

# Snimanje objekata podzemne infrastrukture georadarom

**SAŽETAK.** Širenjem urbanih područja razvija se i nadograđuje prateća podzemna komunalna infrastruktura. U određenim situacijama nju karakterizira iznimna gustoća i kompleksnost. S ciljem njezina učinkovitog i planskog gospodarenja nužno je poznavati poziciju pojedinih podzemnih objekata, odnosno vodova. Od čitavog niza razvijenih metoda detekcije i snimanja objekata podzemne infrastrukture posebno se istaknula metoda georadara. U ovom se radu sažeto daje teorijska osnova i temeljni koncept rada georadara. Nadalje, prikazuje se primjena georadara u okviru detekcije vodova podzemne infrastrukture. Praktični dio istraživanja obavljen je na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu u Republici Srbiji. Odabrane su dvije testne lokacije na kojima su, temeljem postojećih geodetskih planova, analizirani postojeći podzemni vodovi čija je lokacija određena i potvrđena na temelju georadarskih snimanja.

*Ključne riječi:* podzemna infrastruktura, snimanje vodova, georadar, antena, radargram.

## Detection of Underground Infrastructure Objects Using Ground-Penetrating Radar

**ABSTRACT.** With the expansion of urban areas, the supporting underground utility infrastructure is being developed. In certain situations, it's characterized by exceptional density and complexity. For its efficient and planned management, it is of essence to know the location and position of individual objects, i.e. pipes. Out of many known methods for detection and surveying of underground infrastructure, the Ground-Penetrating Radar (GPR) method has been especially emphasized. This paper summarizes the theoretical basis and basic working principles of GPR technology in a concise manner. Furthermore, a practical example of the application of GPR in the detection of underground utility infrastructure is presented. The practical part of this research was carried out at the Faculty of Technical Sciences of the University of Novi Sad in the Republic of Serbia. Two test sites were selected at which, based on the known geodetic plans, existing underground utility networks were analysed, the location of which was determined and confirmed based on conducted GPR measurements.

*Keywords:* underground utility infrastructure, detection of utilities, ground-penetrating radar, antenna, radargram.

# 1. Uvod

Zajedno sa širenjem urbanih područja te povećanjem komunalnih usluga i djelatnosti razvija se neophodna prateća infrastruktura. Navedeno je danas dovelo do kompleksnih podzemnih vodovodnih, toplovodnih, telekomunikacijskih, kanalizacijskih i drugih mreža. Za učinkovito i planско gospodarenje vodovima neophodno je poznavati poziciju i dubinu ukopa. Nadalje, kod velikih građevinskih i infrastrukturnih projekata nedostatak informacija o postojećoj infrastrukturi može dovesti do njezina oštećenja što ima za posljedicu skupe popravke i/ili produljenje gradnje.

Postoji čitav niz razvijenih metoda detekcije i evidentiranja podzemne infrastrukture (Baričević 2011, Zrinjski i dr. 2012). Zbog svoje jednostavnosti, lakoće primjene, nerazornosti, ali prvenstveno preciznosti, istaknula se metoda georadara (engl. Ground-Penetrating Radar – GPR). Georadar je geofizička metoda koja se temelji na elektromagnetskoj tehnologiji, odnosno na odašiljanju i pri-

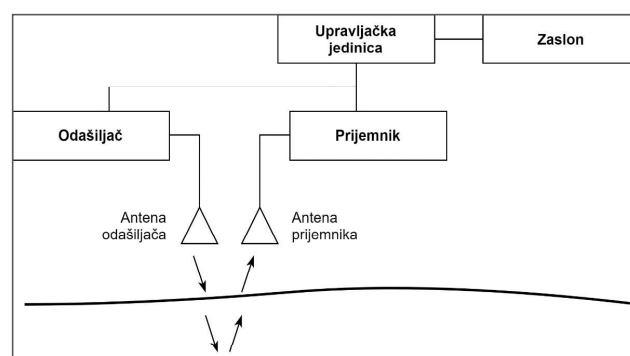
manju elektromagnetskih valova (Takahashi i dr. 2012).

Metoda georadara razvijena je i prvi put se pojavila 1929. godine, međutim zbog svoje kompleksnosti i tehnoloških ograničenja nije značajnije primjenjivana (Tabarro i dr. 2018). Prva konkretnija i uspješna upotreba ostvarena je tek 1960-ih pri određivanju debljina leda u polarnim područjima (Takahashi i dr. 2012). Od tada, a paralelno s općim razvojem tehnologije, metoda georadara razvijala se u pogledu hardvera, softvera te metoda mjerenja i analize podataka. Primjena georadara postala je neophodna u građevinarstvu, arheologiji, geodeziji, agrikulturi, forenzici, zaštiti okoliša i mnogim drugim srodnim područjima. Prikazi značajnijih primjena metode georadara dostupni su u Beres i Haeni (1991), Wei i Hashim (2012), Saharudin i dr. (2016), Zaremba i dr. (2016) te Zajícová i Chuman (2019).

