao osnovni materijal cjevovoda na udaljenosti od 1.25 punog koraka od zavara u svrhu otkrivanja reflektora koji bi onemogućili ispitivanje kutnom sondom i pronalaska zona stanjenja stjenke cjevovoda.

Ispitno baždarenje za kutnu sondu je vršeno na bloku prikazanom na slici 2 za kreiranje Distance-Amplitude-Correction (DAC) krivulje po EN-583-2:2001. Zbog razlike u prigušenju materijala baždarnog bloka i cjevovoda, vršena je korekcija DAC krivulja (transfer correction) u svakom ispitnom rovu na puni korak ultrazvučnog puta. Ispitni volumen je zavar u punom opsegu te zona utjecaja topline od 10 mm sa svake strane zavara po ISO 17640. Ispitivanje je vršeno na puni korak kutne sonde s obje strane zavara gdje je dostup bio moguć s ciljem pronalaska longitudinalnih indikacije sukladno tablici A.1 norme ISO 17640, na nivou testiranja A.

## **8.5. Rezultati mjerenja debljine stjenke na lokacijama**

Na obje iskopane lokacije, izolacija je bila uklonjena samo cca 60 mm s obje strane sučeonog zavara. Mjerenje debljine stjenke je bilo izvršeno samo na točkama 60mm sa obje strane zavara, u 4 obodne točke (3h, 6h, 9h, 12h). Mjerenje po punoj dužini iskopanog plinovoda nije bilo moguće zbog izolacije.



**Slika 27. Ispitivanje**

Izvor: baza podataka GPZ

Prosječna debljina stjenke na ispitanom segmentu iznosi 8,83 mm, što je u skladu greške mjerenja primijenjene metode od nominalne debljine cjevovoda od 8,8 mm.

Ultrazvučnim ispitivanjem sučeonog zavora na iskopanim lokacijama u rovu, pronađene indikacije imaju karakteristike indikacija nastalih kod izgradnje plinovoda

prilikom zavarivanja, kao što su naljepljivanje s osnovnim materijalom (lack of fusion), te u korijenu zavora zbog utjecaja geometrije ili prokapljine.

Na oba ispitana sučeona zavora nisu pronađene indikacije uzrokovane u eksploataciji plinovoda. Za točniju karakterizaciju pronađenih indikacija na lokacijama cjevovoda DN500 potrebna je tehnička dokumentacija zavora iz vremena izgradnje plinovoda (radiografija, UZ).

Zbog toga se preporučuje praćenje eventualnih promjena pronađenih indikacija periodičkim ispitivanjem. Ultrazvučnim mjerenjem debljine stjenke plinovoda nije detektirano stanjene stjenke od nominalne, na ispitnim uzorcima (dostupnim mjestima iskopanog cjevovoda).,

## 9. Razvoj strategija održavanja

Razvoj strategija održavanja pretpostavlja utvrđivanje ciljeva održavanja koja su specifična za pojedinog operatora distribucijskog sustava.

Strategije održavanja opisuju mjere u svrhu održavanja potrebne tehničke sigurnosti i pouzdanosti plinske mreže.

U principu, razlikuju se kratkoročne, srednjoročne i dugoročne strategije održavanja koje su implementiraju putem konkretno opisanih mjera održavanja.

Iste su opisane u DVGW Tehničkoj uputi G 403 (IGT izdanje) Pomoć pri odlučivanju za održavanje gasnih distributivnih mreža.

U skladu s normama HRN EN 13306:2004 Nazivlje u održavanju i DIN 31501 Osnove održavanja, održavanje je kombinacija svih tehničkih, administrativnih i poslovnih postupaka tijekom vijeka trajanja nekog elementa (bilo koji dio, uređaj, oprema ili sustav, koji se mogu razmatrati pojedinačno) s ciljem zadržavanja ili vraćanja elementa u stanje u kojem može izvršiti zahtijevanu funkciju.

Kada mjere redovnog održavanja ili mjere dovođenja u funkcionalno stanje pomoću popravaka, tehnički i ekonomski nemaju smisla ili nisu moguće onda se uvijek mora provesti rekonstrukcija ili obnavljanje plinskog distribucijskog sustava u svrhu održavanja sigurne i pouzdane opskrbe plinom krajnjih kupaca.

Neprovedene ili nepravovremene provedene mjere održavanja mogu voditi do narušavanja sigurnosti i funkcionalnosti plinskog distribucijskog sustava. Funkcionalnost predstavlja pogonski sigurnu distribuciju plina u dovoljnoj količini i potrebnim tlakom. Pretpostavka za održivo dugoročno planiranje je poznavanje specifičnog ponašanja korištenja plinskog distribucijskog sustava kako ne bi došlo do ekonomski nemjerljivih šteta (s aspekta ozbiljnosti posljedica prema čovjeku, imovini i okolini) od mogućih havarija uzrokovanih opterećenjima na plinovod koja nije moguće detektirati (zamor materijala - oprema pod tlakom mora biti odgovarajuće vlačne čvrstoće te imati odgovarajuća svojstva plastičnosti i žilavosti, lutajuće struje, naprezanja u tlu nakon proteka vremena i sl.).

Buduća potreba održavanja za definirana pogonska sredstva određuje se prema stanju plinske mreže i očekivanom vremenu korištenja, bazirano na načelnim vrstama i aktivnostima održavanja. Optimalna strategija održavanja može sadržavati elemente korektivnog, preventivnog i održavanja usmjerenog prema stanju pogonskog sredstva.



Kvalitetna ocjena održavanja plinske mreže može se provesti jedino uz detaljno poznavanje mreže koje zahtjeva vođenje baza podataka o:

- osnovnim tehničkim podacima o plinovodima (opskrbeni plinovodi, plinski priključci, armatura)
- mjestima oštećenja (statistika oštećenja koja se odnosi na pojedine dionice plinovoda-to su podaci o događajima koji se pored ostalog prikupе u okviru kontrola nepropusnosti, oštećenja se moraju ispitati u pogledu njihovih uzroka)
- nalazima o stanju plinovoda (lokacija, npr. podaci o stanju katodne zaštite iz mjerenja)
- informaciji o okolini. (vrste tla, udaljenosti prema objektima, opterećenje od prometa, pomicanje tla, nedozvoljeno građenje, nedozvoljeno sađenje drveća, karakteristike urbanog područja)

Dodatne informacije i podloge za odlučivanje mogu se dobiti iz specifičnih analiza plinske mreže.

