

Goran SKELAC

Georheo d. o. o
Ulica kaktusa 70
10360 Sesvete
goran.skelac@zg.htnet.hr

UDK: 550.83:902.3

Stručni članak
Professional paper

Primljeno:
Received:

19. siječnja 2007.

GEORADAR NA ASERIJI U 2006. GODINI

Apstrakt

U 2005. godini izvedena su georadarska istraživanja s antenom od 400 MHz koja je manjega dubinskog dosega, ali jasnije rezolucije zbog manje valne duljine elektromagnetskog vala, pa prema tome daje jasnije slike kontura potencijalnih arheoloških pojava, čak i vrlo malih 5–10 cm, na dubinama do 3 metra.

Georadarska sonda površine 130 m² postavljena je u blizini istražene arheološke sonde i dala je odlične rezultate. Otkriveni su ostatci zidova koji se spajaju pod pravim kutom i predstavljaju dio građevine nepoznate namjene.

U 2006. godini na sondi površine od 250 m² provjereno je kakva je mogućnost istraživanja s antenom od 200 MHz, koja ima gotovo dvostruko veći doseg mjerenja (približno 5–8 m).

Geofizička istraživanja na Aseriji imaju, za sada, probni i eksperimentalni karakter. Dosadašnja istraživanja izvedena su georadarom Sir 2 GSSI radi otkrivanja arheoloških ostataka ispod površine tla i provjere učinkovitosti metode.

Princip georadarskog snimanja sastoji se od odašiljanja elektromagnetskoga, radarskog signala okomito u zemlju iz antene na površini tla i reflektiranja tog signala od objekata pod površinom. Antena se sastoji od odašiljača energije i prijarnika koji prikuplja povratni signal. Snima se vrijeme koje je potrebno za povratak signala natrag u antenu kao i snaga povratnog signala. Pri terenskom prikupljanju podataka antena se pomiče (vuče) po

tlu, po paralelnim pravcima unutar pripremljene mreže. Pri pomicanju antene snimaju se promjene u povratnom signalu koje se razlikuju sukladno stanju ispod površine tla. Što je veća razlika u elektromagnetskim svojstvima između objekta pod zemljom i njihove okoline ta će razlika biti vidljivija na povratnom signalu georadarske snimke (CONY-ERS 2006).

Radarske snimke mogu se analizirati pojedinačno kao tzv. radarski profili. Analiza je poglavito vizualna, obradom u računalu i filtriranjem, tj. izdvajanjem pojedinih frekvencija ili pojava koje se mogu interpretirati.

Drugi način, koji se primjenjuje u zadnjih desetak godina, uključuje procesiranje većeg broja georadarskih profila izmjenjenih paralelno i njihovo dvodimenzionalno i trodimenzionalno interpoliranje.

Takav način obrade omogućuje proizvodnju tlocrtnih pogleda na istraženu površinu, i to na raznim dubinama (tzv. tlocrtni isječci ili „z-slices“), što se pokazalo vrlo učinkovitim pogotovo pri otkrivanju ostataka arhitekture u arheološkom kontekstu, tj. ispod površine tla.

Rezultati georadarskih istraživanja

U 2005 godini izvedena su georadarska istraživanja s antenom od 400 MHz koja je manjega dubinskog dosega, ali jasnije rezolucije zbog manje valne duljine elektromagnetskog vala, pa prema tome daje jasnije slike kontura potencijalnih arheoloških pojava, čak i vrlo malih 5-10 cm, na dubinama do 3 metra.

Georadarska sonda površine 130 m² /Sl. 1/ postavljena je u blizini istražene arheološke sonde i dala je odlične rezultate. Otkriveni su ostatci zidova koji se spajaju pod pravim kutom i predstavljaju dio građevine nepoznate namjene (SKELAC 2005).

U 2006. godini na sondi površine od 250 m² provjereno je kakva je mogućnost istraživanja antenom od 200 MHz /Sl. 2/, koja ima gotovo dvostruko veći doseg mjerenja (približno 5-8 m).

Ta antena ima manju moć rezolucije ili otkrivanja manjih objekata, npr. 10-20 cm zbog veće valne duljine elektromagnetskog vala, ali zbog dubine dosega otklanja mogućnost propuštanja važnijih arhitektonskih objekata na većim dubinama.

Mjerenje je izvedeno uz sjeverni rub lokaliteta, na mjestu na kojem su vanjske zidne urušene, što upućuje na mogući manji ulaz ili otvor.

Sonda je nepravilna pravokutna oblika s najvećim stranicama 24x13 m. Površina je pokrivena pjeskovitim humusom i travnatom vegetacijom s većom količinom nepravilnih vapnenaca i donekle je strojno izravnata, jer se radi o ulegnuću u sredini sonde koje korespondira sa smjerom otvora ili urušenja u zidinama. Profili su mjereni s razmakom od 1 m. Izmjereno je 14 profila unutar sonde, orijentacije jugoistok-sjeverozapad.

Izmjerena su i tri kontrolna profila okomita na sondu, koji sežu do vanjskih zidina /Sl. 3/.

Obrada rezultata georadarskog mjerenja pokazala je prisutnost veće količine čvrstih, kamenih materijala, ali njihove koncentracije ne ukazuju na jasne antropogene strukture. Na tlocrtnim isječcima uočuju se grupacije čvrstih materijala na zapadnom dijelu sonde, ali njihove konture mogu se tumačiti jedino kao urušenja ili kameni nasipi /Sl. 4 i 5/.

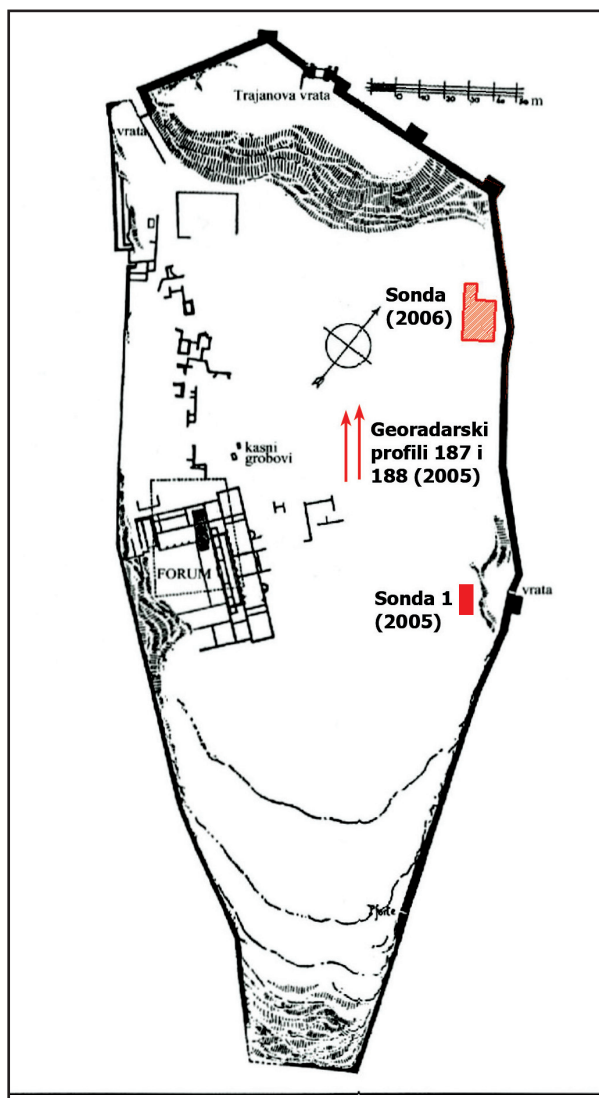
Studija pojedinačnih profila pokazala je da se ispod urušenja na zapadnom dijelu sonde pojavljuje horizontalna čvrsta struktura. Ta struktura nalazi se unutar okvira s isprekidanom linijom na tlocrtnim prikazima na sl. 4 i 5. na približnoj dubini od 2-2,5 m i najznačajnija je u kontekstu iskopavanja, tj. probnih arheoloških sondi. Prema dosadašnjem iskustvu takvi rezultati izmjereni su na vrlo čvrstim podnicama ili popločenjima ulica ili cesta.

