

**GEARH d.o.o.**

Radvanjska 13  
2000 Maribor  
Slovenija



<https://gearh.si/>

GSM: 00 386 41 580 498

Email: [brankomusic1@yahoo.com](mailto:brankomusic1@yahoo.com)

[barbarahorn1@gmail.com](mailto:barbarahorn1@gmail.com)

[info@gearh.si](mailto:info@gearh.si)

## **IZVJEŠĆE O GEOFIZIČKIM ISTRAŽIVANJIMA**

**na lokalitetu**

**KNIN  
STARA TRŽNICA**

### **Naručitelj istraživanja**

**Grad Knin**

Dr. Franje Tuđmana 2

22300 Knin

Republika Hrvatska

### **Autor izvješća:**

doc. dr. Branko Mušič, univ. dipl. inž. geol.

**GEARH** D. O. O.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "B. Mušič", is written over the GEARH logo.

### **Stručne suradnice:**

Eline Nas, mag. arheol.

Breda Zorec, univ. dipl. arheol.

U Mariboru 13.12.2019

## UVOD

Osnovni je cilj geofizičkih istraživanja primjenom georadara na području Stare tržnice u Kninu (**slike 1 i 2**) bio utvrditi arheološki potencijal tog područja u fazi pripreme projektne dokumentacije za građevinske zahvate za preuređenja tržnice. Georadarskom smo metodom željeli dobiti tlocrtne prikaze ostataka arhitekture nekadašnjih objekata na tom prostoru do dubine ca. 2 m ispod današnje površine. Radi se o tipičnoj urbanoj sredini u kojoj možemo očekivati brojne građevinske faze sa slojevima urušavanja i izravnavanjima terena za nove izgradnje. Uslovi za georadarska istraživanja su bili po pitanju stanja današnje površine dosta nepovoljni. Fizičke prepreke poput betonskih stolova, drveće i promet u mirovanju su na nekim mjestima onemogućavali georadarska mjerenja ali na osnovu dobivenih rezultata možemo zaključiti, da to nije bitno utjecalo na rezultate istraživanja.

Na osnovu povijesnih činjenica se može zaključiti, da se radi o kompleksnoj urbanoj građi u glavnom od čvrstih materijala (opeka i kamen). To su po pravilu najpovoljniji materijali za detekciju georadarom. Na zahtjevne uslove georadarskih istraživanja, pre svega u fazi obrade rezultata su uz fizičke prepreke na današnjoj površini utjecali i neki drugi faktori. Nepovoljne su bile samo okolnosti na većem dijelu područja Kv 1 (**slika 3**), gdje se u podlozi nalaze ploče od armiranog betona. Željezna mreža u betonu naime bitno utječe na “sipanje” georadarskih signala. Uz tu nepovoljnu okolnost su zamječen i područja iznimno visoke vlažnosti (v glavnom na području Kv 1) koja utječu na značajnu atenuaciju georadarskih signala s dubinom, pa su povratni signali puno slabiji i na nekim mjestima ne omogućavaju jasno prepoznavanje arheološki relevantnih signala.

Na većem dijellu istražene površine su bili uslovi za georadarska istraživanja ipak optimalni pa su rezultati georadarske metode po pitanju procjene arheološkog potencijala sasvim pouzdani. Geofizičkim istraživanjima sa primjenom georadarske metode obuhvatili smo površinu 1.250 m<sup>2</sup> (**slika 3**).



Slika 1. Položaj Stare tržnice u Kninu na Google Earth snimci.

Površine istražene georadarskom metodom su bile stavljene na aerofotografiju Državne geodetske uprave pomoću mjerenja sa GPS sistemom Leica Uno. Geodetska podloga za georadarska snimanja je u državnom geodetskom sustavu Republike Hrvatske HTRS96/TM (slike 8-12).



Slika 2. Pogled na Staru tržnicu u Kninu iz istočne strane (slika 3: Kv 1) gdje su u podlozi ploče od armiranog betona. Iz nekog je razloga na tom dijelu istražene površine na dubini ispod 0,5 m jako povišenom vlažnost.



Slika 3. Knin - Stara tržnica. Površina u iznosu 1.250 m<sup>2</sup> (Kv 1, 2 i 3) istražena georadarskom metodom i 7 referenčnih točak snimljenih sa GPS uređajem na aerofotografiji Državne geodetske uprave RH.