Ovaj rad temelji se na primjeni metode georadara pri detekciji podzemnih vodova. Za više informacija vidjeti u Lovrenčić (2019). U ovom radu sažeto su elaborirani samo ključni rezultati i zaključci.

## 2. Temeljni koncept georadara

Georadar pomoću antene odašiljača emitira u tlo kratke impulse elektromagnetske energije iz frekventijskog područja radiovalova. Kada odašlani elektromagnetski impuls u Zemljinu tlu dođe do nehomogenosti u pogledu električnih svojstava, dio elektromagnetskog vala se reflektira natrag prema anteni prijemnika georadara gdje se registrira (slika 1). Preostali dio elektromagnetskog impulsa refrakcijom prolazi do dubljih slojeva u tlu. Proces se nastavlja sve dok odašlani impuls previše ne oslabi (Beres i Haeni 1991, Takahashi i dr. 2012). Refleksija elektromagnetskog impulsa na različitim slojevima u Zemljinu



Slika 1. Dijagram georadarskog sustava (prema Takahashi i dr. 2012).

tlu posljedica je promjene, odnosno različite relativne dielektrične permitivnosti tih slojeva. Navedeno slabljenje elektromagnetskih valova u tlu glavni je ograničavajući faktor u pogledu ostvarive dubine snimanja. Registrirani povratni signal se pojačava, obrađuje i pohranjuje.

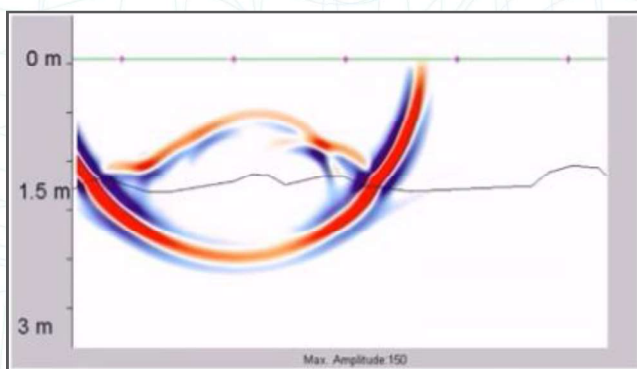
Svaki georadarski sustav je konceptualno jednostavan i sastoji se od četiri glavna elementa: upravljače jedinice, odašiljača, prijemnika i zaslona (slika 1). Odašiljač pojačava elektromagnetski impuls generiran u upravljačkoj jedinici te ga pomoću antene odašilje u tlo. Većina sustava koristi dvije odvojene antene, tj. jednu za odašiljanje, a drugu za prijem reflektiranih elektromagnetskih valova. Upravljačka jedinica obrađuje registrirane reflektirane signale te vizualizira skenirani profil na zaslonu uređaja. U sklopu upravljačke jedinice georadar najčešće ima ugrađen i GNSS prijemnik pomoću kojeg se određuju prostorne koordinate točaka trase.

Vertikalni skenirani profil Zemljina tla može se grafički vizualizirati ako se amplituda reflektiranog signala prikaže kao funkcija vremena putovanja elektromagnetskog impulsa i pozicije georadara. Dimenzija dubine dobivenog skena derivira se na temelju mjenog vremena i pretpostavljene brzine kretanja elektromagnetskog vala u tlu (Takahashi i dr. 2012). Više uzastopnih skenova čine radargram. Reflektirani elektromagnetski valovi u radargramu prikazuju se različitim odnosima kolorita ili nijansama sive boje, koji predstavljaju slojeve u tlu sa specifičnim vrijednostima pozitivne ili negativne amplitude signala (Lovrenčić 2019).

Rezolucija rezultirajućih radargrama direktno je povezana s frekvencijom antene georadara, odnosno frekvencijom emitiranih elektromagnetskih valova. Antena uređaja se za pojedinu konkretnu primjenu odabire tako da se postiže kompromis između rezolucije snimka i dubine mjerenja, odnosno dubine penetracije signala. Antene manjih frekvencija emitiraju valove većih valnih duljina koje dublje prodiru u Zemljino tlo. Suprotno tome, antene većih frekvencija odašilju elektromagnetske impulse manjih valnih duljina koji prodiru pliće u tlo. Ujedno, antene većih frekvencija rezultirat će snimkama, tj. radargramima na kojima će se

razaznati manji objekti. Sukladno svemu navedenom, antene manjih frekvencija koriste se za geološka, geofizička ili hidrološka ispitivanja, dok se antene većih frekvencija koriste za lociranje infrastrukture i objekata na manjoj dubini. Općenito se smatra da je rezolucija snimka jednaka približno jednoj četvrtini valne duljine elektromagnetskog vala (Zajícová i Chuman 2019). Frekvencije komercijalnih georadarskih sustava najčešće su u rasponu od 50 MHz do 1 GHz (Tabarro i dr. 2018).

Rasprostiranje elektromagnetskih valova opisuje se relativnom dielektričnom permitivnošću, koja definira električnu propusnost materijala u odnosu na dielektričnu permitivnost u akuuma (Beres i Haeni 1991). Na slici 2 prikazana je refleksija dijela vala nakon prolaska kroz različiti zemljani sloj, a ostatak vala širi se dalje u dubinu.