Na sl. 6 prikazana su tri profila (file 298-300) na kojima je ta pojava označena strelicama. Ostale čvrste strukture predstavljaju geološke slojeve i urušenja.

Iz mjerenja koja su izvedena okomito na sondu i pružaju se s jugozapada

prema zidinama, izdvojili smo 2 profila /Sl. 7/. Prvi (file 302) /vidi sl. 3/, koji se proteže uz sjeverni rub georadarske sonde, prikazuje odnos geološke podloge i urušenja vanjskog zida ili bedema (odvojen crnom vertikalnom linijom), i drugi (file 304) na kojem se umjesto čvrste podloge pojavljuje veća količina usitnjenoga mekšeg materijala.

Taj drugi profil (file 304) nalazi se na mjestu gdje je pretpostavljeni otvor u bedemu, tj. vrata, pa je moguće da je zasut miješanim građevinskim materijalom, kamenom i humusom. Također je označena linija na kojoj se razgraničava površinski sloj humusa i usitnjenoga građevinskog materijala od geoloških ili drugih slojeva.



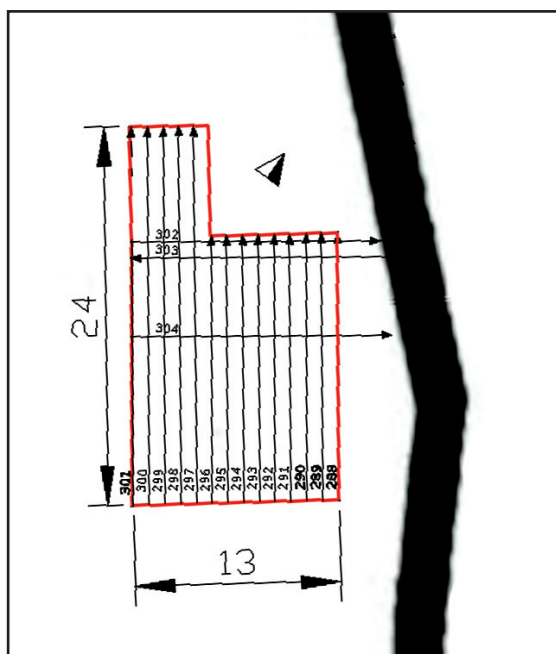
Sl. 1. Položaj georadarske sonde iz 2005. i 2006.

Fig. 1. The position of the geo-radar trenches from 2005 and 2006.



Sl. 2. Georadarsko mjerenje antenom od 200 MHz

Fig. 2. Geo-radar measurement with a 200 MHz antenna



Sl. 3. Položaj profila u sondi

Fig. 3. The position of the profiles in the trench

Studija

Željeli bismo ukazati na neke smjernice budućih istraživanja i zaključke koji se nameću nakon istraživanja na Aseriji i drugim arheološkim lokalitetima radi što učinkovitije primjene ove geofizičke metode.

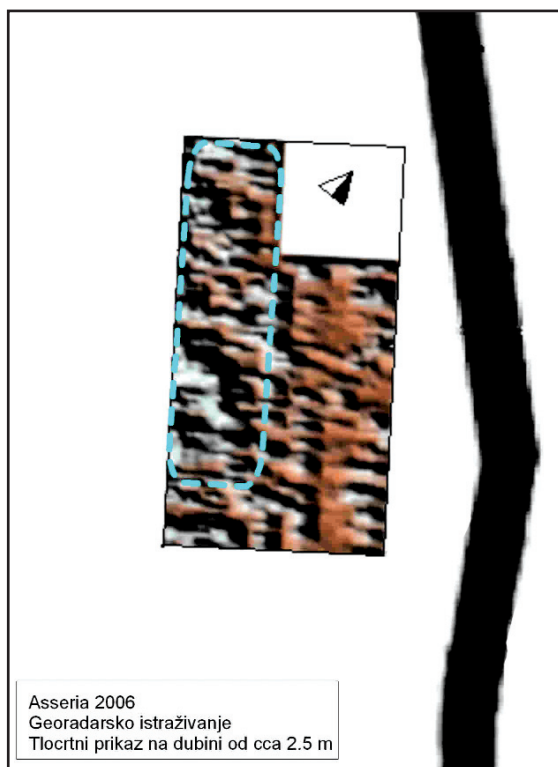
Prikupljanje osnovnih podataka

U cjelovitom pristupu i odabiru strategije geofizičkog istraživanja potrebno je uključiti slijedeće činjenice;

- postavljeni ciljevi i potrebe za geofizičkim istraživanjem
- arheološka problematika i poznavanje lokaliteta
- prethodni zračni snimci
- prethodna geofizička istraživanja i terenski pregledi

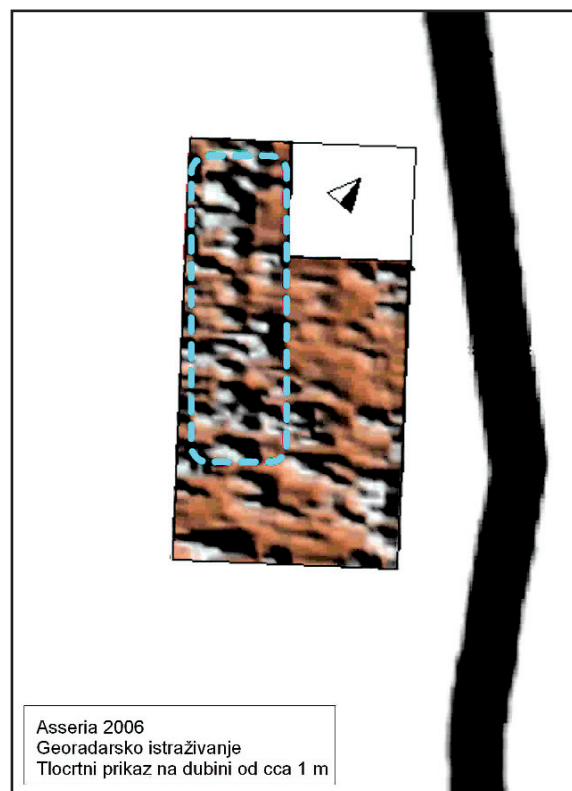
- trenutna uporaba zemljišta (lokaliteta)
- prethodna uporaba zemljišta (lokaliteta)
- sastav čvrste geološke podloge
- ostale geomorfološke i topografske odlike terena
- stupanj pristupačnosti terena
- vrijeme, financijska sredstva i stručna ekipa dostupni za istraživanje (SCHMIDT 1998).

