

Miomir Korać
(Arheološki institut SANU)

Vladimir Miletić
(Centar za geofizička istraživanja)

PRIMENA GEORADARA U ARHEOLOGIJI

Uspeh arheoloških istraživanja na terenu zavisi u najvećem delu od iskopavanja. Razmatranje rasporeda objekata ispod zemlje je od velikog značaja. Konkretno, ove se informacije dobijaju iz rezultata istražnih jama ili rovova. Uprkos ovome, i dalje postoji mogućnost da istražna jama ne obuhvati neka od značajnih područja na istraživanom lokalitetu. Imati informacije o arheološkim sadržajima u zemlji pre početka arheoloških iskopavanja može biti od najvećeg značaja za arheologe. GPR (Ground Penetrating Radar) – georadar, je jedna od metoda pomoću koje se ovakvi podaci mogu dobiti. Problem za arheologe kod upotrebe ove metode predstavlja teškoća da se dobijeni podaci razumeju i analiziraju. Zbog toga je, da bi se ovakva istraživanja uspešno izvela, potreban multidisciplinarni pristup što znači da u ovakvim istraživanjima moraju pored arheologa učestvovati i geofizičari, matematičari, a po potrebi i stručnjaci drugih specijalnosti.

Pravilan odabir frekvencije georadarske antene i vremenskog opsega merenja osnov je dobrih georadarskih merenja. Takođe, potrebno je meriti elevaciju terena, kako bi se omogućilo generisanje 3D modela iz podataka georadarskih merenja. Uz pomoć odgovarajućih kompjuterskih programa vrši se 3D vizuelizacija. Ona omogućava, pored dobijenih georadarskih profila koji predstavljaju vertikalne preseke potpovršine zemlje, dobijanje 3D modela potpovršine i određenih objekata kao i horizontalne preseke na željenim dubinskim nivoima.

Ovakva istraživanja otpočela su februara 2002. godine na području antičkog grada i vojnog logora Viminaciuma kod Kostolca. Do sada dobijeni rezultati su izuzetno dobri i predstavljaju rezultat saradnje stručnjaka Arheološkog Instituta SANU, Matematičkog fakulteta, Matematičkog instituta SANU, Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu i Centra za geofizička istraživanja- DON International iz Beograda.

Ključne reči: georadar, arheološko nalazište

Uvod

Georadarska ispitivanja na području arheološkog lokaliteta “Viminacium” kod Kostolca vršena su u više navrata u periodu februar–oktobar, 2002. godine. Ispitivanjima su obuhvaćeni prostori na kojima je pretpostavljeno da se nalaze sledeći objekti: bedemi grada, kapija na severnom bedemu grada, Fortunin hram, amfiteatar i hram.

Tehnički podaci

Georadarska metoda temelji se na postojanju razlike u dielektričnim svojstvima materijala koji se nalaze u potpovršini tla. [to je razlika u tim svojstvima veća na georadarskom snimku registruje se veća vrednost amplituda signala na graničnim površinama. Zbog toga je primenom ove metode moguće detektovati objekte koji su sastavljeni od materijala čija se vrednost dielektrične propustljivosti razlikuje od okolnog glinovitog tla. U ovom slučaju to bi značilo da se dobro uočavaju objekti izgrađeni od kamena, dok objekti izgrađeni od opeke i drugih materijala dielektrične propustljivosti bliske okolnom tlu ne mogu biti jasno izdvojeni.

Ispitivanja su izvršena georadarskim sistemom RAMAC/GPR CU II, švedske kompanije Malá Geoscience. RAMAC/GPR CU II je savremeni georadarski sistem, veoma visoke rezolucije, visokog kvaliteta georadarskih snimaka, kod koga se snimaju mereni podaci u sirovom stanju što omogućava da se po obavljenom snimanju primeni veliki broj dostupnih programa za obradu georadarskih podataka i izvrši čitav niz filtracionih postupaka kako bi se iz registrovanog materijala dobile informacije najvećeg mogućeg kvaliteta. Za akviziciju podataka sistem koristi program "Ground Vision".

Korišćene su antene različitih frekvencija i to 250 MHz, 500 MHz i 800 MHz. U zavisnosti od toga koja antena je upotrebljena i koji se dubinski zahvat želeo postići korišćen je različit vremenski opseg snimanja. Po potrebi korišćena su merna kolica sa automatskim merenjem pređenog rastojanja kao i merni točak, koji takođe omogućava automatsko merenje pređenog rastojanja. Na delovima terena koji nisu bili u dovoljnoj meri pripremljeni za georadarska ispitivanja korišćena je specijalna podloga od tkanih plastičnih niti koja omogućava maksimalno smanjenje smetnji pri snimanju odnosno znatno poboljšava odnos signal–šum.