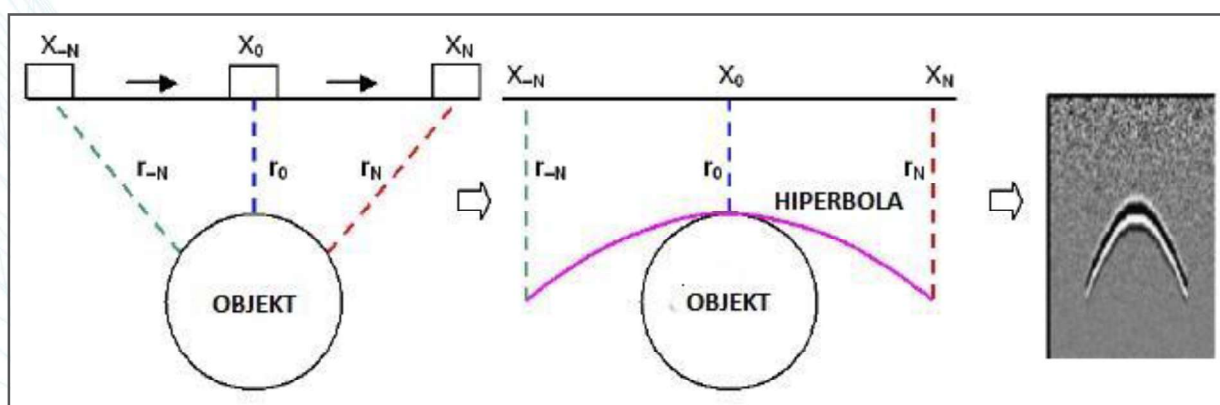


Slika 2. Refleksija dijela elektromagnetskog vala pri prolasku kroz tlo (Lovrenčić 2019).



Relativna dielektrična permitivnost definira se dielektričnom konstantom koja poprima vrijednosti od 1 do 81. Dva materijala ekstremnih vrijednosti su zrak i voda. Zrak je medij kroz koji se elektromagnetski valovi najbrže šire, a kroz vodu najsporije. Poseban slučaj je metal koji ima vrijednost, odnosno refleksija dolaznog elektromagnetskog vala je apsolutna (Lovrenčić 2019).

Na slici 3 prikazan je način formiranja radargrama pri snimanju podzemnog voda. Pravilna hiperbolična refleksija nastaje kretanjem antene u pravcu okomitom na smjer pružanja voda. Antena odašiljača georadara emitira konusni snop elektromagnetskih valova širine od  $35^\circ$  do  $45^\circ$  što omogućuje detekciju objekata iako antena nije vertikalno iznad potencijalnog objekta. Kretanjem georadara konusni snop siječe objekt koji se nalazi u tlu te se formira lijevi krak hiperbole. Kako se antena georadara približava objektu, odziv kraka hiperbole dolazi bliže vrhu objekta. U trenutku kada je antena georadara točno vertikalno iznad snimanog objekta, formira se vrh hiperbole na radargramu. Jednakim principom formira se i desni krak hiperbole radargrama. Dakle, udaljenost od antene do podzemnog objekta kontinuirano se mijenja. Vrh hiperbole definira vrh cijevi ili kabla podzemnog voda (Lovrenčić 2019). Snimanje instalacija pod kutovima različitim od pravog kuta rezultira teško prepoznatljivim hiperbolama, stoga se takvo snimanje izbjegava. Međutim mjerenje po uzdužnim profilima omogućuje određivanje drugih informacija, kao što su duljina voda, nagib, detekcija točaka račvanja te moguća puknuća voda.



Slika 3. Način formiranja radargrama (Lovrenčić 2019).

Oblik hiperbole i tip ekstremne vrijednosti amplitude ovisi ponajviše o materijalu iz kojeg je sniman vod izrađen. Analiza svih navedenih parametara omogućava određivanje tipa podzemnog voda i materijala njegove izrade. Analizom oblika hiperbole i vrijednosti amplitude utvrđuje se tip skeniranog objekta, odnosno radi li se o cijevi ili kablu. Međutim, u stvarnim primjenama finalni radargram uvijek je opterećen šumom zbog utjecaja mnogih nehomogenosti u Zemljinu tlu (Lovrenčić 2019).

## 3. Primjena georadara

Navedeno istraživanje zaokruženo je primjenom georadara u prikupljanju podataka o postojećoj infrastrukturi, konkretno snimanjem različitih vrsta podzemnih vodova s dvjema antenama frekvencija 400 MHz i 900 MHz. Iz prethodnoga teorijskog razmatranja očekivano je da je antena veće frekvencije pogodna za snimanje instalacija manjeg promjera i na manjoj dubini ukopa, a antena manje frekvencije za dublje instalacije većeg promjera. Izmjera vodova obavljena je u suradnji s Fakultetom tehničkih nauka na području Univerziteta u Novom Sadu u Republici Srbiji.