U terenskoj ekipi za geofizička istraživanja, koju je vodio doc. dr. Branko Mušič, dipl. inž. geol., direktor Gearh d.o.o., su bile stručne suradnice Eline Nas, mag. arheol. i Breda Zorec, univ. dipl. arheol.. Terenska mjerenja georadarskom metodom (*GSSI SIR3000, 400 MHz antena*) su bila sprovedena u terminu 5.-6.12.2019. Vremenski uslovi su bilo optimalni za georadarska istraživanja pa vlaga povišena vlažnost zemljišta nije štetno utjecala na rezultate georadarskih istraživanja. S obzirom na ciljeve istraživanja su bila mjerenja sprovedena u gustoj mreži mjerenja s udaljenošću između paralelnih profila 0,5 m s očitavanjem povratnih signala u razmaku samo 5 cm.

Za vrijeme georadarskih istraživanja je vršio nadzor nadležni arheolog dr. sc. Marko Sinobad, univ. dipl. arheol. (Kozervatorski odjel u Šibeniku).

## PRIMJENJENA GEOFIZIČKA METODA

### 1. Georadarska metoda

- Instrument: GSSI SIR3000 (400 MHz antena)

## PRIMJENA GEORADARSKE METODE I REZULTATI

S georadarom preko odašiljačke antene usmjerene u tlo, šalju se impulsi elektromagnetske energije. Sa prijemnom antenom istovremeno se registriraju vrijeme i amplitude povratnih valova. Uz poznavanje dielektričkih svojstva materiala ispod površine koja određuje brzinu širenja elektromagnetskih valova (EM) u istraživanom mediju, vrijeme povratnih signala izraženo u nanosekundama (ns) može se pretvoriti u dužinske jedinice, odnosno dubine.

Dio elektromagnetskih valova koji se odbije na nekom diskontinuitetu između dvaju različitih materijala (npr. zemljište/zid, zemljište/slojevi urušavanja i sl.) zavisi od kontrasta u dielektričnoj konstanti (u manjoj mjeri od konduktivnosti i magnetske permeabilnosti) i odnosa između valne dužine EM valova (određena s frekvencijom odašiljačke antene) i debljinom arheološke strukture. Prema tome se rezolucija i dubina zahvata georadarskog signala u praksi općenito opredelji izborom »centralne« frekvencije odašiljačke antene.

Kod antene centralne frekvencije 400 MHz s kojom smo istražili površinu na području Stare tržnice u Kninu u iznosu ukupne površine ca. 1.250 m<sup>2</sup> (**slika 4**), dubina zahvata u datim okolnostima iznosi približno 2,5 m uz dobru vertikalnu i lateralnu lučljivost, koja omogućava otkrivanje i slabije sačuvanih ostataka arhitekture i različite slojeve urušavanja. Osim frekvencije antene, na dubinu zahvata značajno utječe i koncentracija vode u zemljištu. Terensko snimanje je bilo obavljeno nakon kišnog razdoblja ali koncentracija vode u tlu zbog dobre propustnosti tla nije imala štetnog utjecaja na rezultate georadarskih istraživanja. Zbog toga su georadarski signali od arheoloških ostataka kontrastni i time sasvim jasni do dubine najmanje 2 m.

U arheološkoj je geofizici najprihvaćeniji način prikazivanje georadarskih rezultata sa horizontalnim rezovima odnosno tzv. „*time slices*“. Horizontalni rezovi su zapravo »vremenski rezovi« EM signala serije paralelnih i jednako udaljenih radarskih profila.

Rezultat tih »vremenskih rezova« je dijagram jednakih amplituda signala u istom vremenskom intervalu povratnih valova (**slike 5-7**). Obrade georadarskih signala i prikazi horizontalnih rezova u ovom izvješću su bile napravljene sa programskom opremom ReflexW 7.0 a rezultati su prikazani pomoću grafičkih mogućnosti GPR-SLICE 7.0. Na svim istraženim površinama (slika 3: Kv 1, Kv 2 i Kv 3) je bila udaljenost između georadarskih profila 0,5 m.



Slika 4. Snimanje georadarom GSSI SIR3000 sa 400 MHz antenom na zapadnom dijelu Stare tržnice u Kninu (foto: B. Mušič).