Osim očuvanja tehničke sigurnosti treba uzeti u obzir i druge kriterije:

- troškovi servisiranja, popravaka i zamjene
- troškovi pojačanih periodičkih ispitivanja (kontrola nepropusnosti plinske mreže i provođenje udarne odorizacije izvan redovnih rokova)
- posebni troškovi (nabave i skladištenja) rezervnih dijelova koji se više ne proizvode
- učestalost i trajanje prekida isporuke plina
- potencijal smanjenja troškova putem koordiniranih mjera (zajedničko polaganje vodova)
- značaj dijela plinskog distribucijskog sustava koji je predmet rekonstrukcije.

Ako se stopa oštećenja specifična po grupama pogonskog sredstva ne može proračunati na osnovi nedostupnih podataka o postojećem stanju i oštećenjima, tada se efekti starenja i kvaliteta izrade mogu ocijeniti i pomoću ocjene bodovanja materijala cjevovoda, na osnovi pogonskog iskustva.

Osnovu za razvoj planiranja održavanja i strategija održavanja čini minimalna količina podataka koja je definirana sukladno DVGW Tehničkom pravilu G 402 (IGT izdanje) Statistika mreže i statistika o oštećenjima - Prikupljanje i analiza podataka za razvoj strategije održavanja za gasne distributivne mreže.

## **9.1. Planiranje uporabnog vijeka**

Troškovi održavanja i uporabe građevine dio su troškova životnog ciklusa građevine odnosno ukupnih životnih troškova građevine, što je definirano normom HRN EN ISO 15686-5. Smatra se kako šira uporaba metode troškova životnog ciklusa ima dvije velike prepreke, a to su nedostatak pouzdanih podataka o povijesnim troškovima infrastrukturnih građevina i načinu uporabe i nepostojanje učinkovite metode za kontrolu analize troškova.

Predlažem da se nabavi norma HRN EN ISO 15686-5:2009 Građevine - Planiranje uporabnog vijeka - 5. dio Trošak životnog ciklusa

## **9.2. Prikupljanje podataka o stanju i događajima na plinskoj mreži**

Budući da prema HERA-i podnosimo Godišnje izvješće koje obuhvaća i podatke o događajima na plinskom distribucijskom sustavu i prekidima isporuke plina predlažem da DVGW Tehničko pravilo G 410 (IGT izdanje) Registracija stanja gasnog sistema i incidenata na gasnoj infrastrukturi, može poslužiti kao podloga koja opisuje kriterije za registraciju tih podataka. Predmetno tehničko pravilo opisuje strukturu podataka plinske struke za statistiku koju vodi DVGW.

## **9.3. Očekivani utjecaj rekonstrukcija na poslovne pokazatelje**

Rekonstrukcijama čelične ST i NT plinske mreže u kojoj cjevovodi nemaju neprekidnu metalnu i dovoljno visoku uzdužnu provodljivost ili oblogu sa zadovoljavajućim električnim otporom koji su nastali uslijed prijašnjih rekonstrukcija ili radova u zaštitnom pojasu, smanjiti će se godišnji troškovi održavanja vezanih uz antikorozivnu zaštitu sukladno kriteriju zaštitnog potencijala prema HRN EN 12954:2019 Opća načela katodne zaštite ukopanih ili uronjenih kopnenih metalnih konstrukcija i DVGW GW 10 Katodna zaštita od korozije podzemnih čeličnih rezervoara i cjevovoda – Puštanje u pogon i nadzor. Godišnji troškovi održavanja obuhvaćaju troškove mjesečnih kontrola funkcionalnosti napojnih stanica, mjerenje zaštitnih potencijala na svim mjernim mjestima, mjerenje dodirnog napona na odabranim mjernim mjestima te ispitivanje prenaponske zaštite s pripadajućim uzemljenjem.

Dvogodišnje se ispituje ispravnost električnih instalacija napojnih stanica, a višegodišnje se provode specifična mjerenja (npr. Pearsonova detekcija). Pojava vanjske

korozije uslijed oštećenja zaštitnog premaza ili obloge nastaje zbog stranih utjecaja za vrijeme pogona ili općeg stanja pasivne zaštite od korozije (utjecaj okolnog tla, materijal, karakteristike starosti), a manifestira se kao rupičasta ili površinska. Provedenim rekonstrukcijama također će se smanjiti i pogonski troškovi u koje ubrajamo troškove energenata (električna energija za napojne stanice katodne zaštite).

## 10. Smjernice za proces razvoja održavanja

Problematika starenja plinovoda i utjecaja starosti na rad distribucijskog sustava, te planiranja rekonstrukcija, uglavnom zaokuplja operatore distribucijskog sustava budući da su oni odgovorni za svoju imovinu i financijske pokazatelje poslovanja.

Razvoj strategija održavanja pretpostavlja utvrđivanje ciljeva održavanja koja su specifična za pojedinog operatora distribucijskog sustava.

Strategije održavanja opisuju mjere u svrhu održavanja potrebne tehničke sigurnosti i pouzdanosti plinske mreže sukladno pozitivnim strukovnim i zakonskim propisima.

U principu, razlikuju se kratkoročne, srednjoročne i dugoročne strategije održavanja koje su implementiraju putem konkretno opisanih mjera održavanja.

Razlikuju se slijedeće vrste održavanja: preventivno, planirano, zadano, održavanje prema stanju, održavanje na osnovu predviđanja, korektivno održavanje, odgođeno održavanje, neodgodivo održavanje, održavanje u tijeku.

Optimalna strategija održavanja može sadržavati elemente korektivnog, preventivnog i održavanja prema stanju.

Plan održavanja uključuje aktivnosti, postupke, sredstva i vrijeme potrebno za izvođenje održavanja.

Aktivnosti održavanja mogu biti: pregled, nadzor, ispitivanje udovoljavanja zahtjevima, provjera funkcije, rutinsko održavanje, remont, obnavljanje, popravak, otkrivanje greške, lokaliziranje pogreške, poboljšanja, preinake.