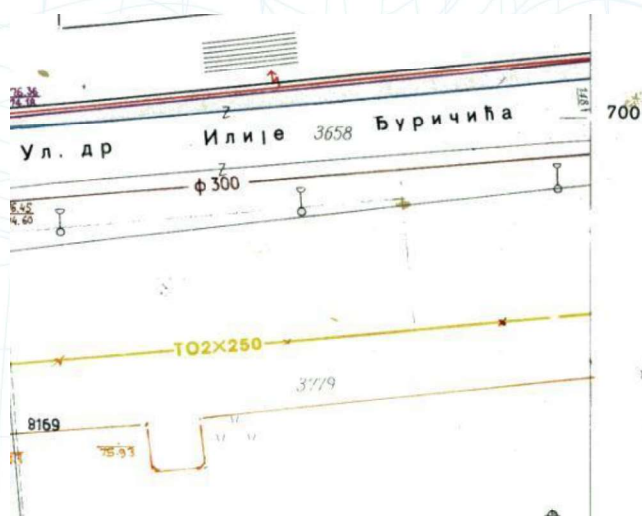


Slika 4. Lokacija izmjere 1 (URL 1).

### 3.1. Lokacije snimanja

U svrhu odabira testnih lokacija izmjere vizualno su analizirani postojeći geodetski planovi s ucrtanim vodovima toplovodne, vodovodne i elektroenergetske infrastrukture. Sve instalacije obuhvaćene su izmjerom. Analizom su odabrane dvije testne lokacije za izmjeru.

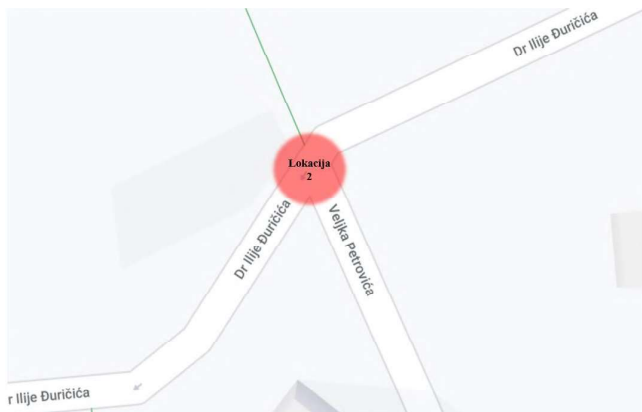
Prva odabrana testna lokacija nalazi se na području omeđenom Fruškogorskom ulicom i stražnjim stranama zgrada na adresama Dr. Ilije Đuričića 2A i Veljka Preradovića 6 u Novom Sadu (slika 4). Analizom dostupnih planova na toj lokaciji se utvrđuje postojanje toplovoda označenog linijom oker boje s dvije cijevi promjera 250 mm (slika 5).



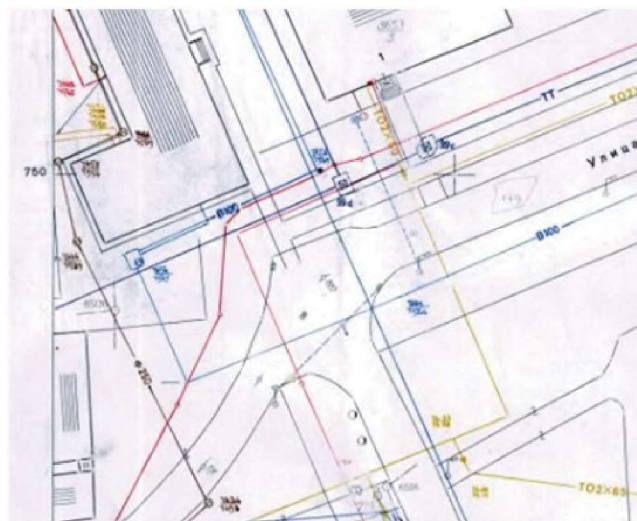
Slika 5. Geodetski plan – prikaz voda na lokaciji 1 (Lovrenčić 2019).



Druga odabrana testna lokacija nalazi se na raskrižju ulice Dr. Ilije Đuričića i Ul. Veljka Petrovića (slika 6). Analizom dostupnih planova na toj se lokaciji utvrđuje postojanje vodovoda i elektrovoda (slika 7).



Slika 6. Lokacija izmjere 2 (URL 2).



Slika 7. Geodetski plan – prikaz vodova na lokaciji 2 (Lovrenčić 2019).

## 3.2. Snimanje objekata podzemne infrastrukture

Snimanje objekata podzemne infrastrukture obavljeno je 26. listopada 2017. godine. Kao što je prethodno navedeno, na obje testne lokacije (slika 8), snimanje georadarom obavljeno je dvjema antenama različitih frekvencija, tj. s 400 MHz i 900 MHz. Kod prvog snimanja na lokaciji 1 obavljena je kalibracija georadara. S obzirom na to da je dubina ukopa toplovoda poznata i iznosi 0,80 m, namještena je vrijednost dielektrične konstante kako bi određena dubina odgovarala stvarnoj dubini. Prilikom izmjere vodova definirano je 100 snimaka po jedinici izmjere, tj. metru. Na svakoj lokaciji obavljeno je nekoliko izmjera kako bi konačne snimke bile što reprezentativnije.