U arheološkoj praksi horizontalni rezovi georadarskih signala znače serije „tlocrta“ na odabranim dubinama. Za najrelevantnije intervale dubine za arheološku interpretaciju smo odabrali raspone dubina: 20-50 cm, 50-80cm, 80-110 cm, 110-130 cm, 130-160 cm i 160-190 cm. Ispod te dubine su povratni valovi georadarskih signala već preslabi za pouzdanu interpretaciju. Uzrok za to je najvjerojatnije visoka vlažnost zbog podzemnih voda. To je bilo štetno djelovanje podzemnih voda najizraženije na području Kv 1 dok na područjima Kv 2 i Kv 3 (**slika 4**), to nije bilo primjećeno.

Ostale slike u izvješću (**slike 8-12**) su napravljene na osnovu odabira arheološko relevantnih prikaza georadarskih signala na određenim dubinama. Osnovni kriterij kod odabira pojedinih horizontalnih rezova georadarskih signala su jačina povratnih signala i tlocrtna forma georadarskih signala. Tako smo izdvojili horizontalne rezove sa relativno jačim georadarskim signalima u linijama odnosno relativno pravilnijim tlocrtnim formama. Oboje ukazuje na arheološki izvor georadarskih anomalija.

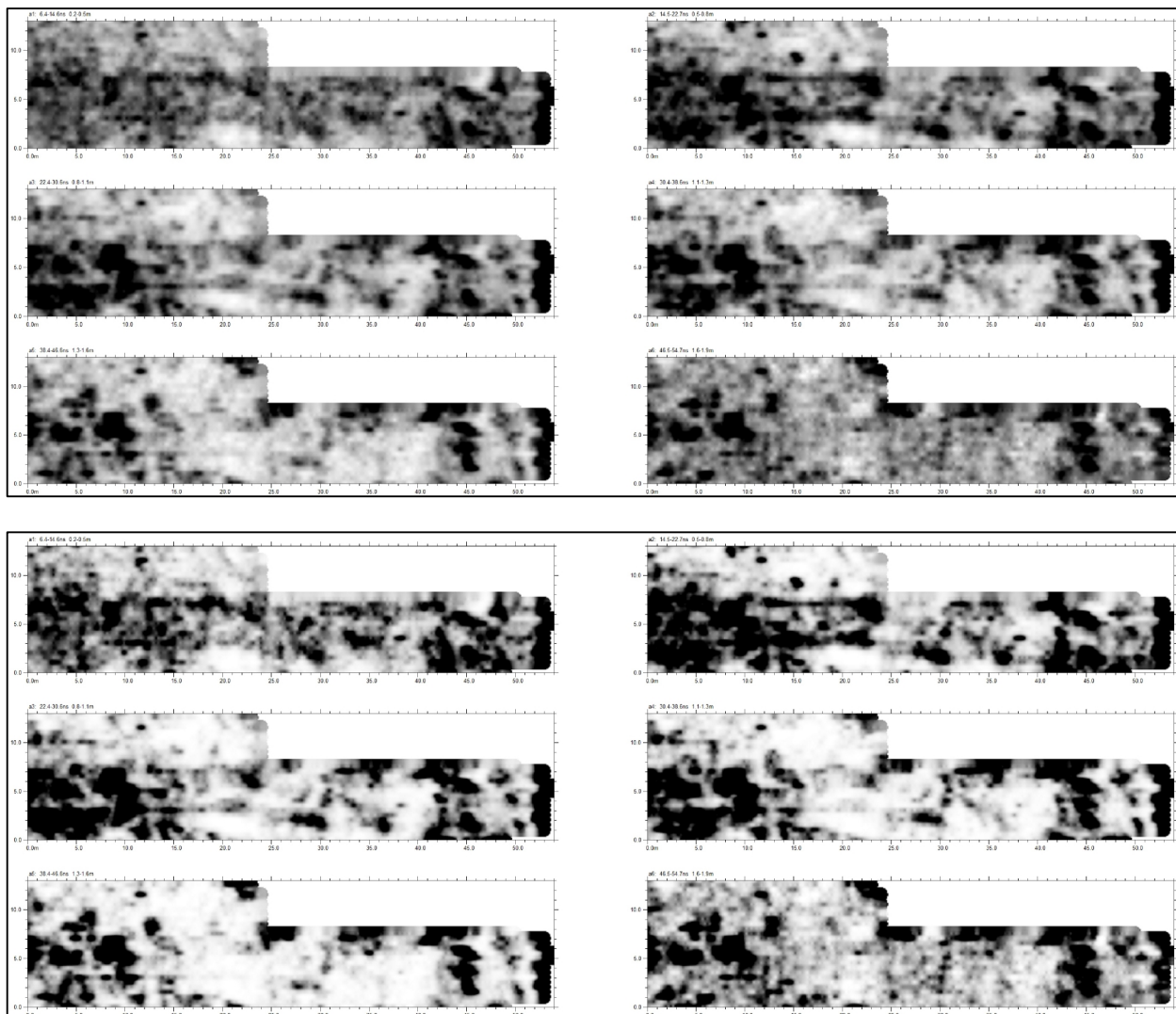
Horizontalni rezovi georadarskih signala na dubinama odabranim na osnovu najilustrativnijih pozitivnih rezultata su prikazani sa nijansama sivih tonova za vremenske intervale povratnih signala od 0 do 60 ns što odgovara dubini od cca. 2 m (**slike 5-7**). Za georeferencirani položaj izabranih horizontalnih rezova na aerofotografiji Državne geodetske uprave RH vidi **slike 8-12**.

