

## Ocjena stanja čeličnog cjevovoda plinskog distribucijskog sustava Gradske plinare Zagreb d.o.o.

### Evaluating condition of steel gas distribution system in Gradska plinara Zagreb d.o.o.

#### Sažetak:

U ovom članku biti će prikazana primjena beskontaktna magnetometrijske metode za ispitivanje (inspekcijski nadzor) ukopanih čeličnih plinovoda Gradske Plinare Zagreb kao jedina mogućnost za nerazorno ispitivanja plinovoda u njegovoj kompletnoj trasi, jer isti nije projektiran za druge ispitne metode. Primjena beskontaktna magnetometrijske metode je izuzetno važna kako u Hrvatskoj tako i u svijetu, jer je velika većina postojećih plinovoda sagrađena još u prošlom stoljeću, koji nisu tada bili projektirani za in-line ispitivanje (engl. pigging), tako da je beskontaktna magnetometrija jedini način da se dobije uvid u postojeće stanje cjevovoda, prate promjene i kreira plan održavanja cjevovoda koji su već nekoliko desetljeća u eksploataciji, te je njihovo ispitivanje (inspekcijski nadzor) nužno za sigurnost uporabe (kako sigurnost građana tako i materijalnih dobara).

#### Summary:

In this article it will be shown use of non-contact magnetometric method for probing (insection supervision) buried steel gas pipelines of Gradska Plinara Zagreb as only possibility for non-destructive probing of gas pipelines in its complete length, because it is not projected for others probe methods. Use of non-contact magnetometric method is essential as in Croatia as in the world, because many of existing gas pipelines are build in last century, and they were not projected for in-line probing (pigging), so it is the only way to get the existing condition of pipelines, monitor changes and develop a maintenance plan for pipelines that are several decades in exploitation and probing (insection supervision) is essential for security of use (aswell people and material goods).

#### Ključne riječi:

beskontaktna magnetometrijska ispitivanja, nerazorne metode ispitivanja

#### Key words:

non-contact magnetometric inspection, metal magnetic memory, unpiggable gas pipeline

#### Autor:

Nikica Dujmović, dipl. ing., Gradska plinara Zagreb d.o.o., Radnička cesta 1, Zagreb, Hrvatska, [nikica.dujmovic@plinara-zagreb.hr](mailto:nikica.dujmovic@plinara-zagreb.hr)



## **1. Uvod**

U ovom članku biti će prikazana primjena beskontaktna magnetometrijske metode za ispitivanje ukopanog visokotlačnog plinovoda Gradske Plinare Zagreb kao jedina mogućnost za nerazorno ispitivanja plinovoda u njegovoj kompletnoj trasi od Ivanja Reka do TE-TO Zagreb promjera NO500/600 ukupne dužine 10.735 m, jer isti nije projektiran za druge ispitne metode. Primjena beskontaktna magnetometrijske metode je izuzetno važna kako u Hrvatskoj tako i u svijetu, jer je velika većina postojećih plinovoda sagrađena još u prošlom stoljeću, koji nisu tada bili projektirani za in-line ispitivanje (engl. pigging), tako da je beskontaktna magnetometrija jedini način da se dobije uvid u postojeće stanje čeličnog cjevovoda, prate promjene i kreira plan održavanja cjevovoda koji su već nekoliko desetljeća u eksploataciji, te je njihovo ispitivanje nužno za sigurnost kako građana tako i materijalnih dobara.