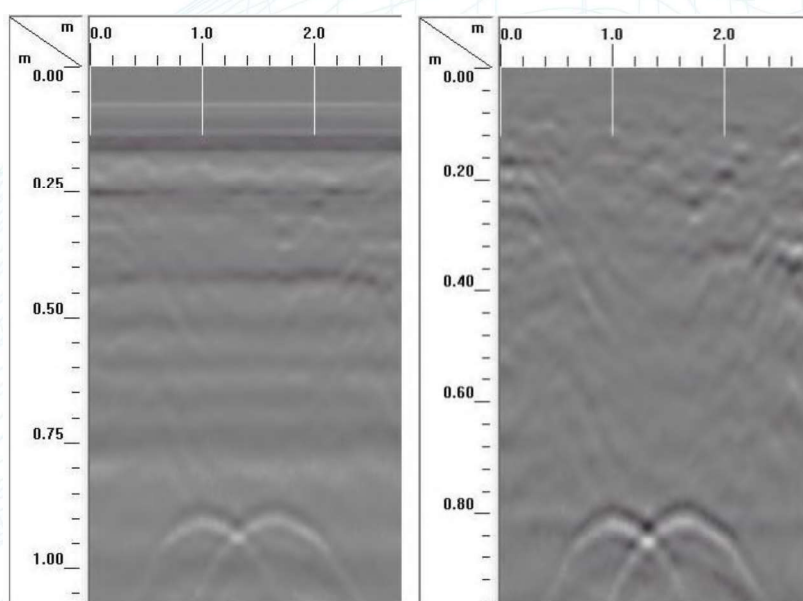


Slika 8. Snimanje na terenu – lokacija 1 (lijevo), lokacija 2 (desno) (Lovrenčić 2019).

### 3.3. Obrada i analiza rezultata

Nakon terenskih izmjera, prikupljeni podaci obrađeni su primjenom programskog paketa RADAN 7 (URL 3). Programski paket RADAN (engl. Radar Data Analyzer) specijalizirani je računalni alat za obradu, filtriranje i prikaz radarskih snimaka, tj. radargrama.

Inicijalna obrada nad prikupljenim podacima uključuje tzv. Time Zero korekciju kako bi se s radargrama uklonilo područje od antene odašiljača do površine tla. Naime, antena georadara odmaknuta je od tla za određenu vrijednost, a prijelaz elektromagnetskog vala iz zraka u tlo (veća dielektrična konstanta) registrira se kao prvi pozitivni pik. Eliminacijom tog područja dubine prikazane na radargramima definirane su u odnosu na površinu tla.



Slika 9. Lokacija 1 – prikaz toplovoda snimljenog antenom frekvencije 900 MHz: prije obrade (lijevo) i poslije obrade (desno) (Lovrenčić 2019).

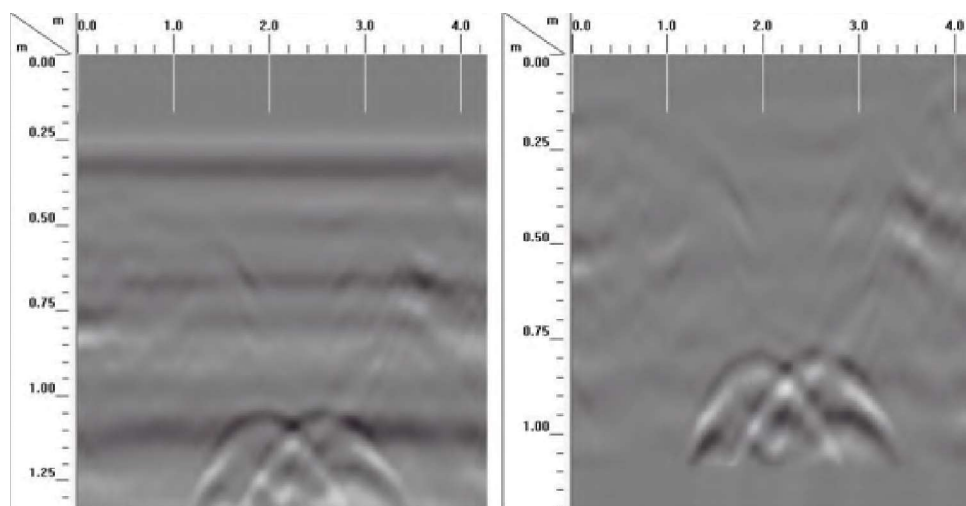
Sljedeća obrada prikupljenih podataka uključuje filtriranje u svrhu poboljšanja čitljivosti radargrama. Dva najznačajnija filtera primijenjena u programskom paketu RADAN 7 su FIR (engl. Finite Impulse Response) i IIR (engl. Infinite Impulse Response). U svrhu uklanjanja pozadinskog šuma, koji je prisutan i ravnomjerno raspoređen po cijelom radargramu, primijenjen je tzv. Background Removal filter.