Rezultati georadarskih istraživanja odnosno amplitude georadarskih signala su prikazani za izabrane intervale dubine u sivim tonovima sa linearnom skalom i nešto kontrastniji prikazi za svaki od istih intervala dubine i sa raspodjelom sivih tonova kvadratnom funkcijom (**slike 5-7**).

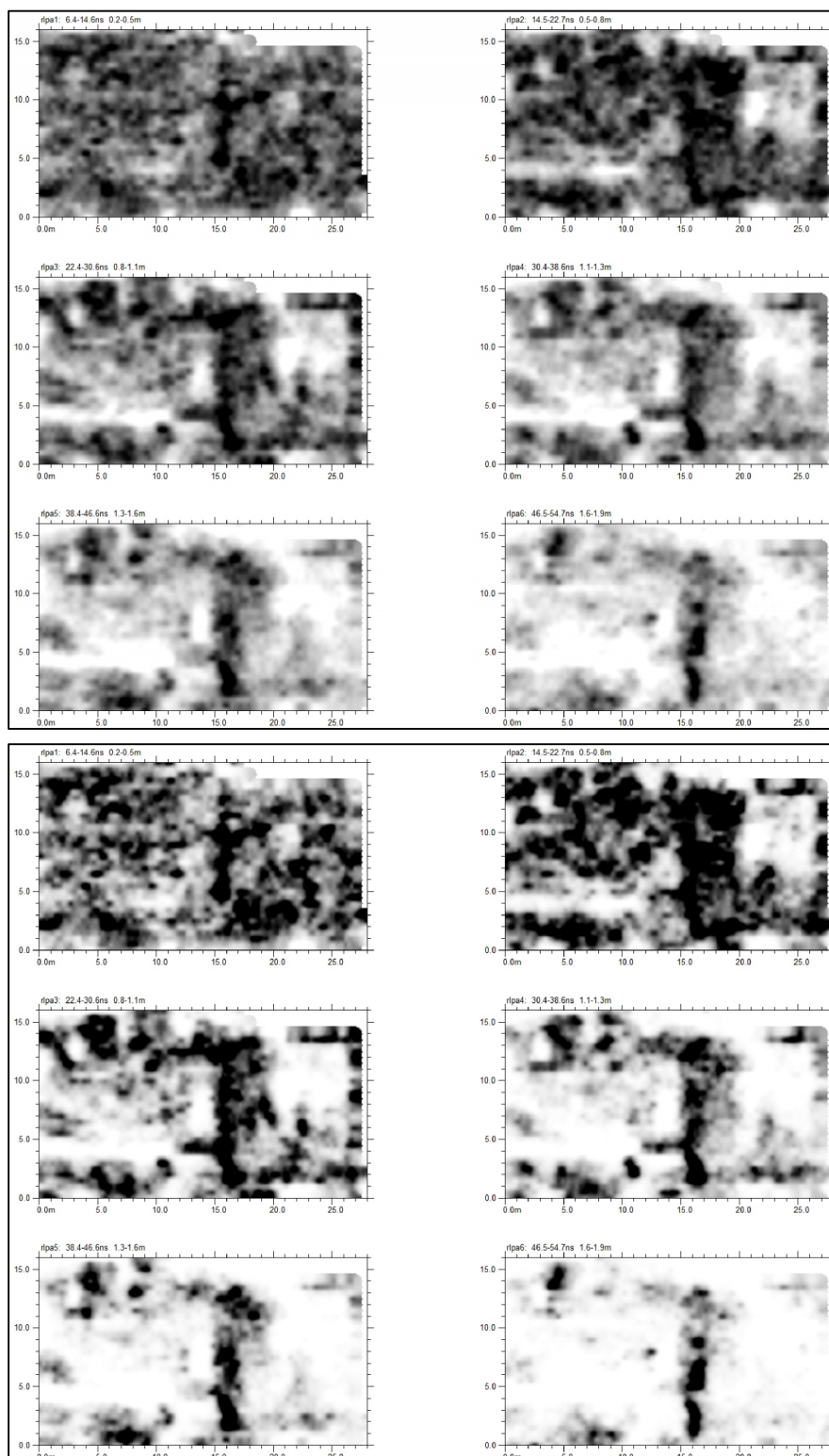
Na rezultatima georadarskih istraživanja prepoznajemo neke linije i područja više manje pravilnih tlocrtnih oblika relativno jačih georadarskih signala, koji ukazuju na ostatke arhitekture odnosno slojeve urušavanja.