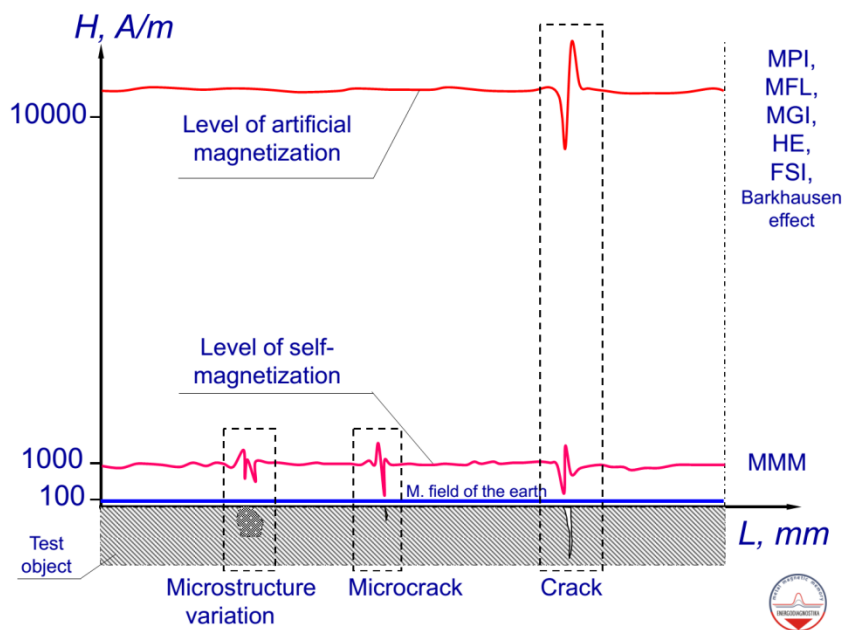
## **2. Principi ispitne metode**

Beskontaktna magnetometrija (*non-contact magnetometric diagnostic* – NCMD) je primjena principa metode Magnetne Memorije Metala (MMM) na ispitivanje ukopanih čeličnih cjevovoda (plinovod, naftovod, vodovod i dr.) radi pronalaska anomalija, pogotovo na cjevovodima koji se ne mogu ispitati na neki drugi način jer nisu bili projektirani za npr. primjenu in-line inspekcijom (pigging). NCMD je moguće primijeniti za ispitivanje u urbanim kao i u ruralnim sredinama, bez neke posebne pripreme od strane naručioca inspekcije, izvođača inspekcije, a i ne zahtjeva obustavu rada cjevovoda. NCMD metodu je također moguće primijeniti za ispitivanje dostupnih cjevovoda preko izolacije npr. u industrijskim postrojenjima, toplovodima i dr. U sljedećim poglavljima objasniti ćemo metodu MMM kao osnovu, te samu metodu NCMD.

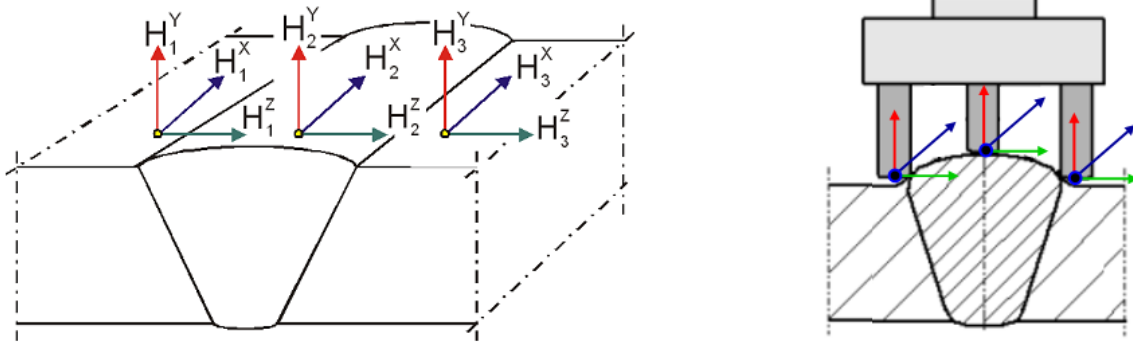
### **2.1 Magnetna Memorija Metala (MMM)**

Magnetna Memorija Metala (MMM) pripada u klasu metoda koje koriste magnetske principe za provedbu bezrazornog ispitivanja sa razlikom da je MMM pasivna metoda koja koristi već postojeće magnetno polje objekta koji se ispituje jer su u njemu već formirane magnetske domene tijekom proizvodnje i tijekom same uporabe objekta. Metoda za svoj rad koristi principe inverzne magnetorestrikcije (*engl. inverse magnetorestrictive effect - Villari effect*) gdje dolazi do promjene u magnetizaciji materijala kod promjene u naprezanju, magnetoplastičnosti (povećano samo-