Također, sastav tla bit će od presudnog značenja za moguće interpretacije arheoloških nalaza pod zemljom. Georadar daje najbolje rezultate na površinama pokrivenim snjegom, ledom, suhim pjeskovitim tlima,



Sl. 5. Tlocrtni prikaz rezultata georadarskog istraživanja 2006.

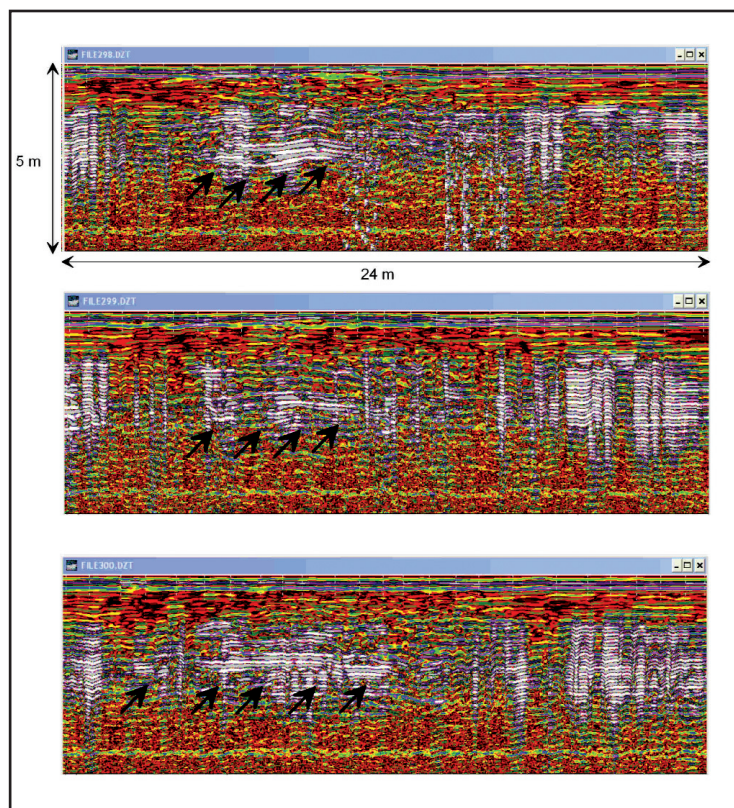
Fig. 5. Plan of the results of geo-radar investigation in 2006.



Sl. 4. Tlocrtni prikaz rezultata georadarskog istraživanja 2006.

Fig. 4. Plan of the results of geo-radar investigation in 2006.

humusnim tlima, čvrstim stjenama (ili usitnjanim, poput mješanih slojeva s građevinskim materijalom) te površina pokrivenih betonom ili asfaltom. Metoda je uglavnom neprikladna za terene koji ispod površine sadrže slojeve s velikom elektroprovodljivošću. To su prvenstveno mokre gline i morska voda (BURGER, SHEENAN & JONES 2006). Određeni problem predstavljaju i tereni u neposrednoj blizini mora koji su izloženi stalnim osoljavanjem kao na Palagruži, premda je u tom slučaju presudan sastav tla (KIRIGIN, KATUNARIĆ & SKELAC 2004).



Sl. 6. Rezultati georadarskog istraživanja 2006. - radarski profili 298-300

Fig. 6. The results of geo-radar investigation in 2006; radar profiles 298-300

gne tlo. Već u sljedećem trenutku mjerenja antena je opet na tlu i tako se dobiva isprekidana snimka koju je teže interpretirati. Kamenje ili druge prepreke veće od 5 do 10 cm već su dovoljna prepreka za kvalitetno mjerenje, premda se intervencijama, npr. nasipanjem, mogu popraviti.

Sonda iz 2006. na Aseriji bila je na takvom mjestu koje je bilo vrlo teško dovesti u optimalno stanje. Takav postupak zahtijevao bi niveliranje navoženjem zemlje ili pijeska, što u trenutku istraživanja nije bilo izvedivo.

Koliko veliku površinu istražiti?

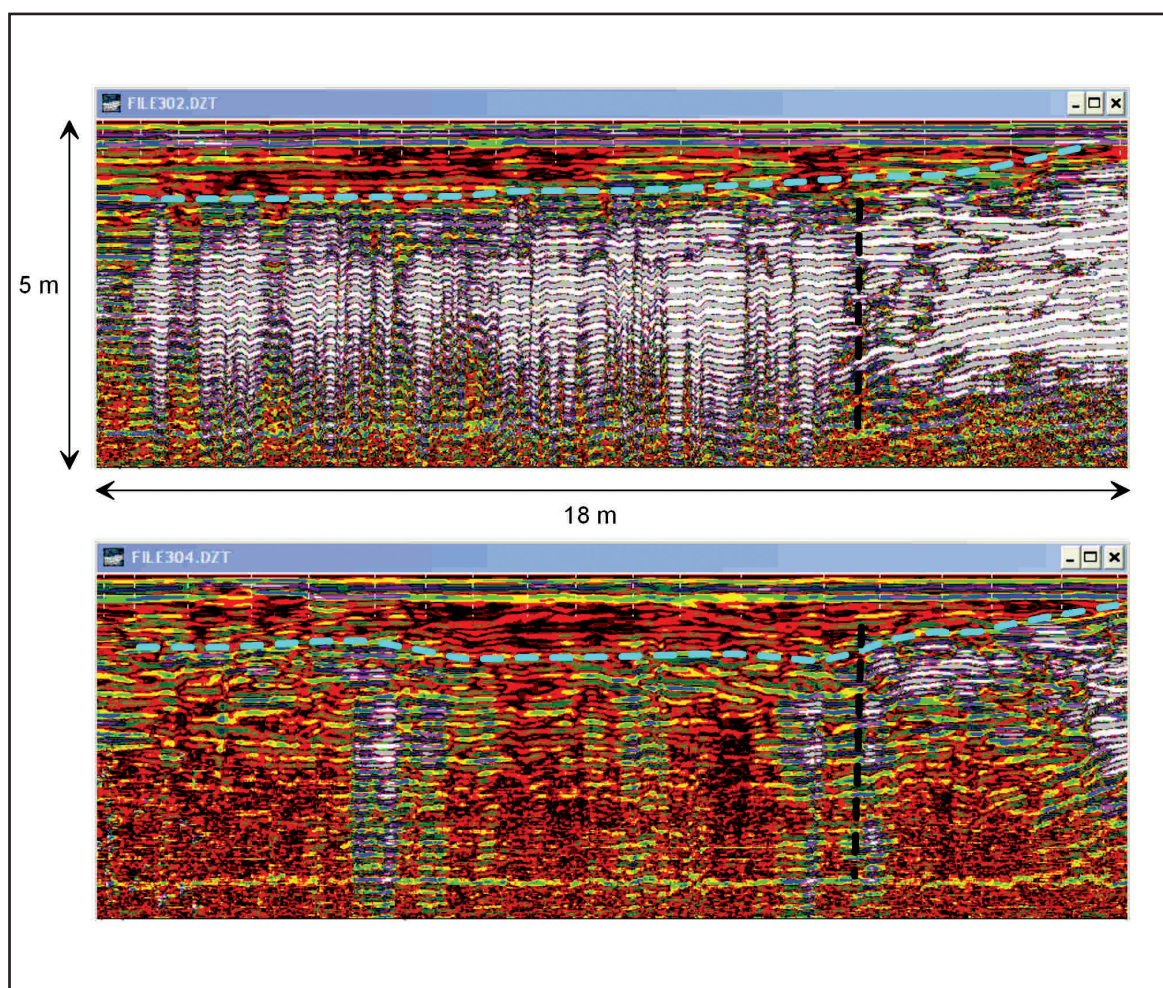
Ako izdvojimo financijsku komponentu koja je osnovni uvjet za svako istraživanje, tehničko pitanje koliku površinu treba istražiti ima nekoliko odgovora.