Proces razvoja održavanja sastoji se od:

- procesa formiranja pogonskih sredstava u grupe
- procesa prognoze.

Planiranje rekonstrukcija čeličnih plinovoda s priključcima kao dijelova plinskog distribucijskog sustava vrši se usporedbom starosti čeličnih plinovoda s priključcima u promatranom budućem trenutku i očekivanom životnom vijeku tog plinovoda.

Pri tome je nužno minimizirati financijska sredstva uložena u rekonstrukciju i optimalno ih raspodijeliti na određeno vremensko razdoblje, u cilju postizanja zadovoljavajuće pouzdanosti sustava i sigurnosti opskrbe krajnjih kupaca.

## 10.1. Određivanje faktora rizika

Ocjene stanja plinovoda s priključcima i određivanje prioriteta za aktivnosti održavanja temelji se na određivanju faktora rizika koji su navedeni u nastavku:

1. starost (pridružuje mu se težinski faktor 2, a faktor rizika se izračunava na osnovu omjera između starosti promatranog plinovoda i njenog očekivanog životnog vijeka),
2. učestalost oštećenja (pridružuje joj se težinski faktor 4, a faktor rizika se izračunava na osnovu broja oštećenja na plinovodu u godini dana),
3. nalazi o stanju (pridružuje joj se težinski faktor 3, a faktor rizika se izračunava na osnovu dodatnog posla na održavanju, neovisno o regularnim aktivnostima preventivnog održavanja),
4. regulatorni zahtjevi te zahtjevi zaštite okoliša (pridružuje im se težinski faktor 3, a faktor rizika se izračunava na temelju mogućnosti ispuštanja plina u atmosferu),
5. troškovi održavanja (pridružuje im se težinski faktor 3, a faktor rizika se izračunava na osnovu odnosa između ukupnih troškova održavanja i popravaka, te istih troškova koji bi nastali ukoliko se koristi potpuno novi izgrađeni plinovod),
6. troškovi popravka (težinski faktor 4 je pridružen toj kategoriji, a faktor rizika se izračunava na temelju neto sadašnje vrijednosti mogućih opcija - ostanak u pogonu, popravak),
7. raspoloživost rezervnih dijelova (pridružuje im se težinski faktor 3, a faktor rizika se izračunava na temelju broja glavnih dijelova trenutno raspoloživih, njihovih troškova i razdoblja isporuke),
8. sposobnost stručnih radnika (vrednuje se obučenosť i sposobnost stručnih radnika u održavanju i popravcima na plinovodu, toj kategoriji pridružuje se težinski faktor 3, a faktor rizika se određuje kroz analizu raspoloživih vještina stručnih radnika),
9. raspoloživost i troškovi popravka (vrednuje se mogućnost angažmana vanjskih izvođača na održavanju i popravcima na plinovodu, toj kategoriji pridružuje se težinski faktor 3, a faktor rizika se određuje na temelju raspoloživosti rezervnih dijelova, njihovih troškova, vremena isporuke, mogućnosti angažiranja vanjskih izvođača i vremena njihove reakcije),
10. sigurnost za radnike (plinovod s oštećenjima može izazvati opasnost po radniku u radu s istim pa se toj kategoriji pridružuje težinski faktor 5, dok se faktor rizika

određuje na temelju vjerojatnosti nastanka incidentnih situacija, te trajanja istih, veličine i vrste područja koje je ugroženo),

11. javna sigurnost (pridružuje se težinski faktor 5 budući da ovisi o riziku koji plinovod izaziva po okolinu, faktor rizika određuje se na temelju vjerojatnosti nastanka incidentnih situacija, mogućeg utjecaja na okolinu, trajanja incidenta, veličine i vrste područja zahvaćenog incidentom),
12. sigurnost susjednog plinovoda (plinovod u lošem stanju može utjecati na oštećenje drugog plinovoda u blizini pa se promatranoj kategoriji pridružuje težinski faktor 4, a faktor rizika se određuje na osnovu vjerojatnosti nastanka incidenta i utjecaja na susjedni plinovod),
13. zastarjela tehnologija (tehnologija korištenog plinovoda s priključcima i opremom može biti takva da funkcionalnost istog bude smanjena. Težinski faktor 1 pridružuje se toj kategoriji, a faktor rizika se određuje na temelju vjerojatnosti nastanka incidentnih situacija, njihovog trajanja i utjecaja na ostalu opremu vezanu za promatrani plinovod),
14. utjecaj na kvalitetu opskrbe (promatranoj kategoriji pridružuje se težinski faktor 5 budući da se promatra mogućnost prekida isporuke prirodnog plina zbog stanja plinovoda. Faktor rizika se određuje preko vjerojatnosti pojave oštećenja, te vrste i veličine područja zahvaćenog oštećenjem),
15. utjecaj na krajnje kupce (s obzirom na kategorije krajnjih kupaca čije je napajanje vezano za promatrani plinovod određuje se faktor rizika, a promatranoj kategoriji pridružen je težinski faktor 4),
16. utjecaj na tvrtku (vrednuje se negativan utjecaj koji pojedini plinovod i njegovo stanje može imati po financijske pokazatelje poslovanja tvrtke. Pridruženi težinski faktor iznosi 5, a faktor rizika se određuje na temelju vjerojatnosti nastanka oštećenja, mogućeg trajanja, troškova popravaka i gubitaka prihoda tvrtke izazvanog oštećenjem promatranog plinovoda),
17. mogućnost izvođenja rekonstrukcija (vrednuje se mogućnost izvođenja aktivnosti na rekonstrukcijama prije nastanka ozbiljnijih šteta koje pojedini plinovod može izazvati. Težinski faktor 5 pridružen je promatranoj kategoriji, a faktor rizika se određuje na temelju vjerojatnosti nastanka poremećaja i njihovog broja, direktnih i indirektnih troškova, mogućeg vremena i troškova dovođenja plinovoda u projektirano stanje, te vremena i poteškoća u obavljanju adekvatnih zamjena).

Za svaku kategoriju izračunavaju se faktori rizika, te se uz određene težinske faktore izračunava ukupan faktor rizika na temelju kojeg se plinovod svrstava u kategorije niskog, srednjeg ili visokog rizika prema kojima se određuje aktivnost održavanja.