Merenja na područjima pretpostavljenih pozicija bedema grada. Merenja na mestima na kojima se pretpostavlja da se nalaze bedemi grada Viminaciuma, izvršena su kao bi se najpre potvrdile pretpostavke o prostornom položaju grada i poziciji spoljnih bedema. Ova merenja su došla kao logičan nastavak izvršenih geoelektričnih ispitivanja koja su nešto ranije na ovom prostoru već bila izvedena od strane stručnjaka Instituta za vodosnabdevanje "Jaroslav Ćerni". Izvršeno je merenje na velikom broju profila postavljenih upravno na pretpostavljeni pravac pružanja bedema, i to na prostoru pružanja južnog, zapadnog i severnog bedema. Merenja su vršena antenama frekvencije 250, 500 i 800 MHz.

Merenja na području pretpostavljenog položaja kapije na severnom bedemu grada. Merenja na ovom prostoru vršena su u više navrata i sa antenama različitih frekvencija. Već na samom početku uočeno je da postavljanje pojedinačnih profila ne donosi rezultate koji su u dovoljnoj meri jednoznačni i jasni za dalje tumačenje, te da je potrebno merenja izvršiti postavljanjem paralelnih profila na malom rastojanju, koji bi omogućili izradu 3D modela. Pokazalo se takođe, da je najpodesnije za ova merenja koristiti antenu frekvencije 250 MHz koja iako niže rezolucije u odnosu na ostale antene, ima znatno bolju dubinu penetracije signala što je u datim uslovima bilo neophodno, zbog gubitaka jačine signala pri prolasku kroz zemljište sa visokim sadržajem gline što je prihvaćeno i za merenja na ostalim delovima lokaliteta. Merenja su vršena u dva navrata. Prvi put profili su postavljeni na međusobnom rastojanju od 2 m i izmereno ih je ukupno 31. Drugi put mereno je 33 profila na rastojanju od 1 m.

nažalost u drugom slučaju uslovi snimanja, tj. pripremljenost terena, bili su znatno lošiji nego prvi put tako da su u daljoj interpretaciji uzeti u obzir rezultati prvobitnih ispitivanja.

Pored ovoga, merenja su izvršena na prostoru ispred mesta gde je pretpostavljena pozicija kapije. Izmeren je 61 profil na rastojanju od 1m.

Merenja na području pretpostavljenog položaja Hrama. Usled privremene pokrivenosti terena poljoprivrednim kulturama, područje Hrama mereno je samo delimično. Dostupan prostor bio je nepravilnog oblika te se pristupilo merenju po pravougaonim parcelama, te naknadnoj sintezi dobijenih podataka. Područje je podeljeno na tri pravougaone parcele i to: A-Hram, gde je izmereno 34 profila, B-hram gde je izmereno 16 profila i Hram gde je mereno 28 profila. Svi profili su bili dužine 50 metara. Profili su postavljeni na rastojanju od 1m.

Merenja na području pretpostavljenog položaja Fortuninog hrama. Merenja na ovom području su izvršena na ukupno 42 paralelna profila na rastojanju od 1m. Nažalost, loša pripremljenost terena za snimanje i postojanje jakih smetnji učinili su rezultate ovih merenja neupotrebljivim za dalju obradu i interpretaciju.

Merenja na području pretpostavljenog položaja amfiteatra. Na području amfiteatra izvršeno je samo probno snimanje na osnovu čijih rezultata je donet zaključak da se na ovom području, pri postojećim uslovima ne mogu izvršiti merenja dovoljno visokog kvaliteta te se od istih do daljeg odustalo. Predloženo je da se snimanje ponovi u zimskim uslovima kada se očekuje niži nivo smetnji i bolja zaravnjenost usled zamrznutosti površinskog dela tla.