Male georadarske sonde u pravilu se mjere tamo gdje je istraživačima ograničeno područje istraživanja. Takvi su uvjeti špiljski lokaliteti, istraživanja unutar objekata – crkava, kuća, podruma, tumula, ili unaprijed određenih manjih arheoloških sondi omeđenih drugim prirodnim ili umjetnim fizičkim preprekama.

Kako pripremiti prostor za georadarsko mjerenje?

Želimo li što bolje pripremiti prostor za georadarsko mjerenje, potrebno je imati na umu sljedeće; što ravnija površina, to veća kvaliteta radarskog snimanja.

Površine pokrivene kamenim popločenjem, asfaltom, betonom, ili ravne travnate, zemljane ili pješčane površine svakako su najbolji preduvjet za kvalitetno mjerenje. Neravne površine s puno kamenja, korijenja, kanala ili sličnih prepreka smanjit će u većoj ili manjoj mjeri jasnoću snimke tj. povećat će količinu šumova. Razlog tome je činjenica da se georadarska antena vuče po tlu, a prepreke ju fizički podižu. Na tim mjestima antena nije u kontaktu s tlom već je praktički u zraku i dio signala gubi se prije nego dose-



Sl. 7. Rezultati georadarskog istraživanja 2006. - radarski profili 302 i 304

Fig. 7. The results of geo-radar investigation in 2006; radar profiles 302 and 304

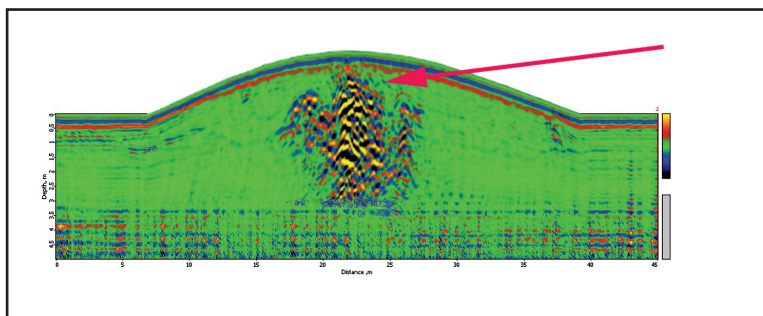
Druga je okolnost je ciljano traženje određene infrastrukture prije samog istraživanja, npr. recentne instalacije struje, vodovoda, kanalizacije. Ciljano se može tražiti i određena arheološka pojava koja je jedinstvena u odnosu na ostale pa je lakše uočljiva na radarskim snimka; kanali, tuneli, zidovi, veće količine kovina, zatrpani bunari itd.

Pri ciljanom traženju izraženo je preventivno djelovanje kojemu je svrha povećanje sigurnosti arheološkog istraživanja.

Nasuprot tome, velike sonde omogućuju bolji pregled veće površine pa prema tome i bolju interpretaciju. Kako se analiza rezultata temelji na vizualnom interpretiranju georadarskih snimaka, kontekst istih bit će jasniji jer ćemo objekte; zidove, ceste, kuće itd lakše dovesti u logične odnose. Neki istraživači smatraju da je površina od 10 000 m², ili veća optimalna za pravilnu interpretaciju arheoloških pojava (GAFFNEY & GATER 2003).



Sl. 8. Grobni humak kod Privlake
Fig. 8. Burial mound near Privlaka



Sl. 9. Georadarski profil u smjeru istok-zapad, ostatci kamene strukture
Fig. 9. Geo-radar profile east-west, remains of a stone structure

predstavljala ostatke grobne komore ili više komora.¹

Kako pokazuje strelica na sl. 9, otkrivena je čvrsta, vjerojatno kamena struktura u promjeru od 10 m, ostatak humka pokazuje se kao jedinstveni medij zemljani nasip.

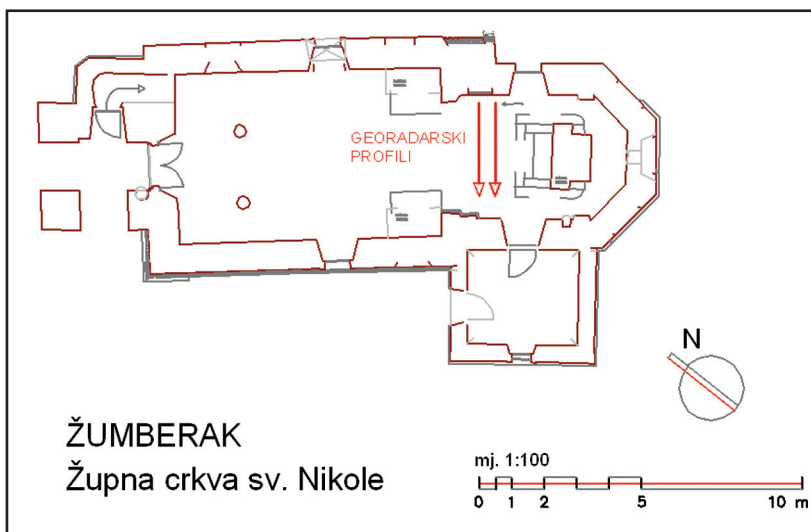
U ovom slučaju malo istraživanje dalo je zadovoljavajući podatak o tome gdje i u kolikom opsegu se može očekivati ostatak grobne arhitekture pa se istraživanje moglo isplanirati u skladu s geofizičkim rezultatima.