magnetiziranje u zonama povećanog naprezanja) i curenja magnetnog toka na nivou (jačini) prirodne magnetizacije (engl. magnetic flux leakage). Samim time, magnetske domene u objektu su izraženije na područjima povećanog naprezanja i deformacije (*engl. stress, strain*) i na njima dolazi do povećane magnetizacije pod utjecajem magnetnog polja zemlje, zbog gore navedenih principa. Tijekom provedbe MMM ispitivanje bilježi intenzitet magnetnog polja, te se identificiraju zone povećane koncentracije stresa (*engl. stress concentration zones - SCZ*), jer je u tim zonama najveća vjerojatnost za razvoj defekata tijekom eksploatacije objekta. Moram napomenuti da je MMM metoda, uz metodu akustičke emisije, jedna od metoda za ranu dijagnostiku stanja metala odnosno objekta još u elastičnoj zoni po krivulji plastičnog tečenja materijala, tako da se tek u plastičnoj zoni defekti mogu potvrditi primjenom klasičnih metoda kao na primjer ultrazvuk. Isto tako, MMM metoda može detektirati i mikropukotine koje zbog svoje male veličine još nije moguće detektirati primjenom ultrazvuka, tako da se preporučuje pojačano praćenje tih područja tijekom eksploatacije. MMM je moguće primijeniti na feromagnetnim i paramagnetnim materijalima tijekom same proizvodnje (npr. prije i poslije toplinske obrade radi potvrde o smanjenju naprezanja, nakon zavarivanja i dr.) kao i tijekom eksploatacije. MMM metoda je primjenjiva za ispitivanje osnovnog materijala, zavarenih spojeva, cijevi, izmjenjivača topline, vijaka na prirubnicama tijekom samog rada postrojenja kao i tijekom remonta, čeličnih kablova (dizala, strojevi), lopatica turbina, statora, željezničkih tračnica i drugo. MMM metoda je standardizirana kao ISO 24497, međunarodni standard za osnovnu primjenu i za primjenu na zavarenim spojevima. Za primjenu metode nije potrebna prethodna priprema ispitnog objekta, prikupljanje podataka se vrši skeniranjem površine bez nekih posebnih ograničenja brzine (cca. do 300 mm/s, a i brže u nekim slučajevima), te je samim time MMM jedna od brzih metoda bezraznog ispitivanja. Na sljedećim slikama 1 i 2 prikazani su osnovni principi same metode i analize.



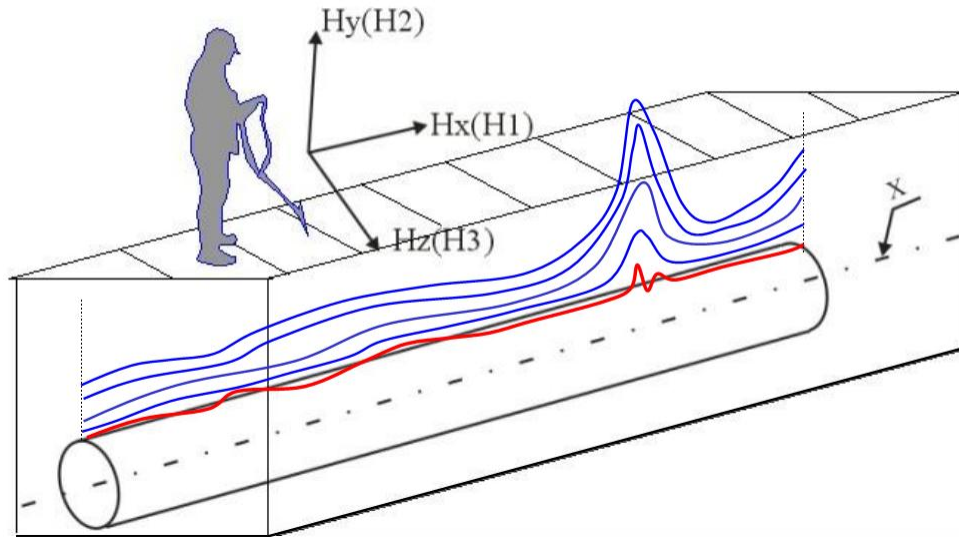
Slika 1. Usporedba MMM metode i ostalih magnetskih metoda. MMM metoda je jedina pasivna metoda i ne koristi umjetno magnetno polje za provedbu ispitivanja. MMM metoda može detektirati promjene na mikrostrukтури materijala kao i mikropukotine koje klasične metode ne mogu detektirati, čime je MMM metoda idealna i za ranu dijagnostiku (izvor slike: Energodiagnostika)