Rezultati georadarskih istraživanja pokazuju veliku raznolikost u amplitudama, dubinama i tlocrtnim oblicima izmjerenih georadarskih signala. Tamnije linije i površine predstavljaju relativno jače signale od čvrstih struktura, kao što su npr. ostaci arhitekture i slojevi urušavanja. Interpretacija georadarskih signala na odabranim intervalima dubine naznačena je na **slikama 8-12**.

Na dubini do 0,5 m se radi o dosta kaotičnim georadarskim signalima koji su posljedica heterogenog materiala korištenog za izravnavanje površine. Najzahtevniji uslovi za georadarsko istraživanje su bili na području Kv 1 (**slike 3, 5 i 8-12**). Tome je nešto doprinjela ploča iz armiranog betona, koja prouzrokuje distorziju georadarskih signala i time nejasne forme reflektiranih georadarskih valova. Uz to je bila nepovoljna okolnost i trebamo pretpostaviti mogućnost, da ima tih nešto više od naznačenih na interpretaciji (**slika 8-12**). Na područjima Kv 2 i Kv 3 su bili uslovi za georadarska snimanja optimalni pa možemo rezultate smatrati jako pouzdanima do dubine od 2 m. Na svim prikazama interpretacije georadarskih istraživanja bijele linije naznačavaju jake, usmjerene linearne georadarske anomalije koje predstavljaju odaziv ostataka arhitekture ispod današnje površine.