## 10.2. Određivanje kriterija za rekonstrukcije plinovoda

U cilju određivanja liste prioriteta za rekonstrukcije potrebno je postaviti što jasnije kriterije na temelju kojih bi se određivala potreba uvrštenja kandidata za rekonstrukcije na tu listu i omogućilo određeno rangiranje istih radi postavljanja prioriteta, te planiranja budućih ulaganja i aktivnosti na rekonstrukcijama. Kriterije za rekonstrukcije postavljaju se s obzirom na: stvarno stanje promatranih dijelova PDS, te ulogu i značaj istih u plinskom distribucijskom sustavu.

- **Kriteriji ovisni o stvarnom stanju promatranog plinovoda**

1. Starost plinovoda

Starenje je kontinuirani proces tijekom kojega se narušava funkcionalnost plinovoda. Za sve grupe istovrsnih plinovoda definira se očekivana životna dob tih plinovoda na temelju statističke analize podataka iz prošlosti.

Starost plinovoda, u odnosu na očekivanu životnu dob grupe istovrsnih plinovoda, određeni je pokazatelj njenog mogućeg stanja. Svi plinovodi stariji od očekivane životne dobi grupe istovrsnih plinovoda potencijalni su kandidati za rekonstrukcije, iako u konačnici možda neće biti nužno izvoditi bilo kakve aktivnosti na rekonstrukcijama ukoliko su ostali pokazatelji stanja promatranog plinovoda povoljni. Prema tome, kandidat za rekonstrukcije svaki je plinovod za koji je zadovoljeno:

$$G_k > G$$

gdje je  $G_k$  starost promatranog plinovoda  $k$ , a  $G$  očekivana životna dob istovrsne grupe plinovoda (može se uzeti  $G = 35$  godina za promatranu grupu plinovoda)

2. Neraspoloživost plinovoda

Za starije plinovode očekuje se porast njihove neraspoloživosti. Kao kandidate za rekonstrukcije potrebno je izdvojiti sve plinovode čija je prosječna neraspoloživost od vremena stavljanja u funkciju obuhvaćena statistikom pogonskih događaja veća

od prosječne neraspoloživosti u istom razdoblju cjelokupne grupe istovrsnih plinovoda.

### 3. Rezultati kontrole i ispitivanja plinovoda

Za kandidate za rekonstrukcije uvrštavaju se svi oni plinovodi čije vizualne kontrole ili rezultati ispitivanja ukazuju na njihovu smanjenu funkcionalnost i općenito ugroženost.

### 4. Troškovi održavanja plinovoda

Svaki plinovod tijekom svog životnog vijeka redovito se održava kako bi se očuvala njegova funkcionalnost. U održavanje se ulažu određena financijska sredstva koja su na razini pojedinih vremenskih razdoblja približno konstantna. U slučaju da održavanje nije uzrokovano nekim izvanrednim događajima, govorimo o preventivnom održavanju.

Istovremeno raste i potreba preventivnog održavanja, odnosno planiranih prekida isporuke plina, kako bi se otklanjali pojedini nedostaci i omogućio normalni pogon plinovoda.

Kao kandidate za rekonstrukcije možemo izdvojiti one plinovode čiji su troškovi održavanja, promatrano u određenom vremenskom razdoblju (na primjer u godini dana), znatno veći od troškova preventivnog održavanja, odnosno troškova održavanja istovrsnih novijih plinovoda. Prema tome, kandidat za rekonstrukcije svaki je plinovod za koji je zadovoljeno:

$T_{do}(k) > T_{po}(k)$  gdje su:

$T_{do}(k)$  aktualni godišnji troškovi održavanja promatranog plinovoda  $k$ , a  $T_{po}(k)$  godišnji troškovi preventivnog održavanja novijeg plinovoda istovjetnog plinovodu  $k$ .

### 5. Tehničko stanje plinovoda i ostali pokazatelji stanja plinovoda

Pod kriterijima za ocjenu tehničkog stanja plinovoda ubraja se:

- tehnička neispravnost plinovoda ili na njemu ugrađene opreme,
- tehnička greška plinovoda je takva da je ekonomski neisplativo tu grešku otkloniti,
- nezadovoljavajuće karakteristike plinovoda s obzirom na očekivane pogonske uvjete u planskom razdoblju,
- nezadovoljavanje postojećih i budućih tehničkih propisa koje plinovod mora zadovoljavati.

Pod tehnički neispravnim plinovodom podrazumijevamo plinovode koji su trajno u stanju prekida isporuke plina radi oštećenja, one plinovode koji su u pogonu ali



predstavljaju opasnost ili rizik za ljude ili imovinu ili okolinu i ispravni pogon ostalog dijela PDS.

Pod tehničkom greškom plinovoda podrazumijevamo posljedice događaja koji promatrani plinovod postavlja u stanje privremenog ili trajnog stanja izvan pogona. Kao kandidate za rekonstrukcije izdvajaju se svi plinovodi koji ne zadovoljavaju neki od gore nabrojanih tehničkih kriterija.

Osim prethodno navedenog na stanje plinovoda i potrebe rekonstrukcija značajan utjecaj mogu imati i određene okolnosti izvan promatranih plinovoda, kao što su:

- informacije o okolini (agresivni sastav tla, zone djelovanja lutajućih struja, udaljenosti prema građevinama, opterećenje od prometa, klizišta tla, nedozvoljeno građenje, nedozvoljeno sađenje drveća, karakteristike urbanog područja, utjecaj opsežnih radova na niskogradnji)
- nedostatak stručnih radnika obučanih za održavanje pojedinih radova na plinovodu,
- nedostatak rezervnih dijelova nužnih za normalan pogon plinovoda,
- nezadovoljenje različitih zakonske i podzakonske regulative vezane za zaštitu okoliša,
- nezadovoljenje različitih zahtjeva regulatorne agencije,
- ugroženost stručnih radnika zaduženih za održavanje,
- neposjedovanje akata o gradnji,
- mogućnost zajedničkog polaganja plinovoda s ostalim infrastrukturama.

Plinovodi koji zadovoljavaju jedan od gore navedenih uvjeta također su kandidati za rekonstrukcije.