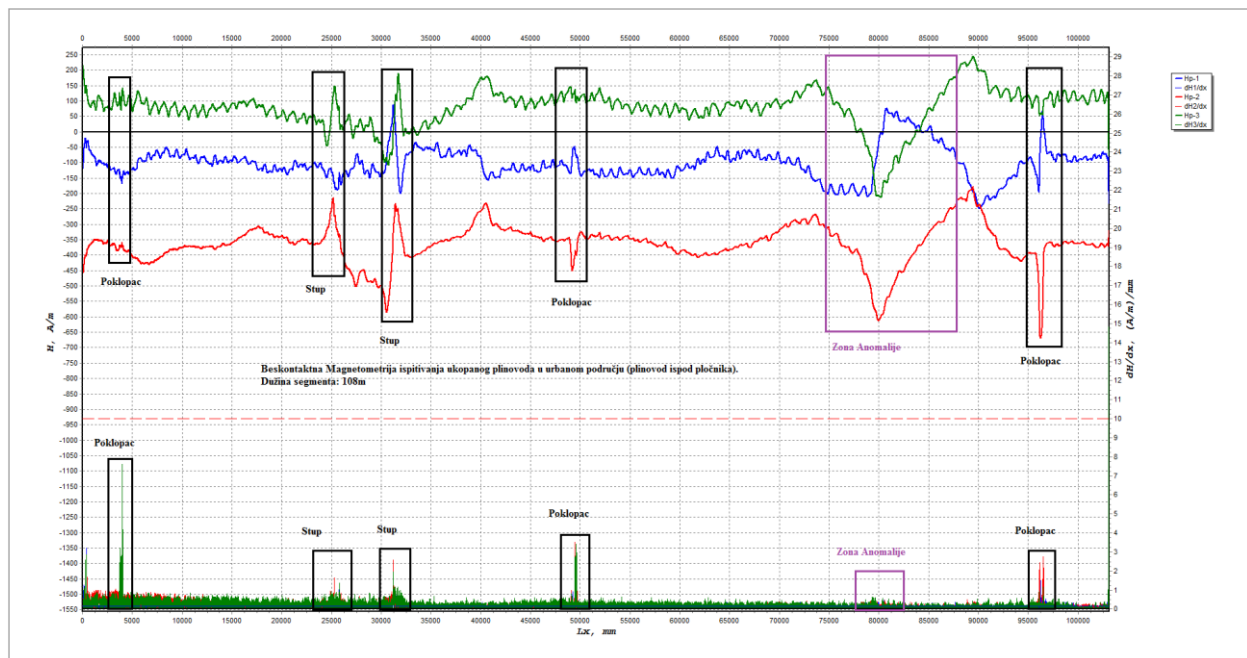
Slika 2. Primjer komponenti prirodnog magnetnog polja zavarenog spoja i shematski prikaz sonde za MMM ispitivanje zavarenog spoja – senzori ispituju zonu utjecaja toplote kao i sam zavar (izvor slike: Energodiagnostika).

## **2.2. Beskontaktna magnetometrija**

Beskontaktna magnetometrija (*non-contact magnetometric diagnostic* – NCMD) je razvijena na načelima metode MMM, na način da se beskontaktnim senzorom mjeri sve tri komponente magnetnog polja zemlje (X, Z, Y) koje je iskrivljeno na mjestu ukopanog cjevovoda koji se ispituje, a samo iskrivljenje magnetnog polja je isto tako pod utjecajem stanja napreznja/deformacije cjevovoda odnosno prisutnosti degradirajućeg procesa na cjevovodu. Analizirajući prikupljene podatke, po karakteristikama deformacija magnetnog polja detektirane anomalije se klasificiraju u 3 kategorije od kojih je prva kategorija najznačajnija. Sama karakterizacija anomalije se vrši kasnije u rovu iskopom cjevovoda na toj lokaciji. Prilikom analize podataka, analizator treba imati uvid o svim preprekama i magnetnim smetnjama tijekom inspekcije (stupovi, automobili, ograde, dalekovodi i dr.), što bilježi tijekom prikupljanja podataka, te je također poželjno imati nacrt cjevovoda (ventili, paralelni cjevovodi ako ih ima, potpornji i dr.). NCMD je moguće također primijeniti na dostupnim cjevovodima za ispitivanje preko izolacije, npr. u industriji ili kod toplovoda. Na sljedećim slikama biti će prikazan osnovni princip NCMD metode kod prikupljanja podataka, Slika 3, te kod analize na Slici 4.



Slika 3. Opći prikaz beskontaktna magnetometrije. Promjena na cjevovodu utječe na magnetno područje zemlje koje se detektira i zabilježi za kasniju analizu i klasifikaciju anomalija (izvor slike: Energodiagnostika).



