

GEARH d.o.o.
Radvanjska 13
2000 Maribor
SI62752898



Gsm: 041 580 498
brankomusic1@yahoo.com

POROČILO O GEOFIZIKALNI RAZISKAVI

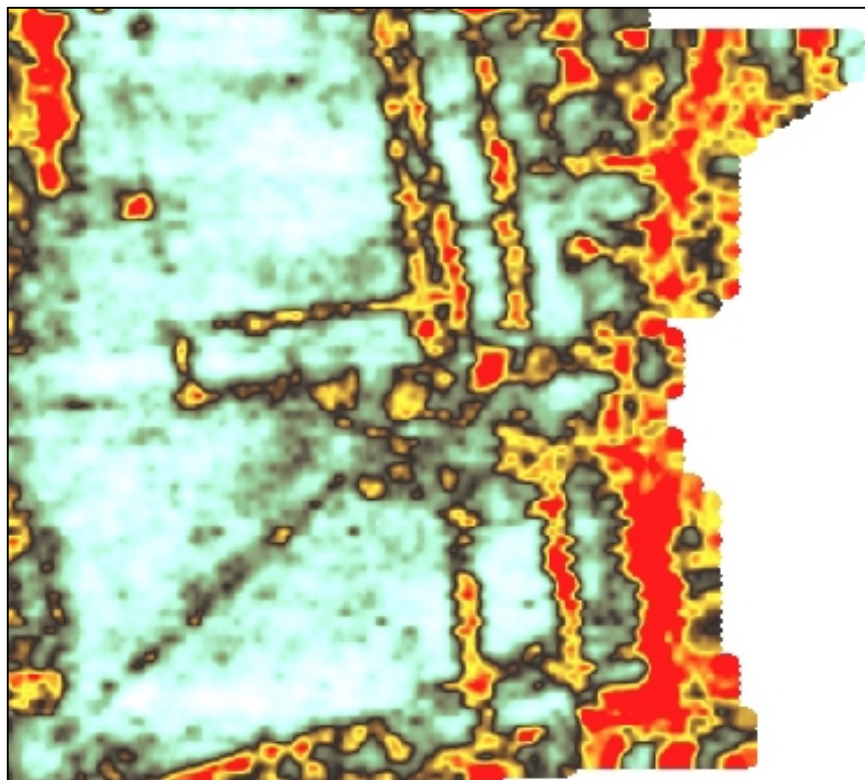
AJDOVŠČINA

Ajdovščina-Mestno jedro (EŠD 1562)
Ajdovščina-Arheološko najdišče Castra (EŠD 3)

Naročnik raziskave:

OBČINA AJDOVŠČINA

Cesta 5. maja 6/a
5270 Ajdovščina



V Mariboru, junij 2016

KULTURNOVARSTVENO SOGLASJE ŠT.:
KVS št. 62240-139/2016/3 (koda raziskave: 16-0173)

ČAS IZVEDBE DEL:
April 2016

STROKOVNI NADZOR:

Patricija Bratina, univ. dipl. arheol., konservatorska svetovalka
Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, OE Nova Gorica

Patricija Bratina



IZDELAL:

doc. dr. Branko Mušič, univ. dipl. inž. geol., direktor GEARH d.o.o.

GEARH D. O. O.

Branko Mušič

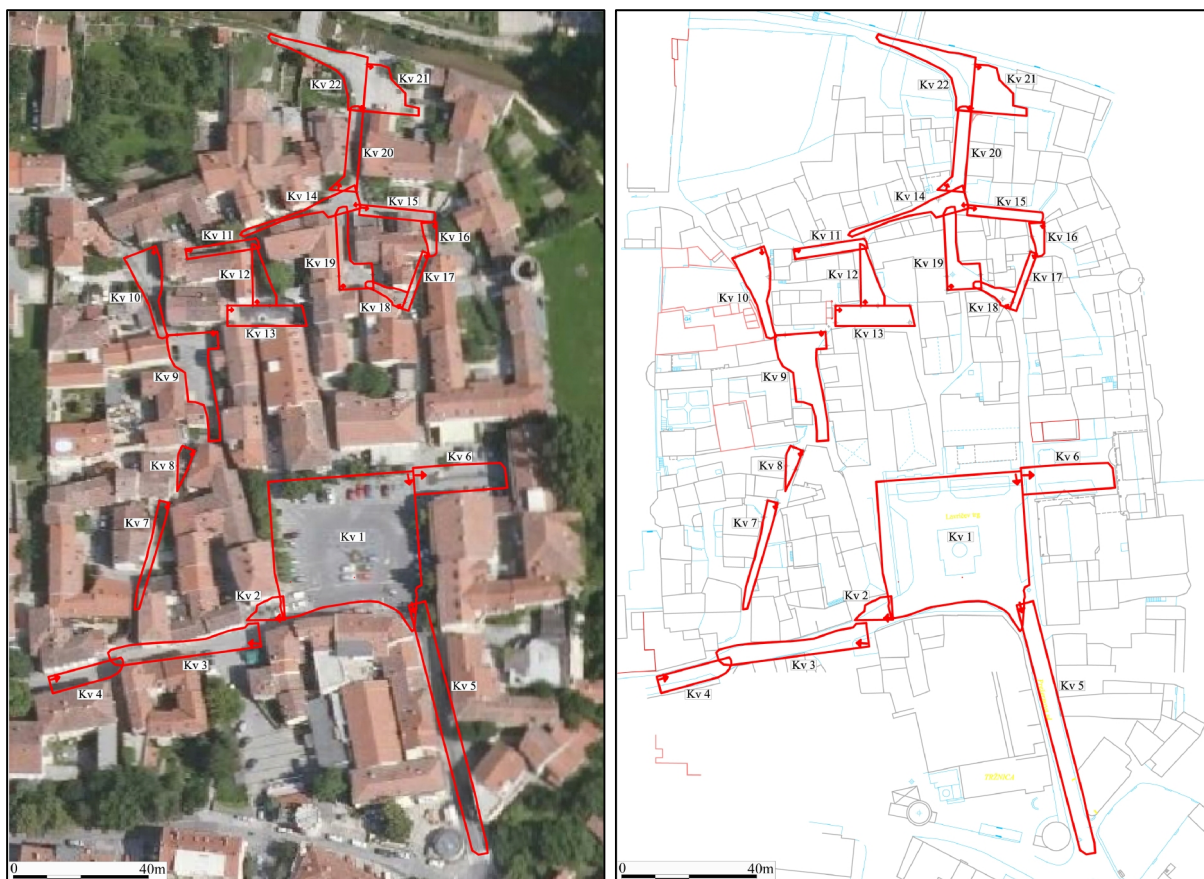
SODELAVCI:

Filip Matijević, mag. arheol.
Breda Zorec, univ. dipl. arheol.
Igor Medarič, univ. dipl. arheol.

V Mariboru, junij 2016

UVOD

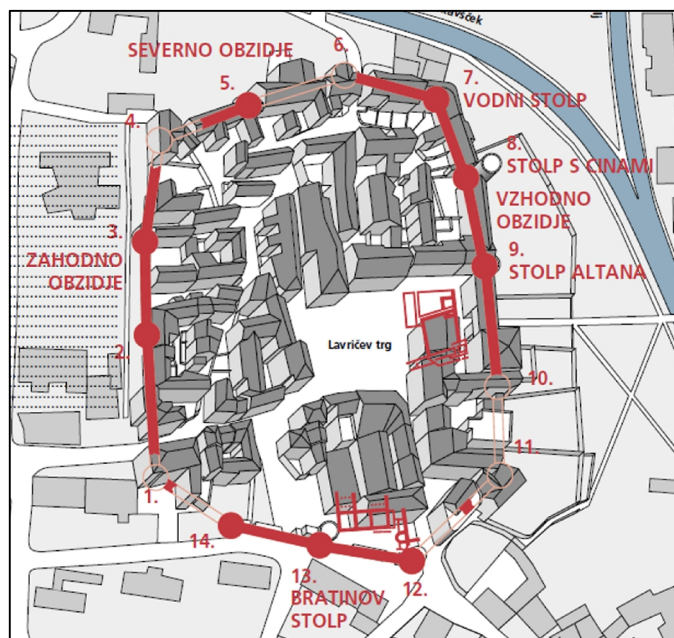
Geofizikalna raziskava je bila izvedena v skladu s Kulturnovarstvenimi pogoji, ki jih je izdal ZVKDS OE Nova Gorica 16.2.2016 (št.: 35106-0597-9/2015-Br/Br). Visokoločljivostna georadarska metoda (GSSI SIR3000, 400 MHz antena) je bila uporabljena za kartiranje dielektrično kontrastnih pod površinskih oblik, ki bi jih lahko opredelili kot rimske in/ali srednjeveške arhitekturne ostanke s čimer bi pomembno dopolnili poznavanje arheološkega potenciala na območju Castre (slika 1). Celotna raziskana površina znaša približno 4.500 m². Le manjši del območja Castre je bil v preteklosti raziskan pri zaščitnih izkopavanjih (slika 2).



Slika 1. Površina raziskana z georadarsko metodo (Kv 1-22) na območju Castre v Ajdovščini (EŠD 53) (vir aerofotografije: Atlas okolja).

Podatki o arheoloških izkopavanjih in rekonstrukcija obzidja Castre so povzeti po Zgodovini raziskav Castre iz vodnika po razstavi avtorjev Betke Žbona Trkman s sodelavci Goriškega muzeja. Na več mestih arheoloških izkopavanj v preteklosti smo z georadarsko metodo ugotovili nadaljevanje poteka zidov, ki so bili dokumentirani pri arheoloških izkopavanjih. Na ta način smo dobili širšo sliko umeščenosti stavb odkritih pri arheoloških izkopavanjih v rimski zasnovi Castre. Podatki iz arheoloških izkopavanj so bili izjemno koristni tudi sicer pri obdelavi in prikazovanju rezultatov georadarske raziskave, ker smo razpolagali s podatki o sestavi, debelini in okvirni globini rimskih zidov pod današnjo površino ter višina njihove ohranjenosti. Poleg arheoloških dejstev smo pri interpretaciji rezultatov georadarske metode upoštevali tudi podatke o poteku podzemne gospodarske infrastrukture pri čemer smo se opirali tudi na površinske elemente podzemnih vodov in karakteristične georadarske signale. Povsod nam ni uspelo povsem nedvoumno ločiti georadarske signale zaradi ostankov antičnih

zidov in starejših podzemnih vodov. Predvsem zaradi zelo omejenega prostora v ozkih ulicah je ponekod teh podzemnih vodov veliko in je nemogoče zanesljivo razbrati arheološko informacijo. Kot razločevalni kriterij smo zato upoštevali tudi globine na katerih se georadarski odboji pojavljajo. Do globine cca. 0,8 m je verjetnost podzemnih vodov veliko večja kot na globinah večji od te in smo zato georadarske odboje na globini večji od 1 m v glavnem pripisali antičnim arheološkim ostalinam.