- **Odabir kandidata za rekonstrukciju**

Iz ukupnog uzorka svih plinovoda izdvajamo one plinovode:

- čija je starost veća od očekivane dobi grupe istovrsnih plinovoda ( $T = 35$  godina),
- čija je neraspoloživost u proteklom petogodišnjem razdoblju obuhvaćenom statistikom pogonskih događaja veća od prosječne neraspoloživosti svih plinovoda unutar grupe istovrsnih plinovoda
- čiji su troškovi održavanja u određenom razdoblju (godišnje) znatno veći od troškova održavanja novih istovjetnih plinovoda,
- kod kojih su vizualna kontrola ili ispitivanja ukazali na nezadovoljavajuće stanje,

- koje su tehnički neispravni,
- plinovodi u stanju tehničke greške ekonomski neisplative za otklanjanje,
- plinovodi s nezadovoljavajućim karakteristikama s obzirom na očekivane pogonske uvjete,
- plinovodi koji ne zadovoljavaju tehničke i druge propise te zahtjeve regulatorne agencije,
- plinovodi čije rezervne dijelove više nije moguće nabaviti ili je to ekonomski neisplativo,
- plinovodi za koje je evidentan nedostatak osoblja obučenog za njihovo održavanje, te
- plinovodi koji predstavljaju ozbiljan rizik za ljude ili imovinu i ispravno funkcioniranje ostalih plinovoda.

Samo plinovodi koji zadovoljavaju gornje uvjete smatramo kandidatima za rekonstrukcije, te ih kasnije uvrštavamo na listu prioriteta.

## 11. Rekonstrukcija VT čeličnog plinovoda zbog dotrajalosti

U ovom primjeru opisat ću rekonstrukciju VT plinovoda VTP Gajnice na kojoj sam osobno radio kao tehničar u pripremi gradilišta sa strojarske strane, načina rekonstrukcije, umrtvljenja plinovoda i postavljanja novog.

U Zagrebu u ulicama Japetička, Medpotoki i Jovanovečka, te spoj na postojeći visokotlačni plinovod DN600 u Samoborskoj cesti izgrađen je visokotlačni plinovod promjera u dvije dimenzije DN250 I DN200 kojim se plinom opskrbljuje plinska regulacijska stanica (PRS Gajnice).

Zbog dotrajalosti gore navedenog čeličnog visokotlačnog plinovoda, izvršit će se rekonstrukcija visokotlačnog plinovoda kao zamjena za postojeći.

Novi VT plinovod će se spojiti na postojeći čelični visokotlačni plinovod promjera DN600 u Samoborskoj cesti, te će se na plinovod ugraditi novi plinskog zapor.

Novi čelični VT plinovod dimenzije DN150 položiti će se u pravcu sjevera po Japetičkoj ulici sve do kraja Japetičke ulice na način da se zadrži postojeći čelični plinovod DN250 koji bi služio kao zaštitna cijev, a u njega uvuče nova čelična plinska cijev DN150.

Uvlačenjem nove čelične plinske cijevi izvodi se na tri mjesta, tj. na tri montažne jame u Japetičkoj ulici. Nakon što se novi VT plinovod dimenzije DN150 izvede po cijeloj Japetičkoj ulici, na sličan način uvlačimo novu čeličnu cijev DN150 u postojeću zaštitnu cijev promjera DN350 ispod željezničke pruge i Aleje Bologne ali prethodno je potrebno iz zaštitne cijevi izvući prethodno inertiziranu i odrezanu čeličnu cijev DN200.

Nakon izlaska iz zaštitne cijevi na sjevernoj strani Aleje Bologne, potrebno je u zelenom pojasu uz nogostup Ulice Medpotoki ugraditi plinsku uvarnu slavinu dimenzije DN150, te nastaviti polaganje plinovoda u pravcu sjevera po zelenoj površini uz Ulicu Medpotoki sve do Jovinovačke ulice, gdje skreće u istu, te nastavlja u pravcu istoka do ulaska na parcelu postojeće PRS "Gajnice" i dalje u pravcu sjevera do spoja na postojeći ogranak VTP-a koji ulazi u PRS.

Ispred ulaska u PRS, a na parceli iste ugrađujemo novi plinski zapor.

VTP GAJNICE  
REKONSTRUKCIJA



LEGENDA:

 PREDMET REKONSTRUKCIJE

Slika 28. Prikaz trase rekonstrukcije

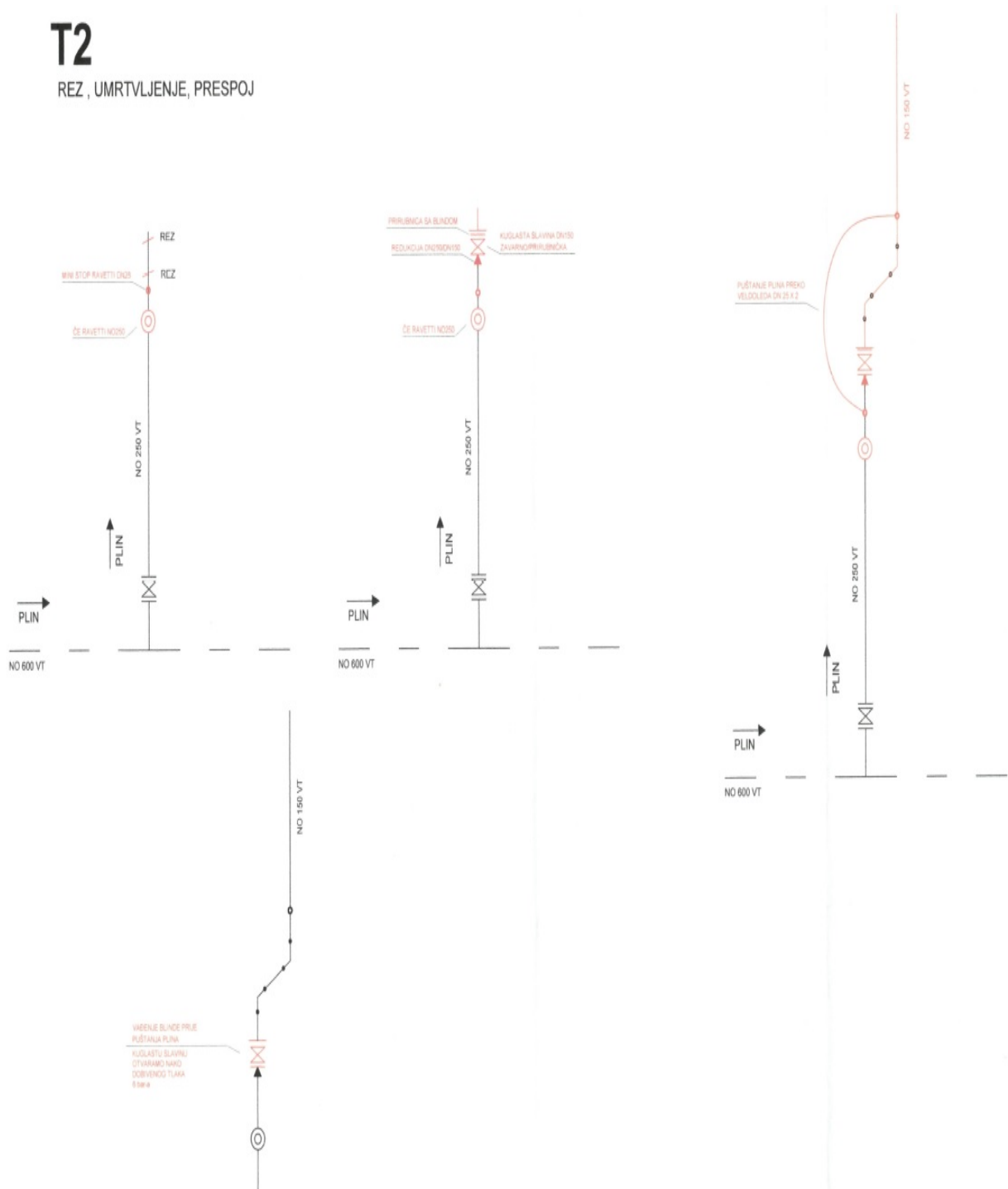
- Izvor: baza podataka GPZ



ispuhivanja da se onemogući zaostajanje plina ili eksplozivne smjese u “džepovima” na plinovodu. Ako je sve u redu dajemo odobrenje za daljnje radove.

