

**UPOREDNA ANALIZA REALNIH I SINTETIČKIH RADARGRAMA ZA SLUČAJ SLOŽENIH SCENARIJA****COMPARATIVE ANALYSIS OF REAL AND SYNTHETIC RADARGRAM FOR COMPLEX SCENARIOS**Jovana Cvetinović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GEODEZIJA I GEOINFORMATIKA**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu je prikazan kompletan proces obrade i analize realnih radargrama detektovanih na terenu, korišćenjem tehnologije skeniranja georadarom, primenom tri antene različitih frekvencija (200MHz, 400MHz i 900MHz), na osnovu kojih su se generisali sintetički radargrami u softverskom paketu GprMax kao i uporedna analiza generisanih sintetičkih i realnih radargrama.

**Ključne reči:** georadar, radargram, podzemna infrastruktura, antena

**Abstract** – This paper presents the complete process of processing and analyzing real radargrams detected in the field, using georadar scanning technology, using three antennas of different frequencies (200MHz, 400MHz and 900MHz), based on which synthetic radargrams were generated in the GprMax software package, as well as a comparative analysis. generated synthetic and real radargrams.

**Keywords:** ground-penetrating radar, radargram, underground utility infrastructure, antenna

**1. UVOD**

Detekcija objekata podzemne infrastrukture predstavlja postupak utvrđivanja stvarnog stanja vodova, njihove identifikacije i georeferenciranja. Skeniranje objekata podzemne infrastrukture georadarom ima važnu ulogu u formiranju i održavanju katastra vodova. Rezultat skeniranja georadarom predstavlja radargram. Radargram sadrži sve informacije o skeniranom području i sa njega nije uvek jednostavno protumačiti podatke, naročito ukoliko korisnici ove tehnologije nemaju dovoljno iskustva. Za detekciju objekata podzemne infrastrukture danas se najčešće koriste georadar (GPR – Ground Penetrating Radar) i elektromagnetni lokator (EML – Electromagnetic Locator).

**2. TEHNOLOGIJA SKENIRANJA GEORADAROM**

Georadar je uređaj namenjen za detekciju i precizan prikaz lokacije i oblika podzemnih objekata. Predajna antena emituje polarizovane EM talase širine  $\beta=35^{\circ}\div 45^{\circ}$  visoke frekvencije u zemljište. Prijemnik sakuplja reflektovane elektromagnetne talase.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Aleksandar Ristić, red. prof.

Zbog nehomogenosti u zemljištu jedan deo EM talasa se reflektuje od graničnih površi između različitih materijala, dok drugi deo refrakcijom dolazi do narednih slojeva sve dok slabljenje emitovanog signala ne bude isuviše veliko. Reflektovana energija se zapisuje na radargramima koji predstavljaju sirove podatke koje je potrebno obraditi i analizirati u softverskom paketu RADAN (RADar Data Analyzer) [1].

**2.1. Softverski paket RADAN**

RADAN (Radar Data Analyzer) predstavlja softver koji služi za prikaz, filtriranje i obradu radargrama. Podaci se najčešće prikazuju u Linescan formatu, gde su različiti slojevi označeni različitim bojama ili nijansama sive, što predstavlja specifične vrednosti pozitivne ili negativne amplitude reflektovanog talasa. Među osnovne funkcije filtriranja spadaju horizontalni i vertikalni high-pass i low-pass filteri, dekonvolucija i migracija [2].

**2.2. Softverski paket GprMax**

GprMax predstavlja softver otvorenog koda namenjen simulaciji prostiranja elektromagnetnih talasa. Osnovan je na rešavanju Maksvelovih jednačina u 3D prostoru koristeći metodu konačnih razlika u vremenskom domenu (Finite-Difference Time-Domain metod - FDTD) [3]. Iako je prvobitno dizajniran za simulaciju georadarskih skeniranja, GprMax se može koristiti i za druge primene gde je potrebno simulirati prostiranje elektromagnetnih talasa. Trenutno je objavljen pod GNU General Public Licence i napisan je u programskom jeziku Python3 [4].