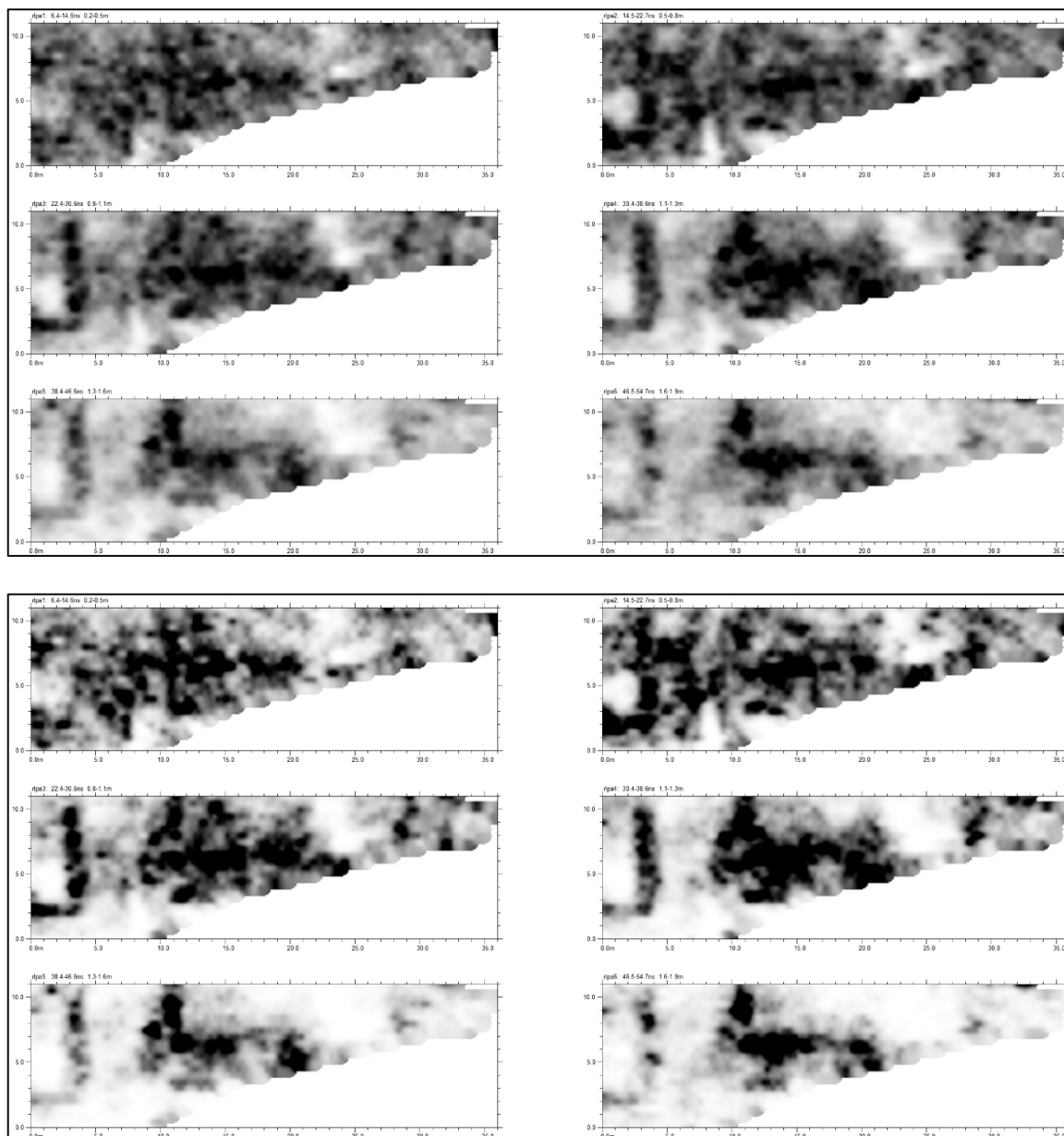


Slika 5. Knin-Stara tržnica: Kv 1. Rezultati georadarskih istraživanja antenom na intervalu dubine od ca. 0,2 do 1,9 m. Linearna skala sivih tonova (gore) in kontrastniji prikaz bojane palete za naglašavanje inače diskretnih georadarskih signala sa kvadratnom funkcijom (dolje). Za položaj istraženog područja vidi **sliku 3** a za interpretaciju **slike 8-12**. Tamnije linije predstavljaju visoke amplitude georadarskih signala od čvrstih struktura poput ostataka arhitekture od kamena odnosno opeke i slojeva urušavanja.



Slika 6. Knin-Stara tržnica: Kv 2. Rezultati georadarskih istraživanja antenom na intervalu dubine od ca. 0,2 do 1,9 m. Linearna skala sivih tonova (gore) in kontrastniji prikaz bojane palete za naglašavanje inace diskretnih georadarskih signala sa kvadratnom funkcijom (dolje). Za položaj istraženog područja vidi **sliku 3** a za interpretaciju **slike 8-12**. Tamnije linije predstavljaju visoke amplitude georadarskih signala od čvrstih struktura poput ostataka arhitekture od kamena odnosno opeke i slojeva urušavanja.