Slika 2. Tlorisni prikaz arheoloških struktur na območju Castre odkritih pri arheoloških izkopavanjih in rekonstruirani potek obzidja z upoštevanjem rezultatov arheoloških izkopavanj ter položaja in usmeritev sodobnih objektov (vir.: Vodnik po razstavi, Zgodovina raziskav Castre, Betka Žbona Trkman s sodelavci).

Z georadarsko metodo so bile raziskane vse dostopne površine (**slika 1**), kjer pa so bile razmere precej različne. Največji del raziskanih površin je asfaltiran s številnimi zaplatami, ki kažejo na posege za komunalno ureditev v sodobnosti. Najugodnejši pogoji za georadarsko raziskavo so bili na območju Lavričevega trga, kjer smo imeli na razpolago veliko površino, kar zagotavlja dobre pogoje za ločevanje georadarskih odbojev od sodobne podzemne infracrstrukture in rimskih arheoloških ostalin. V ozkih ulicah so bili zaradi številnih sodobnih posegov za komunalno ureditev na zoženem prostoru izredno zahtevni za arheološko interpretacijo. V takšnih okoliščinah vedno pričakujemo številne motnje oz. šume in posledično različno odzivnost in prepoznavnost arheoloških ostalin. Poleg spremenljivega stanja površja in tudi podpovršja, lahko deloma vplivajo na rezultate georadarske metode tudi nadzemne instalacije. Gre za urbano sredino, ki tudi sicer velja za najzahtevnejše okolje za učinkovito izvajanje geofizikalnih raziskav. Postopki terenskega zajemanja podatkov, kakor tudi napredni postopki obdelave so bili prilagojeni okoliščinam s ciljem pridobivanja arheološko izpovednih informacij. Zahtevni pogoji za terensko delo zaradi stavb in druge urbane opreme so narekovali prilagajanje na način, da smo celotno površino razdelili na 22 manjših površin oz. kvadrantov (**slika 1**), ki smo jih obravnavali ločeno in smo tudi vse postopke obdelave prilagajali konkretnim pogojem na vsakem od področij. Zaradi tehničnih posebnosti georadarskih meritev je bila torej celotna površina razdeljena na manjša območja oz. kvadrante (**slika 1**), rezultati pa so v poročilu predstavljeni kot združeni prikazi za podobne globine horizontalnih rezov georadarskih signalov (**slike 9-11**). Pomemben del tega

poročila so tudi **Priloge**, kjer so analize rezultatov georadarskih signalov na način horizontalnih rezov (*time slices*) prikazane posebej za vsako od 22-ih območij na več načinov z uporabo različne programske opreme (GPR-SLICE 7.0, ReflexW 7.0 in Radan 7.2). Te priloge se pri načrtovanju arheoloških izkopavanj uporabljajo za boljše razumevanja arheološkega potenciala prikazanega na **slikah 9-11**, ker zagotavljajo podrobnejši vpogled v tlorisne oblike in relativne razlike v jakosti georadarskih odbojev na različnih globinah.

Pogoji vlažnosti so bili skoraj na vseh raziskanih površinah optimalni in pri analizi rezultatov nismo opazili večjega dušenja signala, kar bi lahko znatno zmanjšalo globino učinkovitega dosega meritev. Z visokoločljivostno 400 MHz anteno smo praktično povsod dosegli globino cca. 2,5 m, kar je optimalna globina ob zelo dobri ločljivosti glede na predpostavljeno globino in velikost arheoloških arhitekturnih ostankov na osnovi rezultatov arheoloških izkopavanj v preteklosti. Terensko delo je bilo izvedeno v aprilu 2016 ob ugodnih vremenskih razmerah v terminu brez izdatnejših padavin, ki bi lahko vplivale na rezultate georadarskih meritev. Položaj meritev je bilo dokumentiran z GPS sistemom Leica UNO in TS Leica 307 v državnem geodetskem sistemu ETRS D96/TM in transformirani v Gauss Krueger-jev geodetski sistem v katerem so bili drugi podatki o infrastrukturi posredovani s strani Občine Ajdovščina.

GEORADARSKA METODA IN REZULTATI

Georadarska metoda (*GPR-Ground Penetrating Radar*) temelji na oddajanju visokofrekvenčnih elektromagnetnih valov preko oddajne antene (*transmitter*) usmerjene v tla in zapisu časov in amplitud povratnih valov, ki jih registriramo s sprejemno anteno (*receiver*). Ko elektromagnetni val doseže elektromagnetno mejo, se del energije odbije proti površju in registrira s sprejemno anteno, del pa nadaljuje širjenje skozi medij do naslednje elektromagnetne meje. Meritve na območju Castre v Ajdovščini smo izvajali s klasično refleksijsko mersko tehniko (GPR GSSI SIR3000, 400 MHz antena) (**slika 3**), kjer je med oddajno in sprejemno anteno kratka medsebojna razdalja. S spreminjanjem položaja monostatične oddajno-sprejemne antene se zgradi zvezni profil z določeno gostoto sledi vzdolž profila. Razdalja med georadarskimi profili je bila na vseh 22-tih območjih 0,5 m, georadarske sledi pa si vzdolž profilov sledijo v razdalji 4 cm. Zaradi zelo nehomogene sestave podpovršja smo za izdelavo časovnih rezov georadarskih odbojev za izbrane globinske intervale uporabili v odvisnosti od posebnosti arheoloških ostankov kakor tudi medija v katerem se nahajajo, vsakič nekoliko prilagojene postopke filtriranja.