**2.3. Lokacije snimanja**

Analizom postojećih geodetskih planova vodova i objekata odabrane su dve lokacije od interesa koje su se istakle kao zanimljive, veoma sadržajne i lako dostupne. Na prvoj lokaciji (SLIKA 1), koja se nalazi na kružnom toku između Ulice dr Ilije Đuričića i Ulice Veljka Petrovića u Novom Sadu, utvrđeno je postojanje:

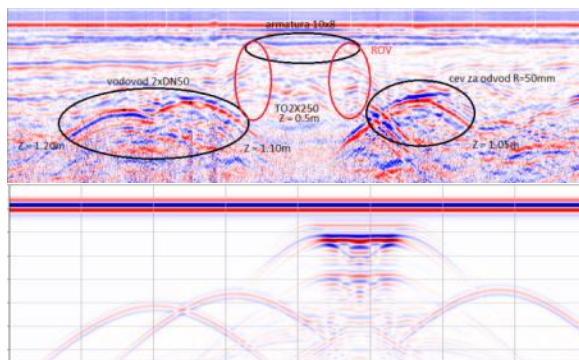
- Vodovoda (dve cevi):
  - prečnika DN50, na dubini 1.20m(prva cev) i 1.10m(druga cev).
- Toplovoda koji se nalazi u betonskom kanalu sa poklopcem:
  - TO2x250 na dubini 0.5m.
- Detektovan je još jedan objekat podzemne infrastrukture posle toplovoda koji nije ucrtan na postojećem geodetskom planu.

Pretpostavka: cev za odvod, zbog uočenog slivnika:

- prečnika 50mm na dubini 1.05m.







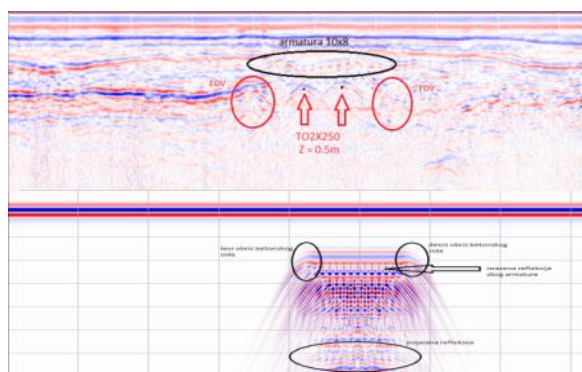
SLIKA 5. UPOREDNA ANALIZA REALNOG I SINTETIČKOG RADARGRAMA SNIMLJENOG ANTENOM OD 400MHZ

Poređenje realnog i sintetičkog radarograma snimljenog antenom od 400MHz koji odgovara prvoj lokaciji prikazano je na slici 5.

Model prikazuje:

- dve vodovodne cevi DN50 na dubini 1.20m i 1.10m,
- TO2x250 koji se nalazi u betonskom kanalu sa poklopcem na dubini 0.5m
- i cev za odvod prečnika 50mm na dubini 1.05m

Ova simulacija je izvršena sa antenom čija je frekvencija 400MHz a za dielektričnu konstantu uzeta je vrednost 6.5. Kako kod realnog tako i kod sintetičkog radarograma može se uočiti da je vrednost amplitude reflektovanog signala ujednačena na istim mestima, s tim da se postojanje toplovodnih cevi kod sintetičkog radarograma primećuje, dok kod realnog radarograma se ne vidi na kojoj dubini se nalaze toplovodne cevi. Može se primetiti da do fazne inverzije dolazi i kod realnog i kod sintetičkog radarograma. Pojavile su se i lažne hiperbole, koje ne predstavljaju pravu dubinu toplovodnih cevi i postoji pojačana refleksija kao posledica refleksije EM talasa od dna betonskog kanala. I kod sintetičkog i kod realnog radarograma se mogu uočiti levi i desni obrisi betonskog zida kao i uticaj armature.



SLIKA 6. UPOREDNA ANALIZA REALNOG I SINTETIČKOG RADARGRAMA SNIMLJENOG ANTENOM OD 900MHZ

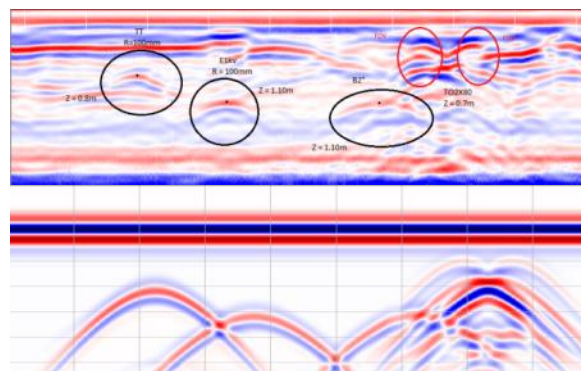
Ovaj model (SLIKA 6) prikazuje:

- TO2x250 koji se nalazi u betonskom kanalu sa poklopcem na dubini 0.5m

Simulacija je izvršena sa antenom čija je frekvencija 900MHz a za dielektričnu konstantu uzeta je vrednost 6.5. I kod realnog i kod sintetičkog radarograma može se uočiti pojava hiperboličnih refleksija zbog armature koja se nalazi u poklopcu betonskog kanala, ali se postojanje toplovodnih cevi kod sintetičkog radarograma primećuje, dok kod realnog radarograma se vidi na kojoj dubini se

nalaze toplovodne cevi. Takođe se može primetiti da se ivice betonskog kanala vide i kod realnog i kod sintetičkog radarograma. Kod sintetičkog radarograma se pojavila pojačana refleksija po dnu kanala, nastala kao posledica refleksije EM talasa od dna betonskog kanala, jer kod sintetičkog radarograma nema smetnji pa samim tim EM talas može dublje da prođe.

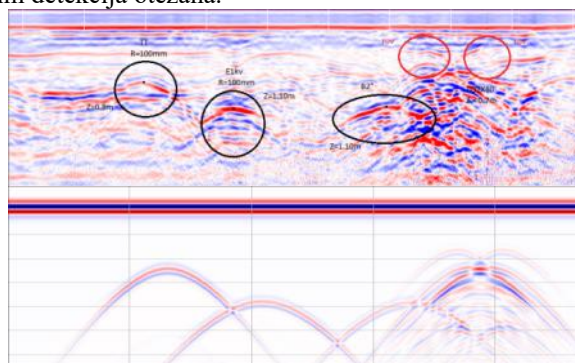
## 4.2. Druga lokacija od interesa



SLIKA 7. UPOREDNA ANALIZA REALNOG I SINTETIČKOG RADARGRAMA SNIMLJENOG ANTENOM OD 200MHZ

Simulacija je izvršena sa antenom čija je frekvencija 200MHz a za dielektričnu konstantu uzeta je vrednost 6.5.

- Elektroenergetski vod koji se nalazi u zaštitnoj plastičnoj cevi, čiji je prečnik veći od kablova koji se nalaze u njoj, i zbog prisutnosti vazduha dolazi do fazne inverzije.
- Na oba radarograma se mogu uočiti hiperbolične refleksije TT kablova, E1kv i vodovoda.
- Kada je reč o toplovodnim cevima, na oba radarograma se mogu uočiti obrisi desne i leve ivice betonskog kanala, s tim da se postojanje toplovodnih cevi kod sintetičkog radarograma primećuje, ali antena od 200MHz dve toplovodne cevi vidi kao jednu i zbog toga postoji samo jedna hiperbola, dok kod realnog radarograma se ne vidi na kojoj dubini se nalaze toplovodne cevi.
- Takođe se može primetiti da se fazne inverzije javljaju i kod realnog i kod sintetičkog radarograma, ali su kraci hiperbola širi i duži kod sintetičkog radarograma, nema uticaja bilo kakvih smetnji.
- Kraci vodovodne cevi nisu jasno definisani ni kod realnog ni kod sintetičkog radarograma, zato što se vodovodna cev nalazi blizu toplovodnog betonskog korita, pa je njen reflektujući signal "zamaskiran" i samim tim detekcija otežana.



SLIKA 8. UPOREDNA ANALIZA REALNOG I SINTETIČKOG RADARGRAMA SNIMLJENOG ANTENOM OD 400MHZ

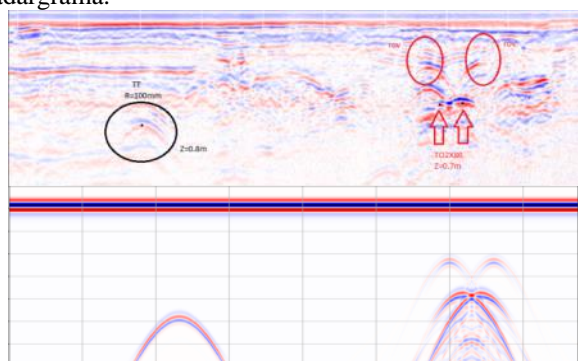
Za generisanje sintetičkog radargrama koji odgovara drugoj lokaciji korišćena je antena frekvencije 400MHz a za dielektričnu konstantu uzeta je vrednost 6.5.

- Hiperbolične refleksije TT kablova, Elkv i vodovoda se mogu uočiti na oba radargrama.