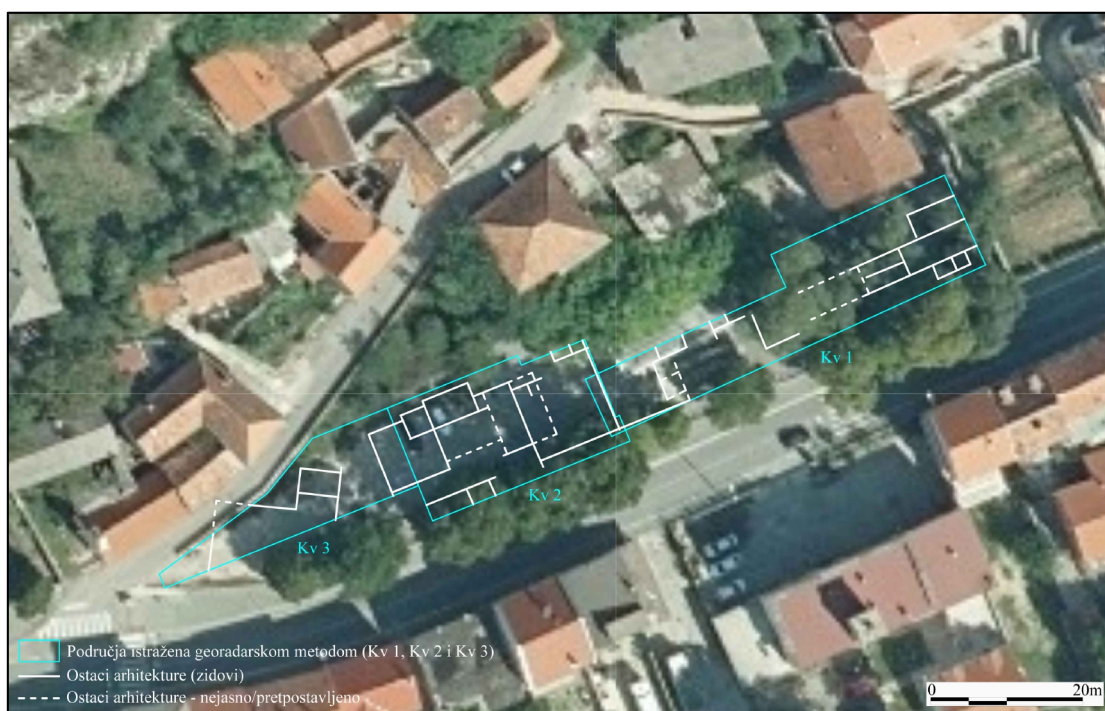
Slika 7. Knin-Stara tržnica: Kv 3. Rezultati georadarskih istraživanja antenom na intervalu dubine od ca. 0,2 do 1,9 m. Linearna skala sivih tonova (gore) in kontrastniji prikaz bojane palete za naglašavanje inace diskretnih georadarskih signala sa kvadratnom funkcijom (dolje). Za položaj istraženog područja vidi **sliku 3** a za interpretaciju **slike 8-12**. Tamnije linije predstavljaju visoke amplitude georadarskih signala od čvrstih struktura poput ostataka arhitekture od kamena odnosno opeke i slojeva urušavanja.



Slika 8. Knin – Stara tržnica. Georadarski signali na intervalu dubine 0,5– 0,8 m na aerofotografiji Državne geodetske uprave R. Hrvatske (gore). Bijele linije naznačavaju jake, usmjerene linearne georadarske anomalije koje predstavljaju odaziv ostataka arhitekture ispod današnje površine (dolje). Najzahtevniji uslovi za georadarsko istraživanje su bili na području Kv 1. Tome je nešto doprinjela ploča iz armiranog betona, koja prouzrukuje deformaciju georadarskih signala a nepovoljna okolnost je i povišena vlažnost na dubini ispod 0,5 m. Predpostavljamo, da na tom području nismo uspjeli sasvim jasno prepoznati svih ostataka arhitekture, pa ih može biti više od naznačenih na interpretaciji rezultata georadarskih istraživanja (vidi i **slike 5-7**).