Slika 3. Meritve z georadarjem GSSI SIR3000 (400 MHz antena) na različnih območjih z različno sestavo površja.

Mejo med dvema medijema, ki se razlikujeta v hitrosti širjenja elektromagnetnih valov, določimo po zakonih valovne fizike. Z ločljivostjo opredeljujemo zmožnost ločevanja dveh bližnjih oblik, preden za opazovalca postaneta ena oblika. V prvi vrsti jo opredeljuje centralna frekvenca antene, hkrati pa nanjo močno vpliva relativna dielektrična konstanta oziroma dielektričnost materiala, v katerem izvajamo meritve. Ločljivost je v največji meri odvisna od valovne dolžine. Valovna dolžina elektromagnetnih valov 400 MHz antene (GSSI SIR3000) (**slika 3**), ki smo jo uporabljali pri georadarski raziskavi je v materialu z relativno dielektrično konstanto 10-12, kar približno ustreza povprečnim pogojem na vseh raziskanih območjih, približno 0,20 m. Meritve z georadarjem GSSI SIR3000 v kombinaciji z 400 MHz anteno na različnih območjih, kjer vidimo tudi različno sestavo površine, ki lahko tudi izdatno vpliva na spremenljivost in s tem zahtevnost razmer v fazi obdelave podatkov.

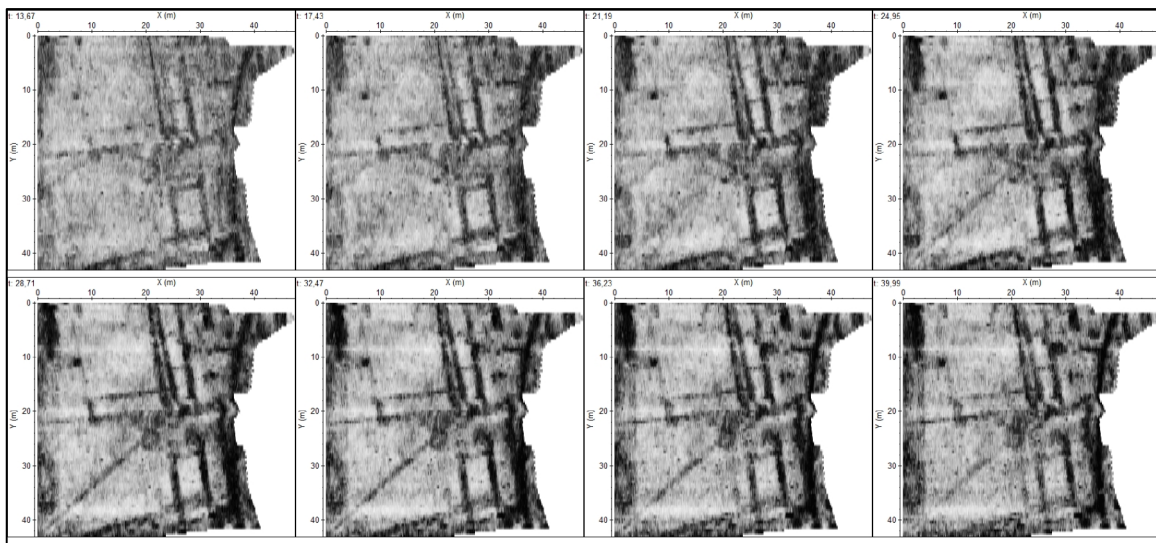
Vertikalna ločljivost je najmanjša razdalja, na kateri je možno dva georadarska odboja še obravnavati kot dve ločeni georadarski meji in je v splošnem določena z valovno dolžino elektromagnetnega valovanja. Zgornja in spodnja meja horizontalnega reflektorja, kot je v arheoloških kontekstih npr. tlakovana površina, bo na radargramu vidna le, če njena debelina presega četrtno valovne dolžine. Pri ocenjenem srednjem intervalu dielektričnosti (10-12) za preiskovan medij na območju Castre v Ajdovščini, znaša valovna dolžina 400 MHz antene v teh tleh približno 0,20 m, kar pomeni, da lahko na radargramih zanesljivo prepoznamo horizontalne plasti (npr. tlakovane površine) debeline vsaj 0,15 m, verjetno pa tudi nekoliko tanjše. Omejitev je lahko konfiguracija terena in tudi sestava površja zato ta podatek velja predvsem za relativno ravne površine iz enotnega materiala.

Pri višji dielektričnosti površinskega materiala, je hitrost elektromagnetnih valov manjša in hkrati je ožji snop eliptičnega stožca, ki določa razmerje med globino in ločljivostjo. Eliptični stožec se širi počasneje, če si v globino sledijo plasti z vedno večjo dielektričnostjo, kar je značilno za pedosekvice na glinah in peščenih glinah, kjer vlažnost in s tem dielektrična konstanta običajno z globino postopoma narašča. V večini georadarskih profilov smo ugotovili skoraj enako ločljivost v časovnem oknu cca. 70 ns, ki ustreza globini skoraj 2,5 m. S tem smo zajeli skoraj ves globinski interval na katerem se pojavljajo antične arhitekturne ostaline vsaj po dosedanjih rezultatih arheoloških izkopavanj v neposredni bližini Lavričevega trga.