Tako dobiveni radargrami osnova su za analizu i detekciju vodova podzemne infrastrukture. Vertikalna os radargrama definira dubine u metrima, a horizontalna os duljinu radargrama u metrima. Duljina radargrama odgovara duljini pravca izmjere na terenu.

Na testnoj lokaciji 1 sniman je profil toplovoda na dubini 0,80 m. Slika 9 prikazuje radargrame snimljene

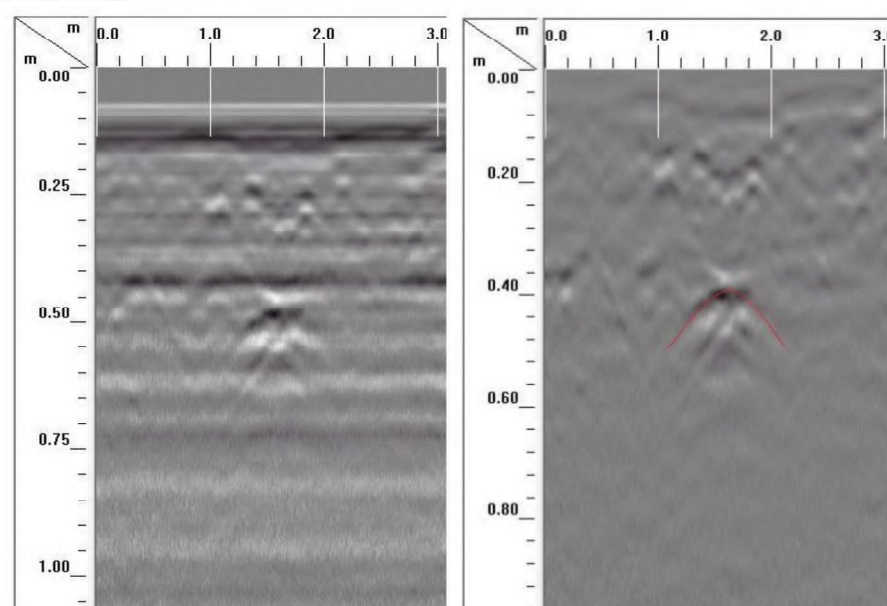


antonom frekvencije 900 MHz prije i poslije obrade u programskom paketu RADAN 7, a slika 10 radargrame snimljene antonom frekvencije 400 MHz prije i poslije obrade. Na oba obrađena radargrama jasno se može uočiti prisutnost hiperbola te zaključiti postojanje toplovoda na dubini 0,80 m.



Slika 10. Lokacija 1 – prikaz toplovoda snimljenog antonom frekvencije 400 MHz; prije obrade (lijevo) i poslije obrade (desno) (Lovrenčić 2019).

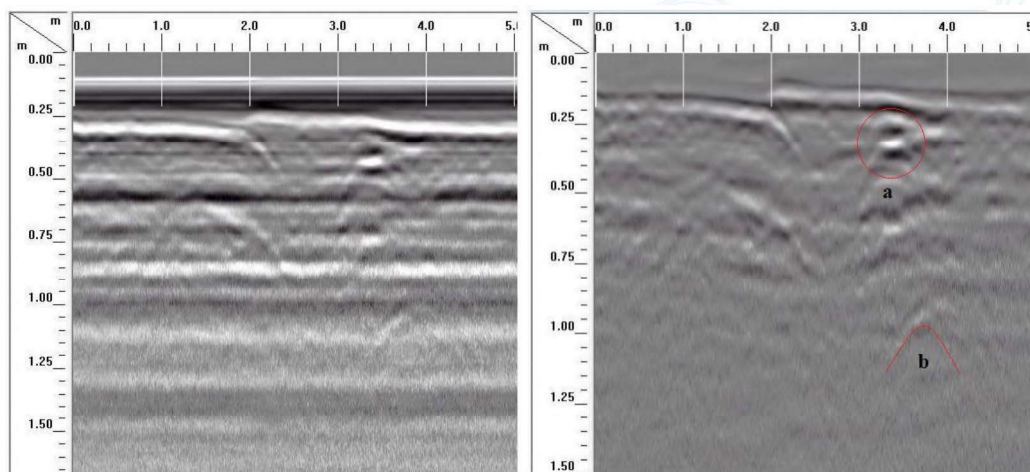
Na testnoj lokaciji 2 snimljeni su profili vodovoda, kanalizacije i elektrovođa. Na slici 11 prikazan je radargram elektrovođa ulične rasvjete snimljen antonom frekvencije 900 MHz. Dan je izvorni radargram prije obrade (lijevo) te radargram obrađen u programu RADAN 7 (desno). Na obrađenom radargramu jasno se može detektirati rezultirajuća hiperbola te prisutnost elektrovođa na dubini 0,40 m.



Slika 11. Lokacija 2 – prikaz elektrovođa ulične rasvjete snimljenog antonom frekvencije 900 MHz; prije obrade (lijevo) i poslije obrade (desno) (Lovrenčić 2019).