¹ Istraživanje je provedeno u svibnju 2006. godine kao prethodnica sustavnom arheološkom istraživanju koje je proveo Odjel za arheologiju Filozofskog fakulteta u Zadru pod vodstvom prof. dr. Marijanovića.

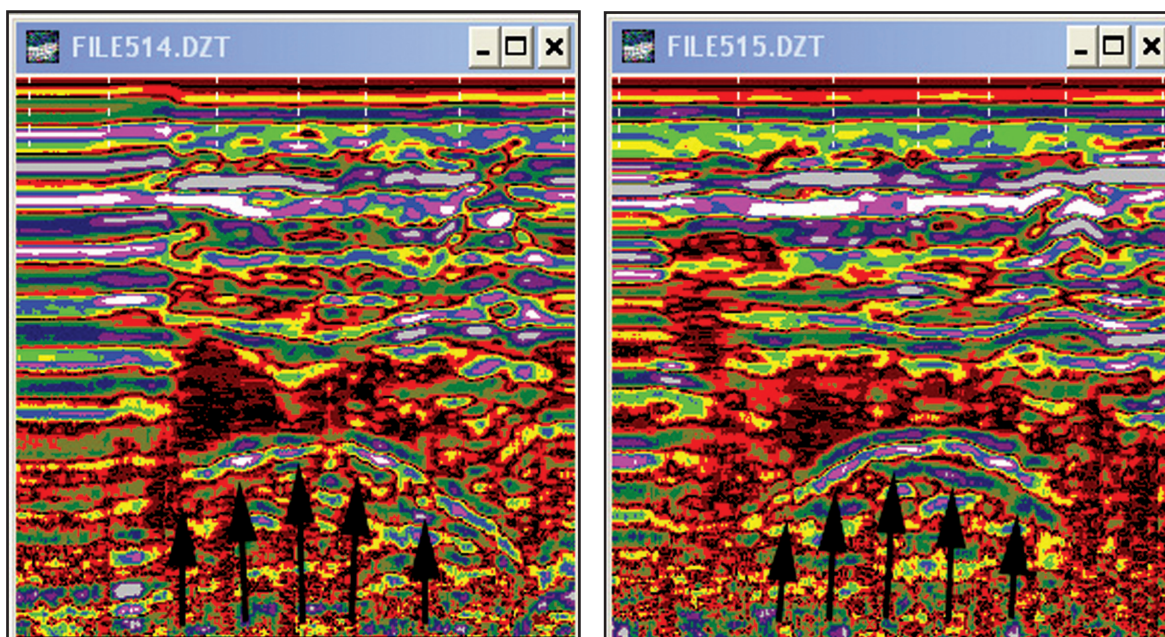
Istraživanje unutrašnjosti crkve sv. Nikole u Žumberku

Istraživanja u župnoj crkvi sv. Nikole u Žumberku omeđena su vanjskim gabaritima crkve /Sl. 10/.

Tijekom kolovoza 2006. provedena su georadarska istraživanja kao dio sustavnih istraživačkih restauratorskih i konzervatorskih rado-



Sl. 10. Tlocrtni položaj georadarskih profila
Fig. 10. Plan of the position of geo-radar profiles



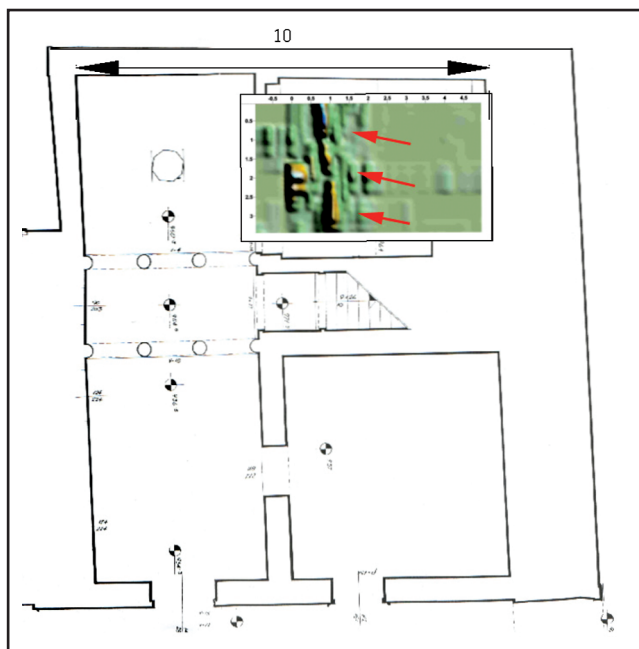
Sl. 11 i 12. Georadarski profili na kojima je vidljiva lučna struktura
Fig. 11 and 12. Geo-radar profiles with visible harbour structures

va.² U prednjem dijelu apside, neposredno ispred oltara, dva paralelna radarska profila /Sl. 11 i 12/ otkrila su postojanje polukružne horizontalne strukture koja veličinom i kotom na kojoj se nalazi korespondira s bačvastim svodom kosturnice otkrivene sa sjeverne

² Istraživanja provodi HRZ (Odjel za nepokretnu baštinu pod ravateljstvom mr. Vladanke Milošević).



Sl. 13. Istraživanje u podrumu kuće Andrić u Splitu s antenom od 400 MHz
 Fig. 13. Investigation in the cellar of the Andrić house in Split with a 400 MHz antenna



Sl. 14. Rezultati istraživanja – tlocrtni prikaz
 Fig. 14. Investigation results – plan

strane apside, pa je time otkriveno postojanje još jedne prostorije neposredno ispod sadašnje crkve, tj. njezine apside.

Istraživanje u podrumu kuće Andrić u Dioklecijanovoj palači u Splitu

Pri obnovi kuće Andrić na poljani kraljice Jelene u podrumima je provedeno georadarsko istraživanje zbog opravdanog očekivanja ostataka rimske arhitekture /Sl. 13/.

Istraživanje je potvrdilo postojanje ostataka starije arhitekture, između ostalog rimske cisterne, što je omogućilo daljnje arheološko istraživanje³ /Sl. 14 i 15/.

³Istraživanje je proveo Muzej grada Splita pod vodstvom arheologinje Elvire Šarić

Primjeri velikih sondi

Caska

Već nekoliko godina u Cascki kod Novalje na otoku Pagu provodi se sustavno zaštitno istraživanje rimskog naselja, nekropole i luke.