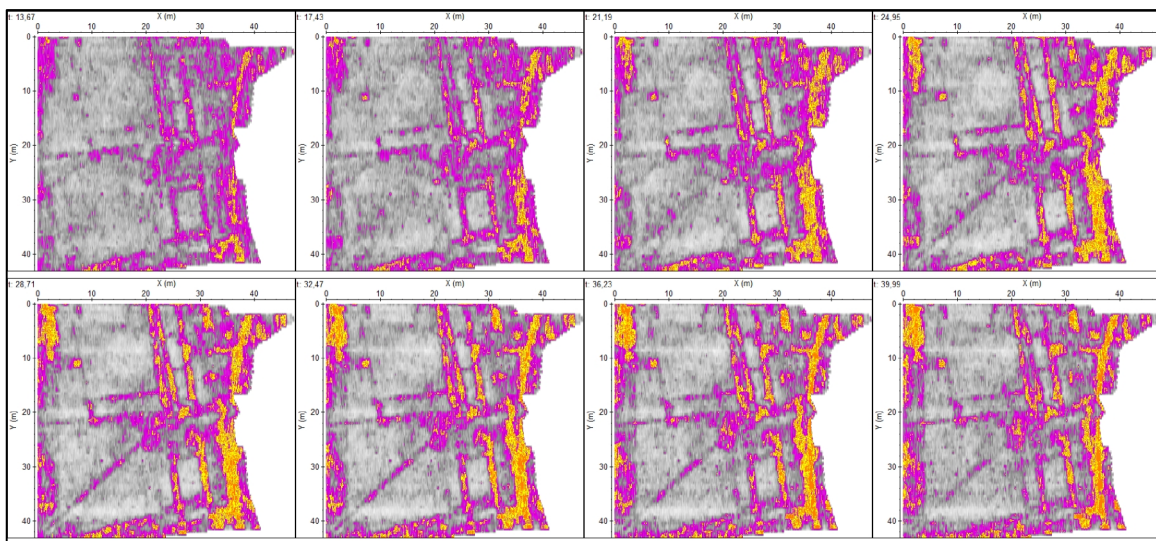
Merjeni parameter pri georadarskih meritvah je dvojni čas potovanja vala, izražen v nanosekundah (10^{-9} s). Ob poznavanju dielektrične konstante in s tem hitrosti širjenja EM valovanja v preiskovanem mediju, lahko te čase povratnih odbojev pretvorimo v dolžinske enote oz. globinske sekcije. Delež elektromagnetnega valovanja, ki se odbije na neki diskontinuiteti med dvema različnima materialoma (npr. tla/zid, tla/tlakovana ulica itd., tla/sodobni podzemni vodi itd.) je odvisen od kontrasta v dielektrični konstanti (v manjši meri od konduktivnosti in magnetne permeabilnosti) in razmerja med valovno dolžino EM valovanja (določena s frekvenco oddajne antene) in debelino arheološkega objekta.

Sicer je najbolj razširjen način prikazovanja rezultatov s t.im. »time slices«, ki pomenijo časovne reze serije vzporednih in praviloma enako oddaljenih radarskih profilov. Rezultat časovnih rezov je diagram enakih amplitud odbojev v istem časovnem območju povratnih valov. V arheološki praksi to pomeni serijo »tlorisov« na poljubnih globinah. Za območje Lavričevega trga so prikazani horizontalni rezi georadarskih odbojev na različnih globinah na **slikah 4-8**. Pri tej raziskavi smo uporabili programsko opremo ReflexWin 7.2 in Gpr-Slice 7.0. Največji prispevek georadarske metode k arheološki prospekciji je prav prikazovanje in analiza radarskih odbojev (=arheoloških ostankov) v 3D okolju. Horizontalni rezi

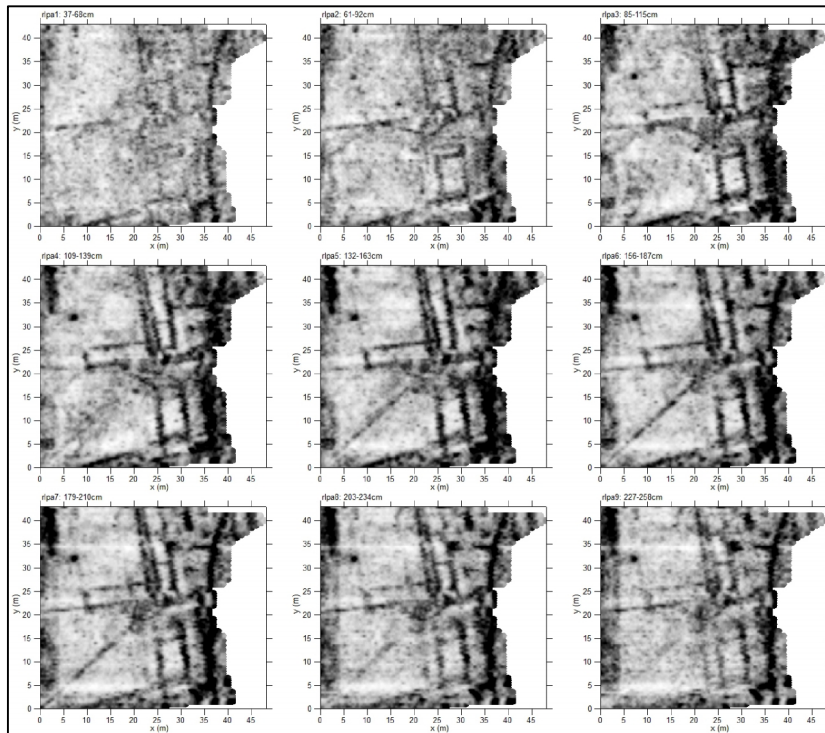
georadarskih signalov za vsa ostala območja pri različnih kontrastih z uporabo linearnih in nelinearnih razporeditev sivih tonov in barvnih odtenkov so prikazani v **Prilogah** na koncu tega poročila.