Slika 4. Primjer analize 108 m dugog segmenta ukopanog plinovoda u urbanom području. Gornji grafovi prikazuju intenzitet magnetnog polja (u A/m) a donji grafovi prikazuju gradijent polja ( $\Delta H/\Delta x$ ). Pronađena je jedna anomalija, dok su drugo magnetne smetnje – željezni poklopci plinovoda na pločniku, te stupovi za sprječavanje vožnje automobila po pločniku (izvor slike: HRID - Non destructive testing).

### **3. Primjena beskontaktna magnetometrija na ispitivanju cjevovoda Gradske Plinare Zagreb**

Beskontaktna magnetometrija (*non-contact magnetic diagnostic – NCMD*) je primijenjena na ispitivanje visokotlačnog (VT) plinovoda Gradske Plinare Zagreb ukupne dužine od 10.735 m. Plinovod nije projektiran za primjenu in-line inspekcije (*pigging*), a pošto je ukopan, jedina metoda za ispitivanje ukupne trase plinovoda je beskontaktna magnetometrija.

Trasa plinovoda je podijeljena u dva dijela, i to promjera DN500 od PČ Ivanja Reka do PPMRS Zagreb Istok (Etilen) dužine 4.200 m izgrađen bešavnim cijevima 2000. godine, te drugi dio promjera DN600 od PPMRS Zagreb Istok (Etilen) do ispred ograde PMRS TE-TO Zagreb, dužine 6.535 m, izgrađen spiralno zavarenim cijevima u periodu 1984.-1986. godine.

Dionica DN500 ima nominalnu debljinu materijala od 8,8 mm, dok dionica DN600 ima nominalnu debljinu od 9,31 mm do 11 mm. Prosječna dubina do tjemena cjevovoda je 2-3 m, a na nekim kraćim segmentima dubina ukopa doseže i 4-4,5 m radi raznih nasipa, korištenja zemlje i drugih sličnih uzroka na trasi pod utjecajem tjeka vremena.

#### **3.1 Oprema za ispitivanje**

**Lokator cjevovoda** – Za točno i precizno određivanje trase plinovoda koristio se lokator cjevovoda, kao standardni proizvod za tu primjenu kojeg koriste razne državna i privatna poduzeća na poslovima održavanja cjevovoda. Lokator cjevovoda ima više osjetljivih detektora magnetnog polja i za primjenu ispitivanja plinovoda je podešen na traženje frekvencije aktivne katodne zaštite, koja je u ovom slučaju bila 100 Hz. Lokator sadrži grafički prikaz koji prikazuje dubinu do tjemena cjevovoda i navodi operatera grafičkim prikazom na precizno lociranje trase cjevovoda. Lokator koristi baterije velikog kapaciteta za cjelodnevni rad. U slučaju cjevovoda koji nema katodnu zaštitu ili ona nije aktivirana, postoje generatori koji se povežu na cjevovod te se tako lokator može primijeniti. Primjer takvog lokatora je prikazan na Slici 5.

**GPS uređaj** - GPS uređaj se koristi za točno mapiranje početnih točaka segmenta cjevovoda koji se u danom trenutku snima kao i za mapiranje same trase cjevovoda. Na osnovu mapirane trase pronalaze se GPS koordinate detektiranih anomalija.

**Video kamera** - video kamera se koristi za bilježenje glasovnih komentara kao i vizualnog stanja same trase prilikom prikupljanja, te kasnije tijekom analize podataka. Na primjer, u slučaju prolaska automobila prilikom prikupljanja podataka, odaziv signala na instrumentu zbog automobila će se moći kompenzirati, što će biti vidljivo na video kameri.



Slika 5. Lokator cjevovoda -

**NCMD oprema** - sastoji se od senzora, nosača opreme s odometrom (mjeriteljem udaljenosti) te samog instrumenta. Senzor ima dva 3-osna visoko osjetljiva flux-gate magnetometra, jedan blizu površine zemlje dok je drugi vertikalno udaljen i montiran na laganom teleskopskom aluminijskom štapu radi lakšeg transporta i cjelodnevnog baratanja. Nosač opreme se sastoji od okvira za montiranje video kamere i instrumenta, te kotača s enkoderom koji mjeri udaljenost. Nosač i odabir jednog kotača omogućuje fleksibilnost u ispitivanju u raznim uvjetima, od čiste livade do guste šume ili šikare. Instrument ima internu memoriju i baterijsko napajanje dostatno za cjelodnevni rad, te pomoću integralnog ekrana i tipkovnice omogućuje konfiguriranje, prikupljanje i analizu podataka, te provjeru kvalitete prikupljenih podataka. Sama analiza je ugodnija i brža korištenjem software-a za analizu na prijenosnom računalu nakon prebacivanja podataka s instrumenta, te provjerom komentara i trase pregledom snimljenog video/audio materijala. Prikaz NCMD opreme je na slikama 6a, 6b i 6c. Sam instrument je prikazan na Slici 7.