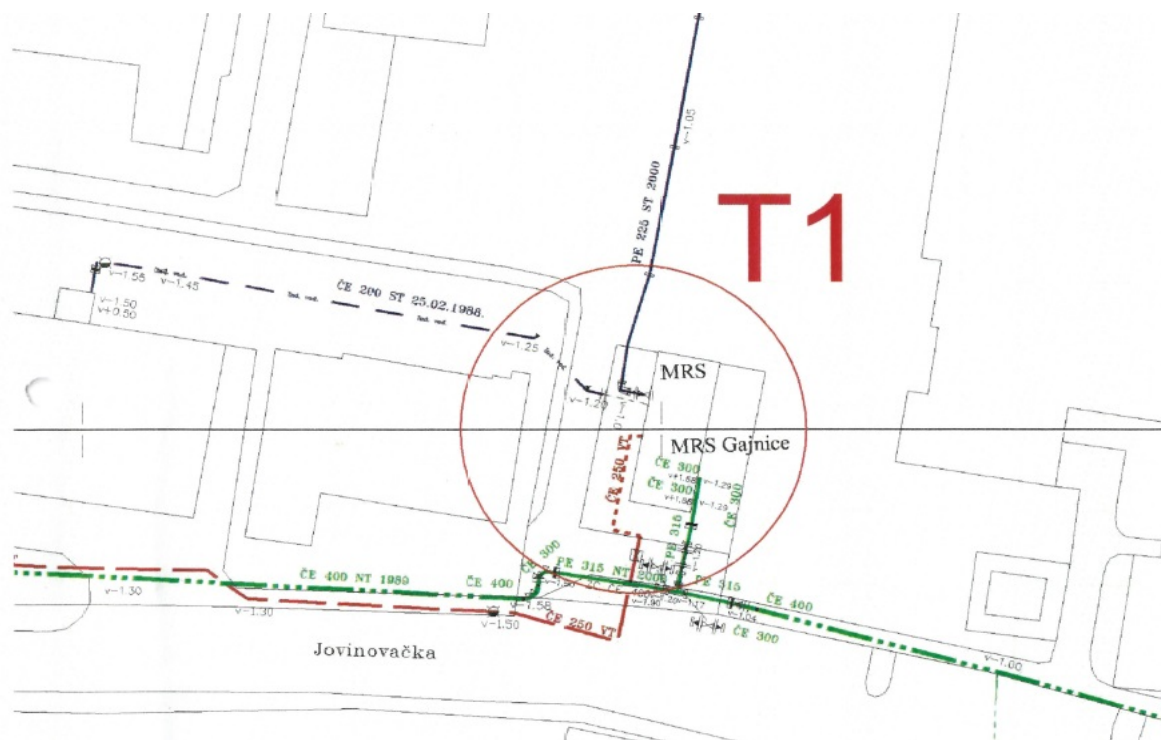
## T2

REZ, UMRTVLJENJE, PRESPOJ



Slika 30. Shema postupka umrtvljenja u T2

Izvor: baza podataka GPZ



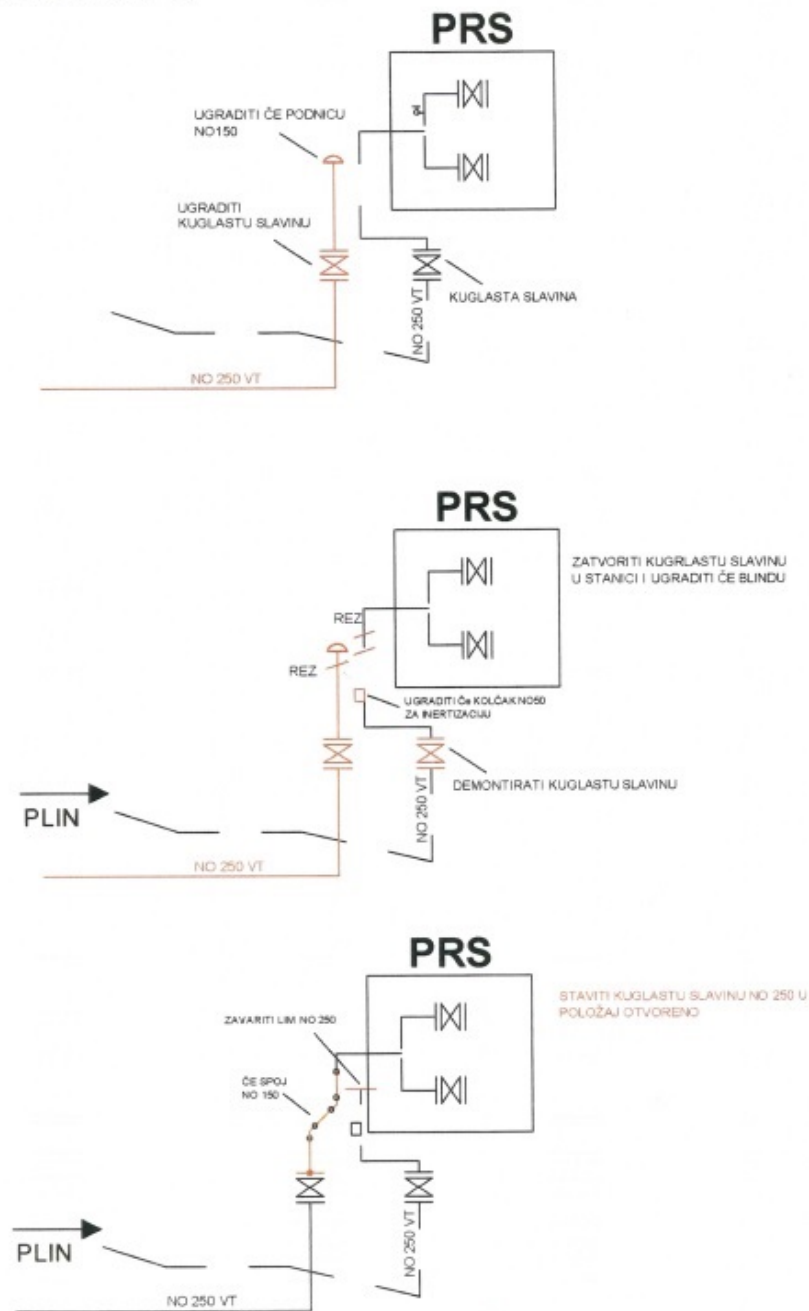
**Slika 31. Prikaz lokacije umrtvljenja u T1**

Izvor: baza podataka GPZ

Nadzorni inženjer provjerava da li postojeće stanje plinovoda odgovara planiranom tehničkom rješenju prespajanja, te se pristupa postupku umrtvljenja obustavljanjem plina u MRS Gajnice, ugradnjom ČE blinde u VT kuglaste slavine.

# T1

REZ, UMRTVLJENJE, PRESPOJ



Slika 32. Shema postupka umrtvljenja u T1

Izvor: baza podataka GPZ

- **Rezanje plinovoda**

Prije odrezivanja plinovoda potrebno je izvršiti sljedeće korake: da je obustava protoka plina provedena na način da u plinovod koji se odrezuje ne može naknadno prodrijeti plin



i da je plinovod koji će se odrezivati inertiziran, da je isključen sustav katodne zaštite i da je mjesto odrezivanja premošteno elektro kabelom, da je jama za odrezivanje plinovoda primjerena za obavljanje radova, da su radnici upoznati s planom izvođenja radova i da su na gradilištu svi potrebni dijelovi i alat za izvođenje radova.

- **Prespoj novog na postojeći plinovod**

Na mjestima na VTP-u na kojima provodimo odrezivanje ili zavarivanje cjevovoda, te na mjestima na kojim ugrađujemo nastavke za ispuhivanje ili naprave za obustavu protoka plina potrebno je ukloniti antikorozijsku izolaciju i to najmanje 10 cm sa svake strane zavora.

Zavari na prespoju novog na postojeći VTP, te zavar na nastavku za ispuhivanje ili za napravu za obustavu protoka plina ukoliko se nalazi na dijelu plinovoda koji će biti u uporabi mora se snimiti radiografski.

Prije izrade prespoja novog na postojeći VTP potrebno je:

- Provjeravamo položaj i uporabljivost zapora na kojima bi se zatvorio dotok plina u slučaju nepredviđenih okolnosti kod izvođenja pojedinih prespoja, a uz te zapore dok se izvode prespoji postavljamo dežurstvo s uređajem za komunikaciju,
- Isključujemo sustav katodne zaštite na postojećem VTP, te električki premošćujemo novi i postojeći plinovod,
- Izvodimo i tlačno ispitujemo novi VTP

Pri prespajanju novog na postojeći VT plinovod treba se pridržavati norme DVGW G 465/II. Cjelokupna koncepcija izgradnje i prespajanja novog na postojeći plinovod rađena je uz pretpostavku da se postojeći VT plinovod odvoji tj. odreže na mjestima prespoja (2 komada), te da se nakon izgradnje novog VT plinovoda na istim mjestima prespoji na postojeće.

Mjesta izvođenja pojedinih prespoja označavamo na situaciji i mehaničkoj shemi, a način izvođenja pojedinog prespoja prikazujemo shematski.

- **Puštanje plina u plinovod**

Plin se pušta u plinovod po provedenoj tlačnoj probi plinovoda, te uspješno provedenom internom tehničkom pregledu, a u sklopu izrade prespoja novog na postojeći VTP. Služba održavanja prvi dan provjerava tlak zraka u novo izvedenom plinovodu u

dvije dionice, u koliko odgovara stanju iz zapisnika o tlačnom ispitivanju ispušta ga sa 14,0 na 1,0 bar-a ( prva dionica ), 7,0 na 1,0 bar-a ( druga dionica ) i daje odobrenje koordinatoru radova za daljnje radove, služba održavanja drugi dan provjerava tlak zraka u novo izvedenom plinovodu ( dvije dionice ) (1,0 bar), ispušta ga iz obje dionice, te daje odobrenje koordinatoru radova za daljnje radove. U **T1** vrši se prespoj zavarivanjem ČE koljena 90° ( dva vara ), a u **T2** zavaruje naglavke DN25 x 2 na novo izvedeni plinovod u svrhu puštanja plina, te se demontira blindu iz prirubničke kuglaste slavine DN150.