- Kraci vodovodne cevi nisu jasno definisani ni u ovom slučaju zbog pomenutog razloga.

- Na oba radargrama se mogu uočiti obrisi desne i leve ivice toplovodnog betonskog kanala, s tim da se postojanje toplovodnih cevi kod sintetičkog radargrama i dalje primećuju kao jedna hiperbola, dok se kod realnog radargrama ne vidi postojanje toplovodnih cevi.

- Same hiperbole su jasnije i izraženije kod sintetičkog radargrama, zbog činjenice da kod sintetičkog radargrama ne postoje nikakve smetnje koje su prisutne kod realnog radargrama.



SLIKA 9. UPOREDNA ANALIZA REALNOG I SINTETIČKOG RADARGRAMA SNIMLJENOG ANTENOM OD 900MHZ

Korišćenjem antene čija je frekvencija 900MHz izvršena je simulacija. Za dielektričnu konstantu zemljišta uzeta je vrednost, kao i do sada, 6.5.

- Na oba radargrama javljaju se hiperbole koje predstavljaju postojanje TT kablova i toplovodnih cevi koji se nalaze u betonskom kanalu bez poklopca.

- Hiperbole su jasnije i uočljivije kod sintetičkog radargrama.

- Toplovodne cevi su detektovane i kod sintetičkog radargrama i kod realnog radargrama, s tim da se kod sintetičkog radargrama dve toplovodne cevi i vide kao dva objekta. Jasno se vide hiperbolične refleksije betonskog zida kako kod realnog tako i kod sintetičkog radargrama.

- I u ovom slučaju su kraci hiperbola kod sintetičkog radargrama duži i bolje definisani u odnosu na krace hiperbola kod realnog radargrama.

## 5. ZAKLJUČAK

Analizom radargrama dobijenih snimanjem na terenu upotrebom antena različitih frekvencija, evidentno je da antene od 200MHz i 400MHz uspešno detektuju vodove od interesa, dok antena od 900MHz ne može da detektuje postojeće objekte koji se nalaze na dubini većoj od 1.2m, a koje su antene od 200MHz i 400MHz detektovale.

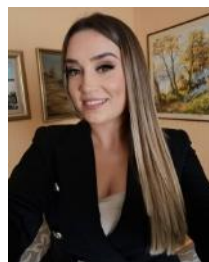
Analizom realnih radargrama uočena je razlika u intezitetu refleksije, odnosno zaključeno je da je intezitet refleksije EM talasa slabiji kod realnih radargrama dobijenih upotrebom antene od 900MHz, dok je intezitet refleksije jači kod realnih radargrama dobijenih antenama centralnih frekvencija 200MHz i 400MHz. Na intezitet refleksije utiče detektabilnost antene. Najbolju detektabilnost ima antena frekvencije 900MHz, i iz tog razloga detektuje "prepreke" koje su manjih dimenzija pri čemu slabi signal i sam domet antene frekvencije 900MHz je manji u odnosu na domet antena frekvencija 200MHz i 400MHz.

Za generisanje sintetičkih radargrama su maksimalno iskorišćeni parametri skeniranja na terenu.

## 6. LITERATURA

- [1] d. A. Ristić, DOPI, FTN, 2023.
- [2] A. Ristić and D. Petrovački, *Georadar i GPS tehnologije - primeri primene u detekciji podzemne infrastrukture*, Budva: Zbornik 49. Konferencije za ETRAN, 2005.
- [3] M. Tasić, *Primena slobodnog softvera za elektromagnetsko modelovanje*.
- [4] "gprMax," [Online]. Available: <http://www.gprmax.com/>.

## Kratka biografija



**Jovana Cvetinović** rođena je 27.06. 1997. godine u Zrenjaninu. Osnovno obrazovanje završila je u Lazarevu u OŠ "Slavko Rodić" sa odličnim uspehom. Srednjoškolsko obrazovanje je završila 2016. u Elektrotehničkoj i građevinskoj školi "Nikola Tesla" u Zrenjaninu sa odličnim uspehom i stekla zvanje arhitektonski tehničar. Diplomirala je 2021. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu i stekla zvanje diplomirani inženjer geodezije. Neposredno nakon diplomiranja upisala je master akademske studije na studentskom programu geodezija i geoinformatika na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. U periodu od 2020. do 2023. godine radila je na raznim projektima iz oblasti geodezije.  
Kontakt adresa:  
jovana697@outlook.com