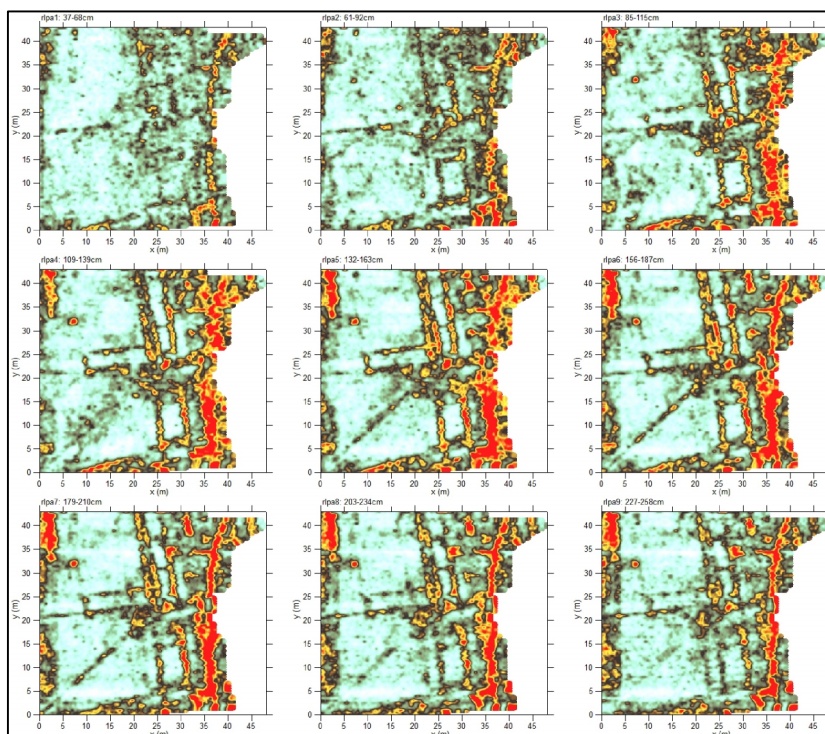
Slika 4. Horizontalni rezi georadarskih signalov na Lavričevem trgu na globinskem intervalu cca. 0,4-1,5 m ustvarjeni s programsko opremo Reflex 7.2 (za položaj glej sliko 1: Kv_1).



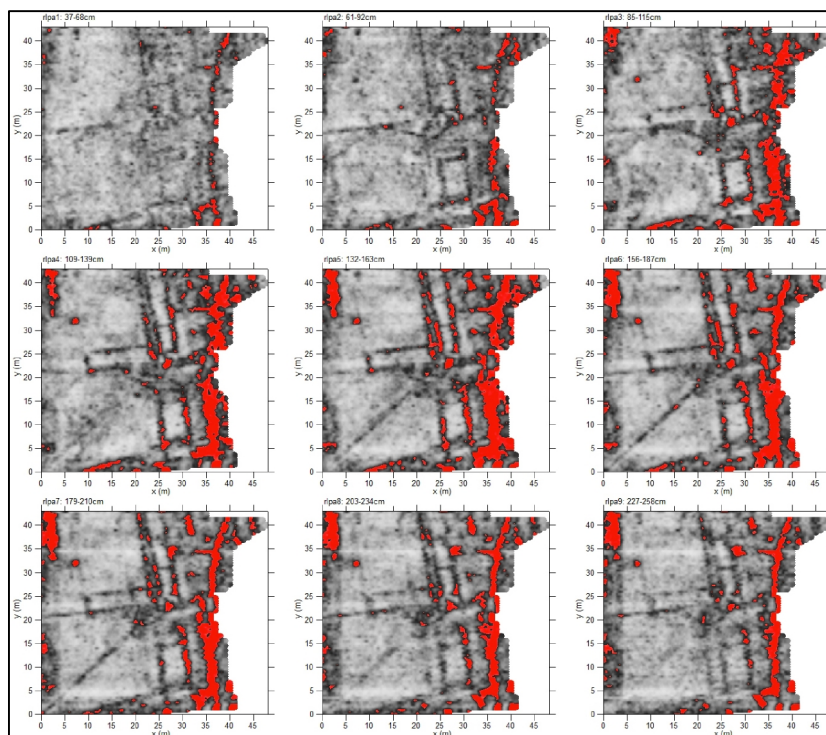
Slika 5. Horizontalni rezi georadarskih signalov na Lavričevem trgu na globinskem intervalu cca. 0,4-1,5 m ustvarjeni s programsko opremo Reflex 7.2 (za položaj glej sliko 1: Kv_1).



Slika 6. Horizontalni rezi georadarskih signalov na Lavričevem trgu na globinskem intervalu cca. 0,3-2,5 m generirani s programsko opremo GPR-SLICE 7.0 (za položaj glej sliko 1: Kv_1).



Slika 7. Horizontalni rezi georadarskih signalov na Lavričevem trgu na globinskem intervalu cca. 0,3-2,5 m generirani s programsko opremo GPR-SLICE 7.0 (za položaj glej sliko 1: Kv_1).



Slika 8. Horizontalni rezi georadarskih signalov na Lavričevem trgu na globinskem intervalu cca. 0,3-2,5 m generirani s programsko opremo GPR-SLICE 7.0 (za položaj glej sliko 1: Kv_1).