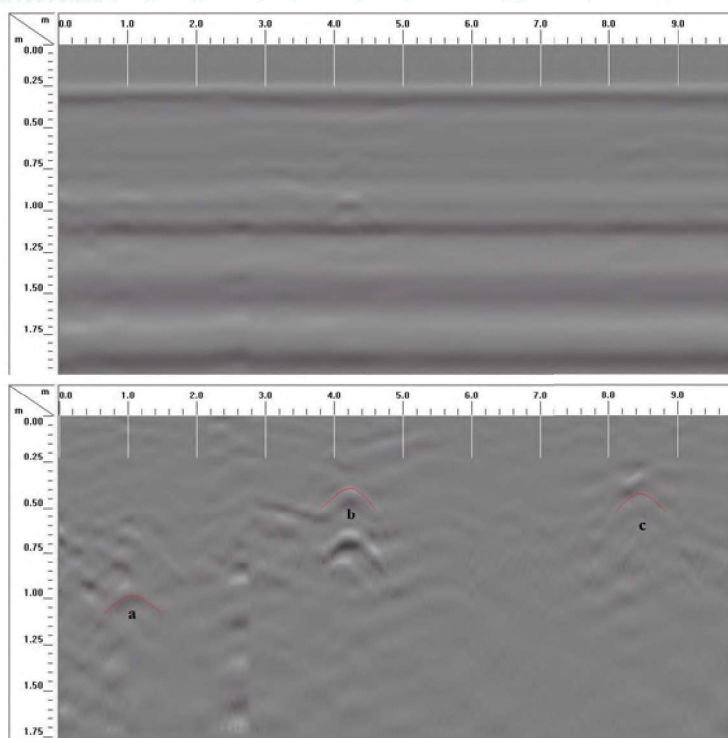


Na slici 12 dan je radargram s prikazom dviju hiperbola (a), (b) snimljen antenom frekvencije 900 MHz. Dan je prikaz prije i poslije obrade u programu RADAN 7. Središnji pik hiperbole (a) nije potpuno jasan, a označen je bijelom bojom te crnim pojasom s gornje i donje strane. Bijeli pojas označava pozitivnu amplitudu povratnog elektromagnetskog vala (metalne ili pune cijevi), a crni pojas označava negativnu povratnu amplitudu (plastične ili prazne cijevi). Zaključuje se da se u slučaju hiperbole (a) radi o kanalizacijskoj cijevi na dubini 0,40 m. Hiperbola (b) na dubini 1,0 m prikazuje vodovodnu cijev.



Slika 12. Lokacija 2 – prikazi voda (a) kanalizacije, (b) vodovoda snimljenih antenom frekvencije 900 MHz; prije obrade (lijevo) i poslije obrade (desno) (Lovrenčić 2019).

Na slici 13 dan je radargram s prikazom triju hiperbola (a), (b), (c) snimljen antenom frekvencije 400 MHz. Navedeni snimak obuhvaća sva tri prethodno analizirana voda. Dan je prikaz prije i poslije obrade u programu RADAN 7. Hiperbola (a) nalazi se na dubini 1,0 m i prikazuje vodovodnu cijev. Hiperbola (b) nalazi se na dubini približno 0,40 m i predstavlja kanalizacijsku cijev. Hiperbola (c) nalazi se na dubini 0,40 m te prikazuje elektrovod ulične rasvjete.



Slika 13. Lokacija 2 – prikazi (a) vodovoda, (b) kanalizacije, (c) elektrovida snimljenih antenom frekvencije 400 MHz; prije obrade (gore) i poslije obrade (dolje) (Lovrenčić 2019).

Nakon analize svakoga pojedinog radargrama s obje testne lokacije izmjere, u tablici 1 daje se konačna rekapitulacija očekivanih i stvarno detektiranih vodova. Na testnoj lokaciji 1 postojeće cijevi toplovoda detektirale su obje primijenjene antene. Izmjerom na testnoj lokaciji 2 detektirani su vodovi elektroenergetske i vodovodne infrastrukture koji su evidentirani na postojećim geodetskim planovima. Međutim, izmjerom detektirani vod kanalizacijske infrastrukture nije evidentiran na postojećim planovima.

Najveći problem pri analizi dobivenih radargrama predstavljao je šum na snimkama na dubinama od 0,50 m do 0,60 m. Navedeno je najvjerojatnije uzrokovano kišom koja je padala nekoliko dana prije izmjere. Naime, vlažno tlo uzrokuje kraće valne duljine signala što omogućuje detekciju vodova manjih promjera, međutim isto tako ograničava dubinu detekcije i uzrokuje pojavljivanje šuma na konačnim snimkama, tj. radargramima.

Tablica 1. Pregled očekivanih i detektiranih vodova na lokacijama izmjere.