Slika 6a, 3-osni senzor blizu površine terena za prikupljanje NCMD podataka

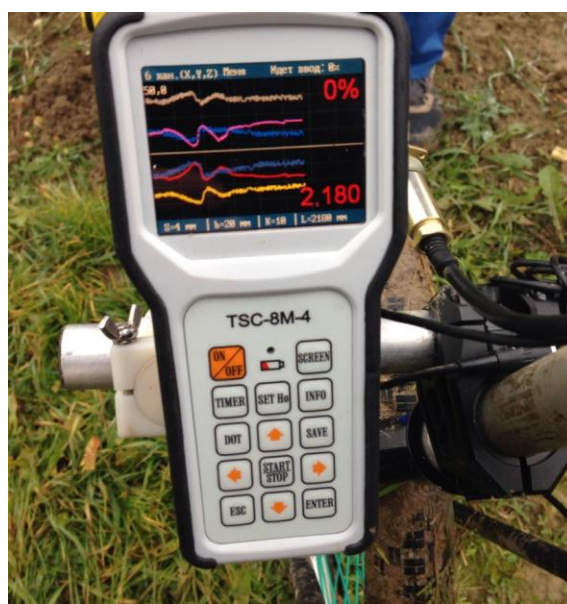


Slika 6b, 3-osni senzor udaljen od površine. Osim senzora u kućištu je i elektronika za oba senzora.





Slika 6c, Nosač instrumenta i video kamere zajedno s enkoderskim odometrom



Slika 7. Prikaz NCMD instrumenta

Gornji graf prikazuje vrijednosti gornjeg, a donji graf prikazuje vrijednosti donjeg 3-osnog senzora. Trenutno je snimljeno 2,18 metara, a 0% je postotak koji prikazuje trenutno stanje memorije za snimanje određenog segmenta, gdje je 0% početno stanje, a 100% stanje kada je memorija kompletno puna. Instrument ima dovoljno memorije za segment dužine od nekoliko stotina metara, a nakon spremanja interna memorija instrumenta ima kapacitet od nekoliko km, tako da kod tipičnih ispitivanja nije potrebno nositi dodatnu opremu za presnimavanje podataka kao npr. prijenosno računalo.

### 3.2 Provedba ispitivanja

Za ispitivanje je potrebno imati tim od dvoje ljudi. Osoba ispred određuje trasu cjevovoda lokatorom i bilježi je preko GPS uređaja, dok je osoba koja prikuplja podatke pomoću senzora i instrumenta slijedi. Ispituje se uvijek u smjeru protoka plina. Tipičan primjer ispitivanja je prikazan na Slici 8.

provođenje  
lokacija

Ispitivanje

gdje je  
segmenta  
određenim  
orijentir  
orijentacij  
analize i  
kasnijih  
provjera  
orijentiri,  
uzimana  
crkva,  
pruga,  
obala

Snimljeni  
vezani uz  
svakog  
zabilježenu GPS-or  
ruta segmenta po trasi cjevovoda zabilježena preko odometra s preciznošću u centimetrima. Na primjer, kod analize podataka neka anomalija može započeti na 12,3 m od početne točke segmenta po trasi cjevovoda i završava na 18,3 m, te time ima ukupnu dužinu od 6 m. Pošto je znana početna točka, početak i kraj anomalije, kao i cijela ruta, može se preko GIS software-a naći GPS koordinata sredine anomalije.