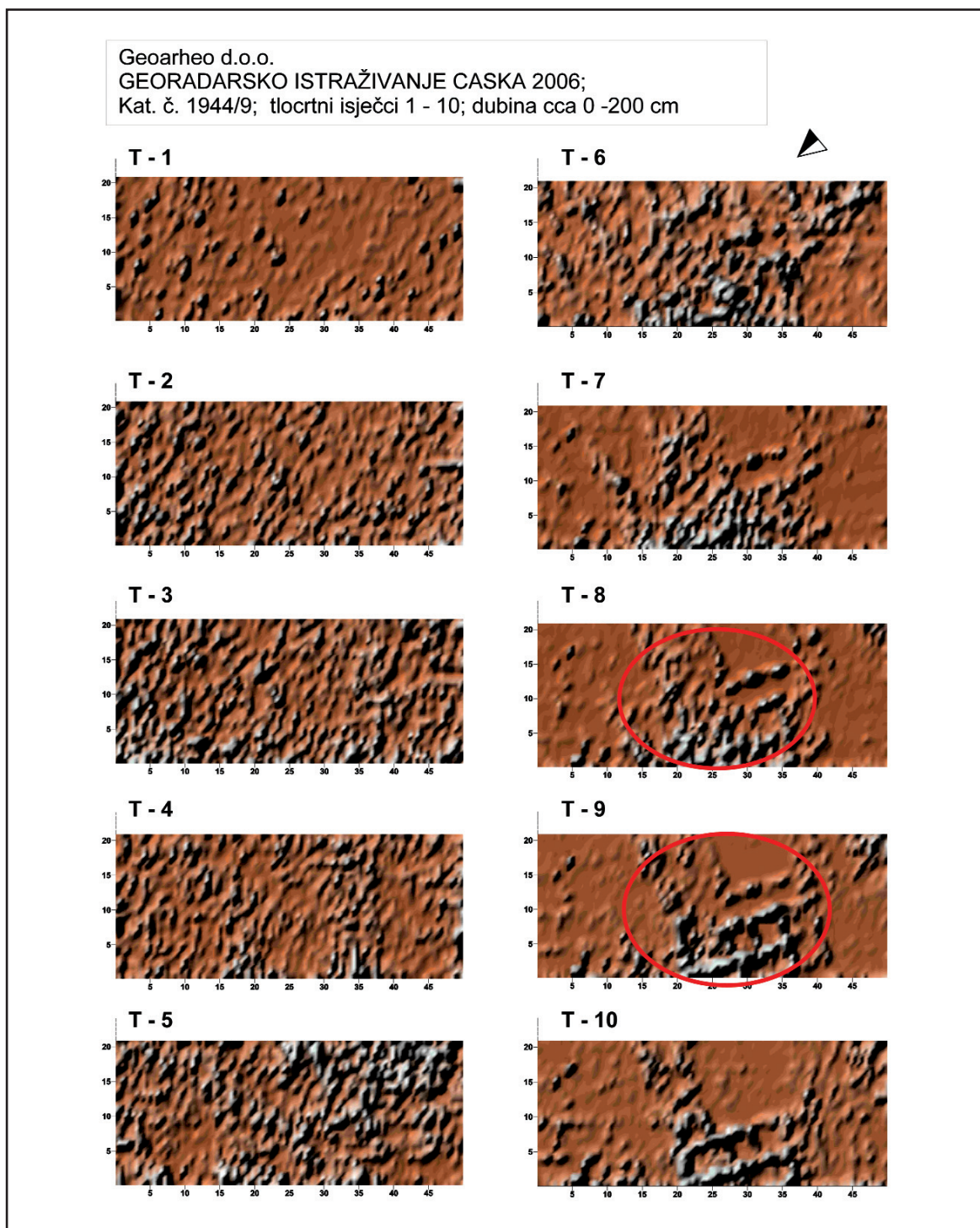
Kako se areal naseobine može samo naslutiti po ostacima zidova i drugih arheoloških ostataka neposredno uz more i u moru, započelo se s georadarskim istraživanjima na povišenim terasama koje okružuju casku uvalu.



Sl. 15. Rimski cisterna otkrivena na mjestu georadarskog istraživanja
Fig. 15. The Roman cistern discovered at the site of geo-radar investigation



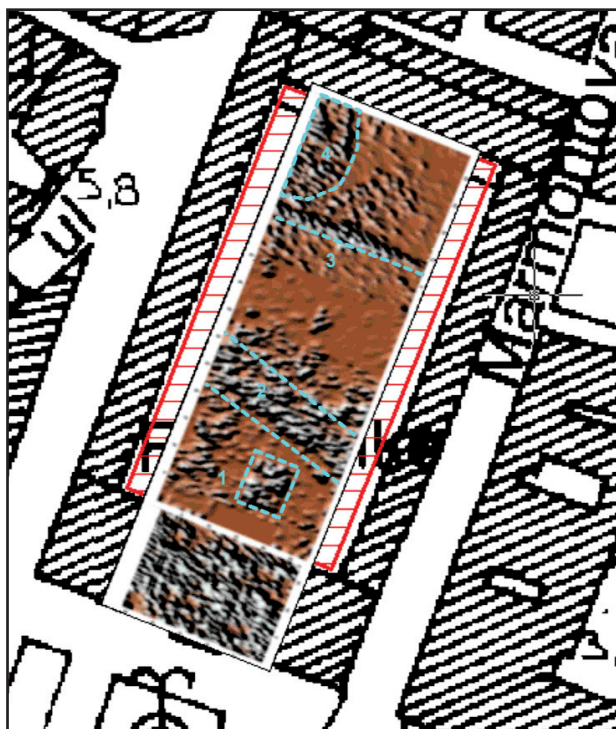
Sl. 16. Ortofoto dijela uvale Caske s prikazom položaja rezultata georadarskog istraživanja
Fig. 16. Part of Casca Bay with a plan of the results of geo-radar investigation



Sl. 17. Caska; tlocrtni isječci s vidljivim ostacima rimske arhitekture

Fig. 17. Caska; plan sectors with visible remains of Roman architecture

Georadarska sonda na parceli 1944/9 obuhvaća 1100 m², dimenzija 50x21 m, dala je rezultate koji otkrivaju veću količinu zidova prostorija koje po tlocrtu i veličini mogu predstavljati *villu rusticu* a prema nekim indicijama možda i forum /Sl. 16/⁴. Na tlocrtima je prikazan dubinski slijed od površine do ostataka arhitekture, svaki sljedeći tlocrt od T1-T10 približno je 20 cm dublje od prethodnoga. Nakon površinskog sloja zemlje na većim dubinama pojavljuju se obrisi; isprva amorfni, zatim jasni linearni obrisi koji predstavljaju ostatke zidova /Sl. 17/.