V poročilu je bil za vsakega od 22-ih kvadrantov izbran po eden za to raziskano območje reprezentativnih horizontalni rezov (slike 9-11). To pomeni, da smo se pri tem odločali za interval globine, za katerega so bili rezultati georadarske metode najizpovednejši. Ob tem je potrebno poudariti, da ti rezi ne vključujejo vse arheološke informacije, ki smo jo pridobili z georadarsko metodo. Za popolnejši vpogled v rezultate georadarske raziskave je potrebno upoštevati tudi serije horizontalnih rezov za številne intervale globine, ki so prikazani v Prilogi.

INTERPRETACIJA REZULTATOV GEORADARSKE METODE

Na vseh raziskanih območjih so bili ugotovljeni izraziti georadarski odboji (**slike 9-11, Priloge**). Nedvoumno so arheološkega izvora georadarski signali na Lavričevem trgu, kjer so bili pogoji za georadarsko raziskavo najboljši zaradi velikosti za meritve dostopne površine in se georadarski odboji povezujejo v jasne tlorisne oblike, ki jih lahko nedvoumno interpretiramo kot antične arhitekturne ostaline (**slike 1: Kv 1; 4-8; 9-11; Priloge**). Ugotovljene linearne georadarske anomalije na vzhodni strani predstavljajo nadaljevanje antičnih objektov, ki so bili odkriti pri arheoloških izkopavanjih (**slika 2**). Glede na tlorisne oblike izrazitih georadarskih odbojev sklepamo, da gre za niz stavb na južni strani Lavričevega trga z večjo odprto, javno površino na severni strani. Ta površina se nahaja v osrednjem delu Castre in ta antični kompleks interpretiramo kot ostanke rimskega foruma. Nedvoumno arheološkega izvora so tudi vse linearne georadarske anomalije, ki potekajo prečno čez območje Kv 5 (**slike 1, 9-11, Priloge**). Na skrajnem južnem robu tega območja je širok pas izrazitih georadarskih odbojev, ki predstavlja nadaljevanje južnega kraka obzidja Castre, ki je neposredno ob zahodni strani tega območja v krajšem odseku tudi prikazan v parterni predstavitvi skupaj z ostanki rimskih term neposredno ob severni strani obzidja. Na območju Kv 6 (**slike 1: Kv 6; 9-11, Priloge**) je jasno viden objekt pravokotnega tlorisa, ki je usmerjen enako kot rimske stavbe odkrite pri arheoloških izkopavanjih v neposredni bližini in stavbe rimskega foruma prepoznane rezultatih georadarske metode na Lavričevem trgu. Prav tako z antičnimi arhitekturnimi ostanki povezujemo tudi izrazite in usmerjene georadarske odboje na območjih na skrajni severni strani Castre (**slike 1: Kv 20-22; 9-11, Priloge**), kjer se ed drugim najverjetneje vidi tudi severni kraka obzidja Castre. Del zahodnega kraka obzidja smo prepoznali na območju Kv 4 (**slike 1: Kv 4; 9-11, Priloge**). Za vsa druga območja lahko zaključimo, da so arheološki arhitekturni ostanki zaradi šrtevilnih intervencij za izgradnjo podzemne gospodarske infrastrukture, ohranjeni le fragmentarno. Nesporno gre na vseh območjih za ostanke rimskih zidov vendar močno prevladujejo izraziti georadarski odboji od podzemnih vodov.



Slika 9. Rezultati georadarske metode za vse raziskane površine na globinskem intervalu cca. 1-2 m. Večina horizontalnih rezov je bila izbrana za globinski interval 1,3-1,6 m. Izraziti georadarski odboji, ki so posledica arheoloških arhitekturnih ostalin in podzemnih vodov so prikazani v temnejših odtenkih.



Slika 10. Rezultati georadarske metode za vse raziskane površine na globinskem intervalu cca. 1-2 m. Večina horizontalnih rezov je bila izbrana za globinski interval 1,3-1,6 m. Izraziti georadarski odboji, ki so posledica arheoloških arhitekturnih ostalin in podzemnih vodov so prikazani v rdeči in rumeni barvi.