Slika 8. Tipično ispitivanje - Resnik

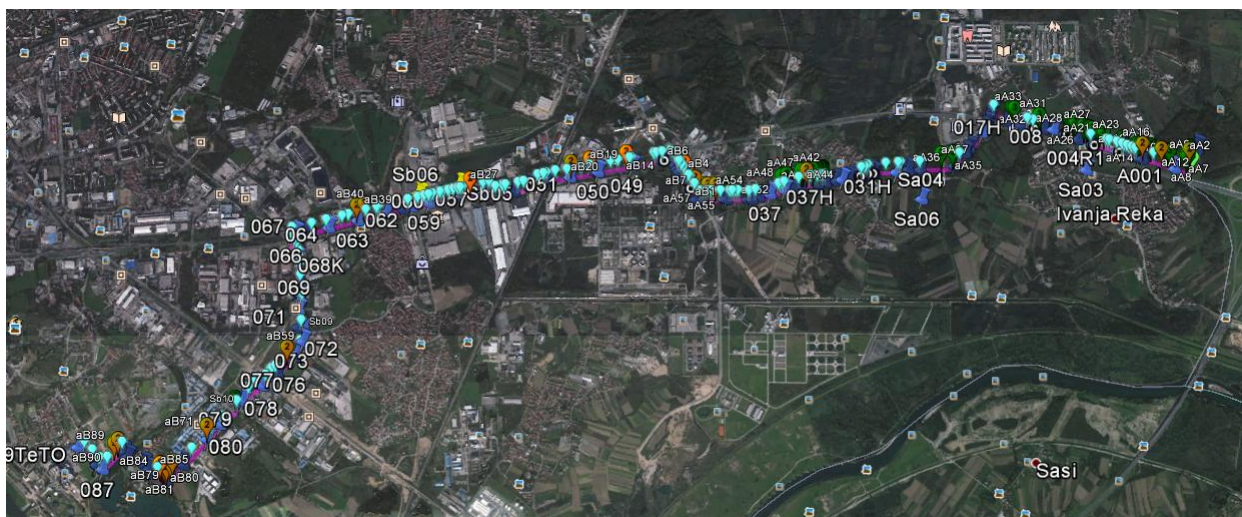
se provodilo u segmentima, početak i kraj uvjetovan prikladnim radi lakše prilikom iskopa radi rezultata. Kao najčešće su raskršće ceste, željeznička nadvožnjak, jezera, i drugo.

podaci su početnu točku segmenta (kao snimak) kao i sama

### 3.4 Rezultati ispitivanja

Izveštaj s rezultatima ispitivanja sadrži tablicu pronađenih anomalija, njihovu dužinu i GPS koordinatu. Osim toga dio izveštaja je i datoteka u univerzalnom formatu, koja se može otvoriti u GIS software-u s kartama gdje se može vidjeti na primjer ispitana trasa, točke segmenta ispitivanja, anomalije i drugo

radi lakšeg pregleda i orijentacije pronađenih anomalija na samoj trasi odnosno u prostoru. Primjer takvog prikaza cijele ispitane trase prikazan je na Slici 11.



Slika 11. Prikaz ispitane trase plinovoda (izvor slike: HRID - *non-contact magnetometric diagnostic*)..

Nakon izrade izvještaja uobičajeni postupak je vršenje iskopa na identificiranim mjestima anomalija prvog ranga, odnosno određenim anomalijama drugog ranga, radi provjere stanja cjevovoda primjenom klasičnih metoda bez-razornog ispitivanja kao na primjer vizualna metoda (VT) ili ultrazvuk (UT). U slučaju ispitanog cjevovoda, anomalije prvog ranga nisu bile pronađene tako da je vršen iskop anomalija drugog ranga, prilikom čega su nađena mjesta površinske korozije ispod izolacije te lokalno stanjenje stjenke od nominalne debljine, ali i dalje u prihvatljivim okvirima za daljnju eksploataciju cjevovoda.

#### **4. Zaključak**

Prikupljanje podataka o stanju ispitanog plinovoda provedeno je u 4 radna dana, gdje je jedan radni dan utrošen na relativno kratkoj dionici kroz Resnik gdje plinovod prolazi kroz ograđena dvorišta obiteljskih kuća zbog kontaktiranja vlasnika radi dozvolu za ulaz u dvorište, prelaska prometne ceste i drugo. Dionice kroz poljane i šumu su bile znatno brže ispitane. Nakon prikupljanja podataka kompletne trase, pristupilo se analizi podataka i pisanju izvještaja, te potvrdama određenih anomalija u rovu potrebnim iskopom.

Pronađene anomalije su bile potvrđene, te je time beskontaktna magnetometrija odličan izbor za inspekciju ukopanih cjevovoda koji se ne mogu drugačije ispitati, a isto tako ne zahtijevaju neku posebnu pripremu niti obustavu rada plinovoda.