Obrada i interpretacija rezultata merenja

Obrada podataka izvršena je pomoću programskog paketa "ReflexW" koji omogućava digitalno filtriranje (FIR, IIR, prostorno filtriranje, migraciju, dekonvoluciju, sumiranje, filtriranje u frekventnom domenu,...), kao i različito prikazivanje georadarskih snimaka radi isticanja bitnih informacija. Dobijeni georadarski profili zatim su konvertovani u ASCII format kako bi bilo moguće njihovo korišćenje u programskom paketu MATLAB. Programski paket MATLAB služi za matematičko modeliranje i u ovom slučaju korišćen je za izradu 3D modela. 3D model dobija se tako što se u program unose paralelni georadarski profili u ASCII formatu iz kojih program sačinjava trodimenzionalnu matricu, tj. matricu kod koje svakoj tački odgovara vrednost dubine, rastojanje od nulte tačke profila, broj profila i apsolutna vrednost merene amplitude signala. Iz ovakve matrice dalje je moguće izraditi horizontalne preseke po određenim dubinskim nivoima putem konverzije dvostrukog vremena puta talasa u dubinu pomoću kalibracije brzina prostiranja talasa ili pak izvršiti generisanje figure koja se dobija primenom pretpostavke o jednakim vrednostima amplituda talasa na graničnim površinama postojećih podzemnih objekata. Ovakve figure omogućavaju bolje vizuelno sagledavanje oblika, dimenzija i prostornog položaja postojećih podzemnih objekata. Moguća je njihova rotacija i posmatranje iz različitih uglova u prostoru.

Bedemi grada su kao što je rečeno na više mesta presecani velikim brojem profila. Zaključeno je da je za praćenje ovakvih dugih linijskih objekata neophodno izvršiti snimanje paralelnih profila kako bi bilo moguće generisanje 3D modela, te izrada horizontalnih preseka na određenim dubinskim nivoima na kojima se mogu dobro pratiti ovakvi objekti. Ovakav način snimanja primenjen je samo na malom delu severnog bedema. Pored toga što se anomalne zone uočavaju već na samim profilima izrađen je i 3D model. Iz dobijenog 3D modela napravljeni su horizontalni preseki na kojima se odlično uočavaju postojeći objekti za koje se pretpostavlja da odgovaraju ostacima bedema grada, kao i figura na kojoj se postojeći objekat jako dobro vidi.

Na južnom i zapadnom bedemu izvršeno je snimanje više pojedinačnih profila, tako da se uočava da su na nekim mestima bedemi očuvani a na nekim mestima potpuno uništeni ali bi radi dobijanja jasnije slike tako je trebalo izvršiti snimanje paralelnih profila kako bi se bolje pratilo pružanje objekata u prostoru.

Iz podataka merenih na području kapije na severnom bedemu grada, nakon obrade podataka i primene topografske korekcije, izrađena je generisanjem 3D modela figura koja je odgovarala po izgledu popločanju puta sa vidljivim objektom kanalizacije ili nekog drugog vida komunikacije. Tokom letnjih meseci 2002. godine, na ovom mestu izvršena su arheološka iskopavanja koja su u potpunosti potvrdila rezultat dobijen modeliranjem otkrivši objekat koji po svom obliku i dimenzijama odgovara upravo onom koji je dobijen i matematičkim modeliranjem rezultata georadarskih merenja.

Na području ispred kapije rezultati modeliranja predstavljeni su u vidu horizontalnih preseka po određenim dubinskim nivoima i sa postojećim anomalnim zonama koje ukazuju na postojanje ostataka nekog objekta na tom delu lokaliteta.

Svakako najinteresantniji rezultati dobijeni su na području pretpostavljene pozicije Hrama. Nakon što je izvršena obrada podataka, podaci sa parcela su sintetizovani. Kao rezultat modeliranja u programu MATLAB dobijena je figura koja predstavlja objekat kružnog oblika, prečnika oko 30 metara, kod koga se na dva mesta uočavaju ostaci dubljih temelja dimenzija od oko 8m×3m do dubine od 3 metra. Nažalost, nedostaju podaci da bi se dobila figura celog objekta ali je planirano da daljim istraživanjima i taj deo lokaliteta bude obuhvaćen. Sem ovoga na horizontalnim presecima uočava se nekoliko anomalnih zona koje mogu odgovarati ostacima različitih objekata. Na dubinskom preseku od 175 cm uočava se i postojanje nekog vida komunikacije između objekata.

Zaključak

Na osnovu dosadašnjih rezultata georadarskih istraživanja može se zaključiti sledeće:

- Georadarska metoda pokazala je odlične rezultate kod ove vrste istraživanja i svakako je treba primenjivati i nadalje.
- Merenja treba vršiti postavljanjem više paralelnih profila kako bi bilo moguće generisanje 3D modela što znatno unapređuje dalju interpretaciju i prezentovanje dobijenih rezultata.
- Trebalo bi pristupiti sistematskoj primeni georadarskih merenja, kako bi se postigla potpuna pokrivenost površine arheološkog lokaliteta georadarskim

podacima i sagledavanje prostornog položaja podzemnih objekata na lokalitetu izradom mapa na reprezentativnim dubinskim nivoima.

GEORADARS IN ARCHAEOLOGY

Using georadars in scanning archaeological locations is described

Key words: georadar, Archaeological location