Sl. 19. Prokurative; tlocrtni prikaz rezultata istraživanja
Fig. 19. Prokurative; plan of the results of investigation



Sl. 18. Georadarsko istraživanje na Prokurativama antenom od 200 MHz

Fig. 18. Geo-radar investigation at the Prokurative in Split with a 200 MHz antenna

Prokurative

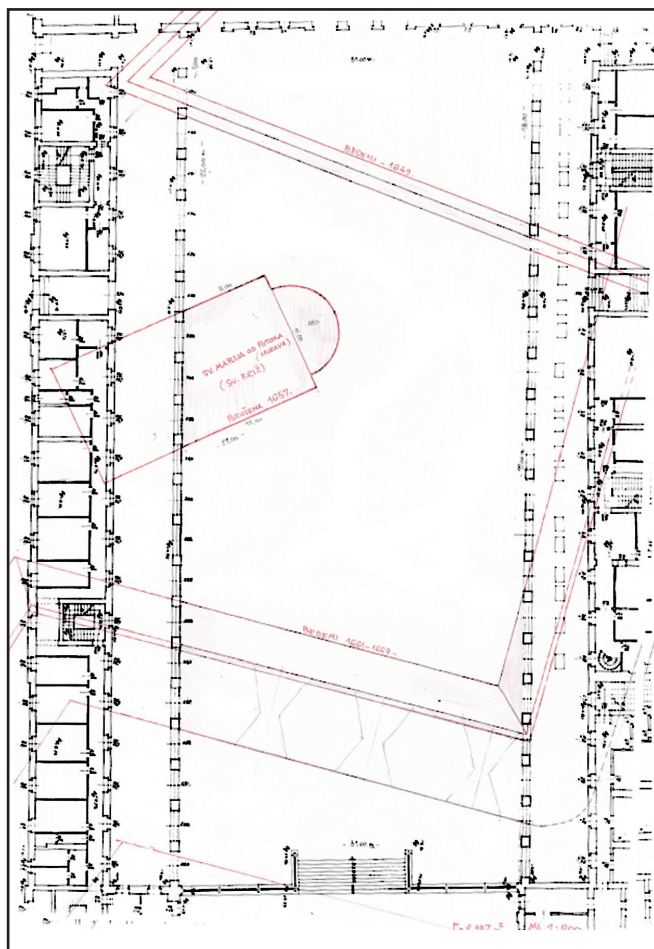
Georadarsko istraživanje na Prokurativama u Splitu⁵ provedeno je radi utvrđivanja arheološkog potencijala, za potrebe planske preinake ili intervencije na objektu /Sl. 18/.

Radarsko snimanje obavljeno je tijekom kolovoza 2006., sonda je pravokutna oblika površine 2800 m².

Rezultati su pokazali nekoliko većih čvrstih pojava koje su nakon obrade i usporedbe s poznatim podacima interpretirani.

⁴G. SKELAC, 2006., referat Istraživanje rimskog gospodarskog kompleksa u Caski kod Novalje na otoku Pagu, 12. Međunarodno arheološko savjetovanje "Vinogradarstvo i maslinarstvo od prapovijesti do srednjeg vijeka", Pula, 21. -25. 11. publikacija u pripremi.

⁵G. Skelac, 2006., referat: Geofizička istraživanja u Splitsko - dalmatinskoj županiji; HAD, *Znanstveni skup Arheološka istraživanja u Cetinskoj krajini*, Sinj, 10. – 13. listopada 2006. publikacija u pripremi



Sl. 20. Pretpostavljeni položaj fortifikacija i nekadašnje crkve Gospe od Potoka

Fig. 20. Hypothesized position of the fortification and the former Church of Our Lady of the Stream

osnovni pokazatelji arheoloških potencijala, dakle kao osnova za strategiju istraživanja.

Na splitskoj rivi arheološke sonde postavljene su prema rezultatima georadara i dale su dobre rezultate. Ta istraživanja još su u tijeku i poslužit će kao referenca za korelaciju georadarskih istraživanja i arheoloških iskopavanja u specifičnim okolnostima antičke, srednjovjekovne i novovjekovne luke, čiji su ostatci pronađeni ispod recentne rive.

⁶ Na Coronellijevu kartu ucrtan je položaj Prokurativa, a na osnovi georadarskog mjerenja potvrđen je i korigiran položaj bedema (Dokumentacija Ministarstva kulture, KO Split).

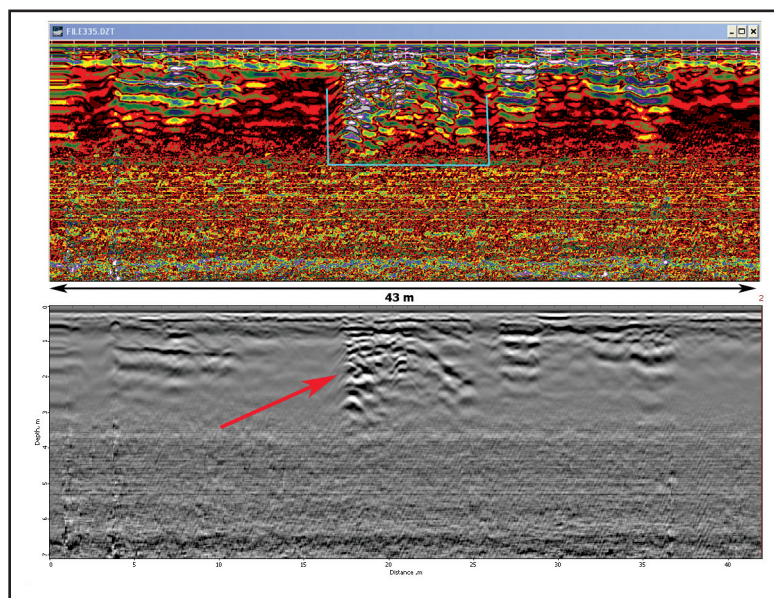
Na sl. 19 pod brojem 1. ostaci postolja obeliska, 2. ostaci obrambenoga gradskog bedema iz 1669., 3. infrastruktura – čelična cijev kanalizacije, 4. mogući ostaci crkve sv. Marije od potoka ili ruševina nekoga drugog objekta /Sl. 20/⁶ (KOZLIČIĆ, 1995).

Najveći i u arheološkom smislu najvažniji nalaz je ostatak obrambenog bedema koji veličinom i gradnjom korespondira s bedemom koji je vidljiv na vrhu Marmontove ulice, uz pretpostavku da je ovaj koji je pronađen radarom djelomično uništen pri izgradnji Prokurativa /Sl. 21/.

Osim ovdje navedenih istraživanja treba napomenuti da je tijekom 2006. godine u Splitu izmjereno 4600 m² na splitskoj rivi, zatim na parking u Svačićevoj ulici 3000 m², u Saloni unutar episkopalnog centra 2000 m², kod Trilja na rimskom vojnom logoru u Gardunu 1000 m². Sva ta istraživanja dala su rezultate koji su kartirani i služe kao

Sl. 21. Georadarski profili na kojima su vidljivi ostatci obrambenog bedema vjerojatno iz 1669. god.

Fig. 21. Geo-radar profiles with visible remains of the defensive wall probably from 1669



Projekt sustavnog istraživanja

Na osnovi dosadašnjih geofizičkih istraživanja na Aseriji, kao i primjera s drugih lokaliteta, pripremljen je plan za nastavak istraživanja.