Lokacija izmjere	Evidentirano na postojećim geodetskim planovima	Detekcija snimanjem na terenu	
		Frekvencija 900 MHz	Frekvencija 400 MHz
Lokacija 1	toplovod	toplovod	toplovod
Lokacija 2	vodovod elektrovod	vodovod elektrovod ulične rasvjete kanalizacija	vodovod elektrovod ulične rasvjete kanalizacija

## 4. Zaključak

Metoda georadara izuzetno je brza, pouzdana, ekonomična i precizna metoda detekcije objekata i vodova podzemne infrastrukture. Predstavlja jednu od najboljih primjenjivih metoda detekcije upravo zbog svoje nedestruktivne prirode pri čemu daje mjerni podatak o postojećoj podzemnoj infrastrukturi bez potrebe za bilo kakvim zemljanim radovima ili iskopima.

Međutim, tehnologija ima i određena ograničenja. Preciznost mjerenja, odnosno određivanje dubina, ponajviše ovisi o kontrastu dielektričnih konstanti između objekata podzemne infrastrukture i medija kroz koji prolazi elektromagnetski val. Veliki uzrok šuma i izvor pogrešaka u interpretaciji snimaka je vlažnost tla koja eliminira postojanje signala i onemogućava refleksiju signala.

Nadalje, prilikom primjene georadara ključna je ljudska komponenta. Znanje, razumijevanje i iskustvo stručnjaka važno je u pogledu odabira optimalnih antena, odnosno njezinih frekvencija rada, odabira prikladne metode snimanja na terenu te u konačnici interpretaciji i analizi dobivenih radargrama.



# Literatura

Baričević, S. (2011): Metode otkrivanja i izmjere objekata podzemne infrastrukture, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Beres, M., Haeni, F. P. (1991): Application of Ground-Penetrating-Radar Methods in Hydrogeological Studies, Ground Water, Vol. 29, No. 3, 375–386.

Lovrenčić, N. (2019): Snimanje objekata podzemne infrastrukture georadarom, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Saharudin, M. A., Nordiana, M. M., Nordiana, A. N., Muslinda, U. (2016): Application of Ground Penetrating Radar (GPR) in Detecting Target of Interest, International Research Journal of Engineering and Technology, Vol. 3, No. 1, 48–53.

Tabarro, R. G., Pouliot, J., Losier, L. M. (2018): Detection and Location of Buried Infrastructure Using Ground Penetrating Radar: A New Approach Based on GIS and Data Integration, International Journal of 3-D Information Modeling, Vol. 7, No. 2, 57–77.

Takahashi, K., Igel, J., Preetz, H., Kuroda, S. (2012): Basics and Application of Ground-Penetrating Radar as a Tool for Monitoring Irrigation Process, In: Kumar, M. (ed.), Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management, InTech, Rijeka, Croatia, 155–180.

Wei, J. S., Hashim, M. (2012): Ground Penetrating Radar Backscatter for Underground Utility Assets Material Recognition, 33rd Asian Conference on Remote Sensing, Proceedings, Asian Association on Remote Sensing, Pattaya, Thailand, Vol. 3, 2179–2187.

Zajčová, K., Chuman, T. (2019): Application of Ground Penetrating Radar Methods in Soil Studies: A review, Geoderma, Vol. 343, 116–129.

Zaremba, N. J., Smith, C. G., Bernier, J. C., Forde, A. S. (2016): Application of Ground Penetrating Radar for Identification of Washover Deposits and Other Stratigraphic Features: Assateague Island, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, Vol. 21, No. 4, 173–186.

Zrinjski, M., Barković, Đ., Baričević, S. (2012): Methods of Detecting the Underground Infrastructure Objects, Conference Proceedings, Volume II – 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2012, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, Sofia, 763–770.

## Mrežne adrese

URL 1: Google Karte,  
<https://www.google.hr/maps/@45.2438895,19.84757,19.5z?hl=hr>, (4. 3. 2020.).

URL 2: Google Karte,  
<https://www.google.hr/maps/@45.2442625,19.8485189,19.75z?hl=hr>, (4. 3. 2020.).

URL 3: Geophysical Survey Systems,  
<https://www.geophysical.com/software>, (6. 3. 2020.).

## AUTORI/AUTHORS

Mladen Zrinjski

prof. dr. sc. Mladen Zrinjski, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska,  
e-mail: [mladen.zrinjski@geof.unizg.hr](mailto:mladen.zrinjski@geof.unizg.hr)

Đuro Barković

prof. dr. sc. Đuro Barković, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska,  
e-mail: [djuro.barkovic@geof.unizg.hr](mailto:djuro.barkovic@geof.unizg.hr)

Aleksandar Ristić

prof. dr. sc. Aleksandar Ristić, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, RS-21102 Novi Sad, Srbija,  
e-mail: [aristic@uns.ac.rs](mailto:aristic@uns.ac.rs)

Antonio Tupek

Antonio Tupek, mag. ing. geod. et geoinf., Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska,  
e-mail: [antonio.tupek@geof.unizg.hr](mailto:antonio.tupek@geof.unizg.hr)

Neva Lovrenčić

Neva Lovrenčić, mag. ing. geod. et geoinf., HR-40000 Čakovec, Hrvatska,  
e-mail: [lovrencic.neva@gmail.com](mailto:lovrencic.neva@gmail.com)