Prije samog puštanja plina u plinovod vrše se pripremni radovi za odzračivanje i vraćanje stanice u prvobitno stanje. Nakon svih provjera slijede radovi za puštanje plina: navrtanje naglavka DN25 u svrhu puštanja plina, plin se pušta iz točke **T2** preko mini stop RAVETTI, a odzračuje u MRS GAJNICE. Nakon odzračivanja stavljamo kuglastu slavinu ( **T2** ) u položaj otvoreno. Gastecom na nepropusnost ispitujemo točku **T1**, **T2** i točku odzračivanja unutar MRS GAJNICE. Nakon puštanja plina u MRS i odzračivanja otvara se VT slavine i pušta plin u MRS i stavljamo je u funkciju. Gastecom na nepropusnost ispituje mjesto radova unutar MRS-a. Nakon prespajanja obavljamo elektro radove na spajanju katodne zaštite.

## 12. Zaključak

Analiza plinovoda sukladno navedenim aktivnostima detektira mjesta na kojima je neophodno izvršiti detaljna ispitivanja koja će onda s aspekta sigurnosti biti osnova i podloga za rekonstrukciju plinovoda.

Rekonstrukcijama VT plinovoda osim lošeg općeg stanja istih riješiti će se dostupnost postojećih trasa (uređenjem javno prometnih površina došlo je do nasipavanja trasa plinovoda), tipizacija nazivnih promjera cijevi radi mogućnosti održavanja tipskim alatima kao što je npr. Ravetti sustav (GPZ ne posjeduje alate za nazivne promjere plinovoda DN 800 i DN 600 pa je nužna obustava isporuke plina kod svake intervencije na njima što se može izvoditi samo izvan ogrjevnog sezone), problematika detektiranih trasa plinovoda (prvi Pravilnik o metodama i načinu rada pri promjeru podzemnih instalacija i objekata donesen je 1969. godine uslijed čega nije bilo geodetskog evidentiranja izvedene infrastrukture i do sredine 70-ih godina prošlog stoljeća), a to će utjecati na smanjenje troškova rada pri izvođenju hitnih zahvata.

Ideja je da svi navedeni parametri mogu i moraju biti dio digitalnog sustava praćenja kroz digitalne radne naloge koji automatski popunjavaju bazu podataka o čeličnim plinovodima te automatski generiraju potencijalne opasnosti i mjesta s potencijalnom korozijom.

## Literatura

### Knjige:

[1] Vladimir Strelec i suradnici, *Plinarski priručnik - 7.izdanje*, Zagreb,2014.

[2] Vjera Krstelj, *Ultrazvučna kontrola*, Zagreb, 2003.

### Internet izvori:

1. URL: <https://www.plinara-zagreb.hr/o-nama/o-nama-30/30> (15.09.2023)

2. URL: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=48741> (17.09.2023)

3. URL: <https://www.plinprojekt.hr/hr/Prirodni-plin> (20.09.2023)

4. URL: <https://www.zakon.hr/z/374/Zakon-o-tr%C5%BEi%C5%A1tu-plina> (21.09.2023.)

## POPIS SLIKA

Slika 1. Grafički prikaz distribucijskog područja .....	1
Slika 2. Distribucija plina.....	2
Slika 3. Molekula plina CH <sub>4</sub> .....	4
Slika 4. Kuglasta slavina – VT i Ravetti naprava .....	7
Slika 5. Korozijska šupljina na plinovodu bez katodne zaštite nakon samo nekoliko godina.....	14
Slika 6. Shema sustava katode zaštite sa žrtvenim anodama.....	15
Slika 7. Sustav katode zaštite sa vanjskim izvorom struje.....	15
Slika 8. Shema spajanja kabelskog priključka .....	18
Slika 9. Oštećenje zaštitnog premaza i korozija stijenke plinovoda .....	20
Slika 10. Oštećenja betonskih oslonaca noseće konstrukcije – Podsused.....	20
Slika 11. Pomak ploča na kliznom osloncu noseće konstrukcije – Rakitje .....	21
Slika 12. Oštećenje betonskih oslonaca noseće konstrukcije – Rakitje.....	21
Slika 13. Oštećenje zaštitnog premaza i korozija oko zavarenog spoja .....	22
Slika 14. Oštećenje zaštitnog premaza i korozija oko zavarenog spoja .....	22
Slika 15. Skica VT plinovoda Podsusedski most u okružju.....	23
Slika 16. Plan radiografskog ispitivanja i postavljanja filmova .....	24
Slika 17. Radiogram zavarenog spoja 7/2 .....	25
Slika 18. Shema mjerenja debljine stijenke .....	26
Slika 19. Označavanje rezultata mjerenja na mjernom presjeku 200 .....	27
Slika 20. Korozijska oštećenja .....	27
Slika 21. Raspodjela rezultata mjerenja debljine stijenke .....	28
Slika 22. Izvještaj o mjerenju debljine stijenke.....	29
Slika 23. Uređaj za mjerenje oštećenja izolacije.....	31
Slika 24. Prikaz koordinata kod ispitivanja sučeonog zavara.....	32
Slika 25. Sučeoni zavareni spoj i okolni osnovni materijal.....	33
Slika 26. Baždarni blok za podešavanje osjetljivosti ispitivanja .....	36
Slika 27. Ispitivanje.....	38
Slika 28. Prikaz trase rekonstrukcije.....	52
Slika 29. Prikaz lokacije umrtvljenja u T2 .....	53
Slika 30. Shema postupka umrtvljenja u T2.....	54
Slika 31. Prikaz lokacije umrtvljenja u T1 .....	55
Slika 32. Shema postupka umrtvljenja u T1.....	56

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Sastav plina .....	5
Tablica 2. Zaštitne cijevi na VT plinovodu .....	10
Tablica 3. Minimalne udaljenost plinovoda od zgrada .....	11
Tablica 4. Minimalne udaljenost plinovoda od zgrada uz primjenu dodatnih mjera tehničke zaštite .....	12
Tablica 5. Specifikacija opreme provedenog ispitivanja .....	26
Tablica 6. Izbor kuta sonde ovisno o debljini osnovnog materijala .....	35