Kako je čitav areal lokaliteta unutar zidina i oko njih pod zaštitom i pod sustavnim arheološkim istraživanjima, predlaže se i sustavni pristup geofizičkim istraživanjima većih površina.

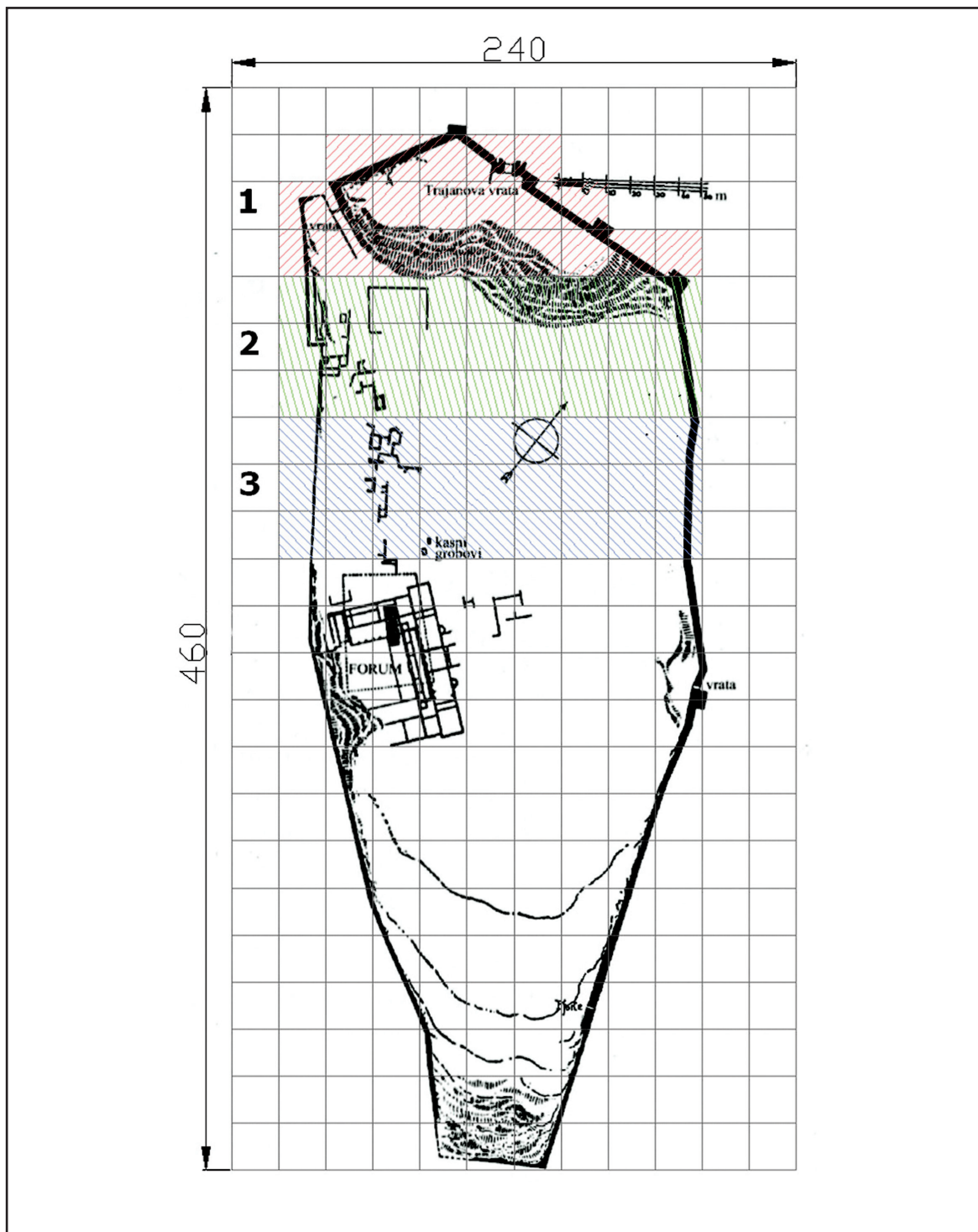
Potrebno je čitav lokalitet smjestiti u jedinstvenu geodetsku mrežu, podijeliti na zone i periodički, kada vremenski uvjeti dopuštaju, snimati dio po dio lokaliteta /Sl. 22/.

Predložena je mreža s kvadrantima 20x20 m, unutar koje se može obraditi i veći broj kvadranata na jednom ili više mjesta, a važno je da se rezultati smještaju u jedinstvenu mrežu i postupno pokrivaju čitavu površinu lokaliteta.

Predviđene faze obuhvaćaju približno 10 000 m², ili 25 kvadranata, što bi bila godišnja količina istraživanja. Treba uzeti u obzir da će određeni postotak površine biti neprimjeren istraživanju zbog izgrađenih objekata ili nepristupačnosti, strmine i dr.

Imajući na umu veličinu lokaliteta koja je približno 80 000 m², za provedbu ovog plana trebalo bi osam godina.

Takav pristup velikim istraženim površinama dat će najbolju sliku arhitektonskih potencijala lokaliteta tako velikih dimenzija.



Sl. 22. Teren postavljen u geodetsku mrežu i predloženi plan istraživanja po etapama
 Fig. 22. The terrain organized in a geodetic network and the suggested plan of investigation by phase.

Literatura

- BURGER, H. R., SHEENAN, A. F., JONES, C. H., 2006. – H. Robert Burger, F. Anne Sheenan and Craig H. Jones, *Introduction to Applied Geophysics, Exploring the shallow subsurface*, W. W. Norton & company Inc. New York USA, 524 – 525.
- CONYERS, L. B., 2006., – L. B. Conyers, Ground Penetrating Radar Techniques to Discover and Map Historic Graves, *Historical Archaeology*, 40 (3), 64 – 73.
- GAFFNEY, C., GATER, J., 2003., – C. Gaffney, John Gater, *Revealing the buried past, Geophysics for Archaeologists*, Tempus Publishing ltd. Stroud, Gloucestershire UK, 88 – 91.
- KIRIGIN, B., KATUNARIĆ, T., SKELAC, G., 2004., – B. Kirigin, T. Katunarić, G. Skelac, Palagruža 2003, Preliminarni izvještaj s arheoloških iskopavanja, *Opuscula Archaeologica* 28, Zagreb, 207 – 220.
- KOZLIČIĆ, M., 1995., – M. Kozličić, *Kartografski prikazi hrvatskoga Jadrana, Izbor karata, planova i veduta do kraja 17. stoljeća*, Zagreb, plan Splita, Coronelli 1688, 261 – 262
- SCHMIDT, A., 1998., – Armin Schmidt, *Geophysical data in Archaeology: A Guide to Good Practice*, Oxbow books, Oxford G. B., 6 – 9.
- SKELAC, G., 2005., – G. Skelac, Prva geofizička istraživanja na Aseriji, *Asseria*, 3, Zadar, 129 – 140.