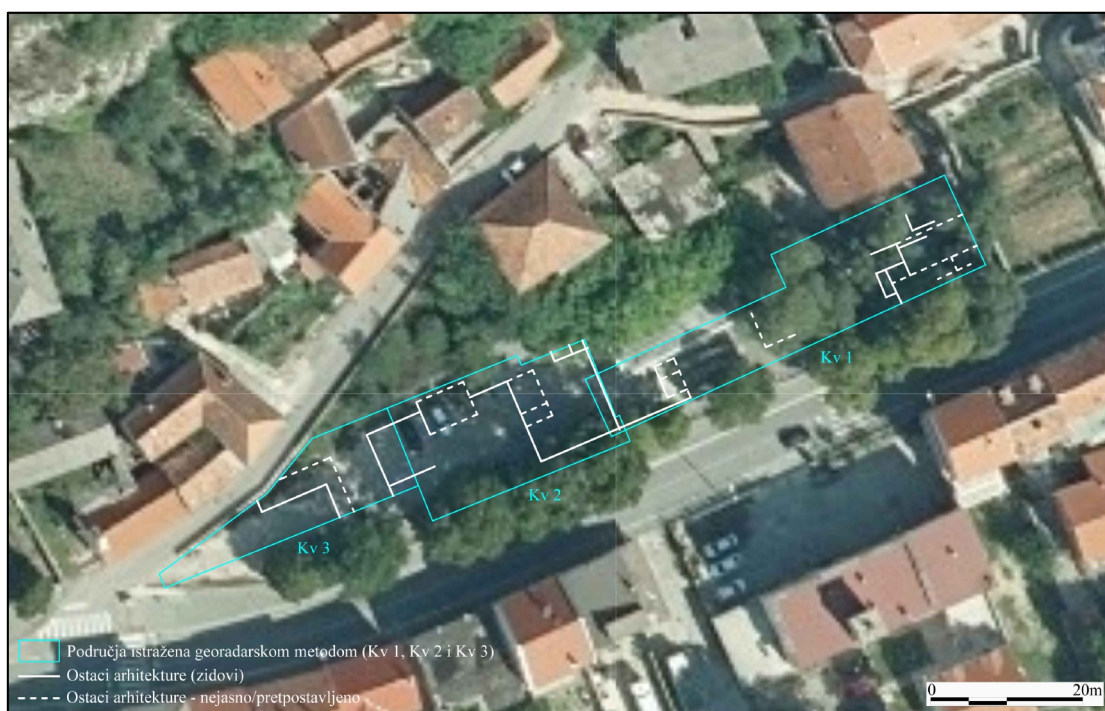
Slika 9. Knin – Stara tržnica. Georadarski signali na intervalu dubine 0,8– 1,1 m na aerofotografiji Državne geodetske uprave R. Hrvatske (gore). Bijele linije naznačavaju jake, usmjerene linearne georadarske anomalije koje predstavljaju odziv ostataka arhitekture ispod današnje površine (dolje). Najzahtevniji uslovi za georadarsko istraživanje su bili na području Kv 1. Tome je nešto doprinjela ploča iz armiranog betona, koja prouzrukuje deformaciju georadarskih signala a nepovoljna okolnost je i povišena vlažnost na dubini ispod 0,5 m. Predpostavljamo, da na tom području nismo uspjeli sasvim jasno prepoznati svih ostataka arhitekture, pa ih može biti više od naznačenih na interpretaciji rezultata georadarskih istraživanja (vidi i **slike 5-7**).



Slika 10. Knin – Stara tržnica. Georadarski signali na intervalu dubine 1,1– 1,3 m na aerofotografiji Državne geodetske uprave R. Hrvatske (gore). Bijele linije naznačavaju jake, usmjerene linearne georadarske anomalije koje predstavljaju odziv ostataka arhitekture ispod današnje površine (dolje). Najzahtevniji uslovi za georadarsko istraživanje su bili na području Kv 1. Tome je nešto doprinjela ploča iz armiranog betona, koja prouzrukuje deformaciju georadarskih signala a nepovoljna okolnost je i povišena vlažnost na dubini ispod 0,5 m. Predpostavljamo, da na tom području nismo uspjeli sasvim jasno prepoznati svih ostataka arhitekture, pa ih može biti više od naznačenih na interpretaciji rezultata georadarskih istraživanja (vidi i slike 5-7).



Slika 11. Knin – Stara tržnica. Georadarski signali na intervalu dubine 1,3– 1,6 m na aerofotografiji Državne geodetske uprave R. Hrvatske (gore). Bijele linije naznačavaju jake, usmjerene linearne georadarske anomalije koje predstavljaju odziv ostataka arhitekture ispod današnje površine (dolje). Najzahtevniji uslovi za georadarsko istraživanje su bili na području Kv 1. Tome je nešto doprinjela ploča iz armiranog betona, koja prouzrukuje deformaciju georadarskih signala a nepovoljna okolnost je i povišena vlažnost na dubini ispod 0,5 m. Predpostavljamo, da na tom području nismo uspjeli sasvim jasno prepoznati svih ostataka arhitekture, pa ih može biti više od naznačenih na interpretaciji rezultata georadarskih istraživanja (vidi i slike 5-7).



Slika 12. Knin – Stara tržnica. Georadarski signali na intervalu dubine 1,6– 1,9 m na aerofotografiji Državne geodetske uprave R. Hrvatske (gore). Bijele linije naznačavaju jake, usmjerene linearne georadarske anomalije koje predstavljaju odziv ostataka arhitekture ispod današnje površine (dolje). Najzahtevniji uslovi za georadarsko istraživanje su bili na području Kv 1. Tome je nešto doprinjela ploča iz armiranog betona, koja prouzrukuje deformaciju georadarskih signala a nepovoljna okolnost je i povišena vlažnost na dubini ispod 0,5 m. Predpostavljamo, da na tom području nismo uspjeli sasvim jasno prepoznati svih ostataka arhitekture, pa ih može biti više od naznačenih na interpretaciji rezultata georadarskih istraživanja (vidi i slike 5-7).