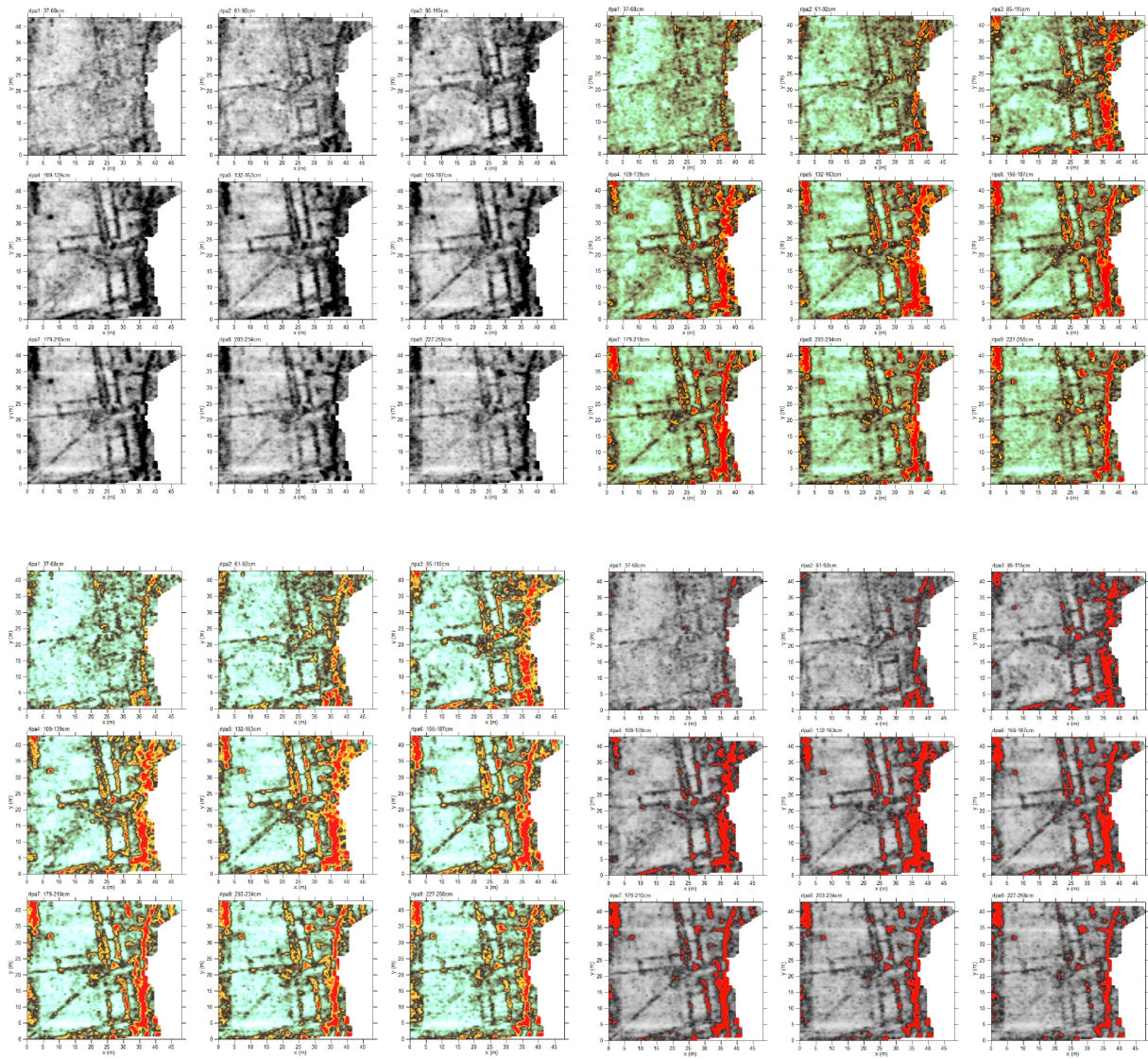


Slika 11. Rezultati georadske metode za vse raziskane površine na globinskem intervalu cca. 1-2 m. Večina horizontalnih rezov je bila izbrana za globinski interval 1,3-1,6 m. Izraziti georadrski odboji, ki so posledica arheoloških arhitekturnih ostalin in podzemnih vodov so prikazani v rdeči barvi.

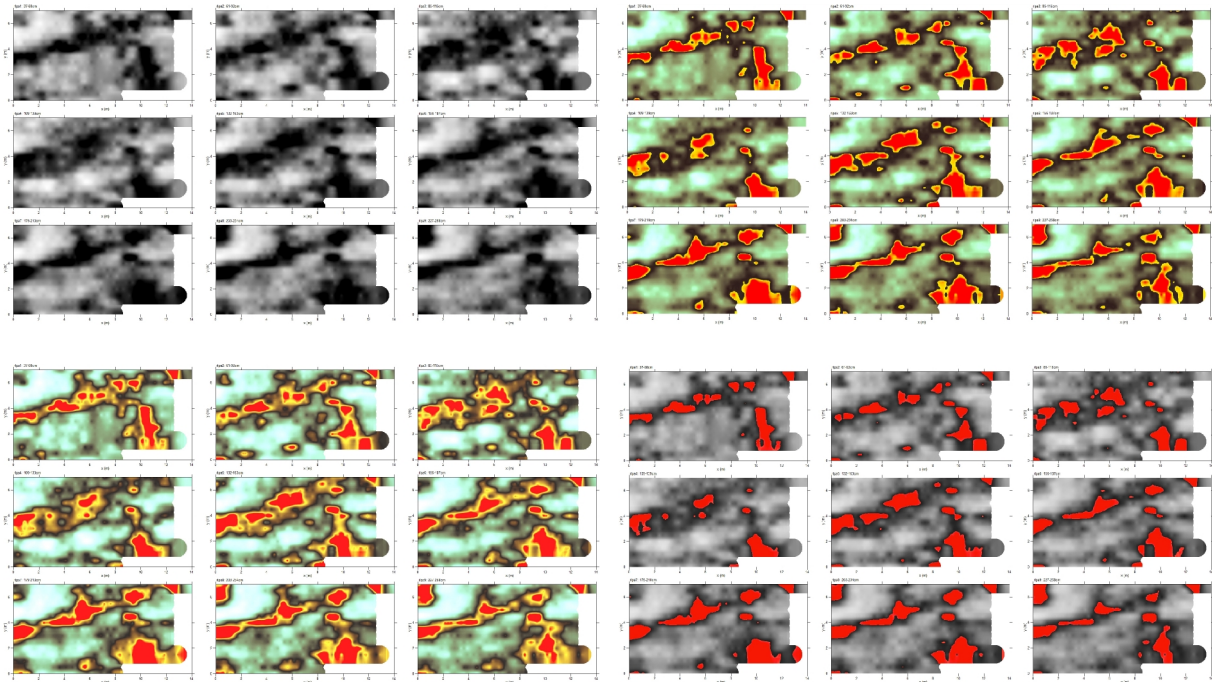
PRILOGE

Horizontalni rezi (*time slices*) georadarskih odbojev za izbrane interval globin po Kvadrantih (**Slike 1; 9-11: Kv. 1-22**)

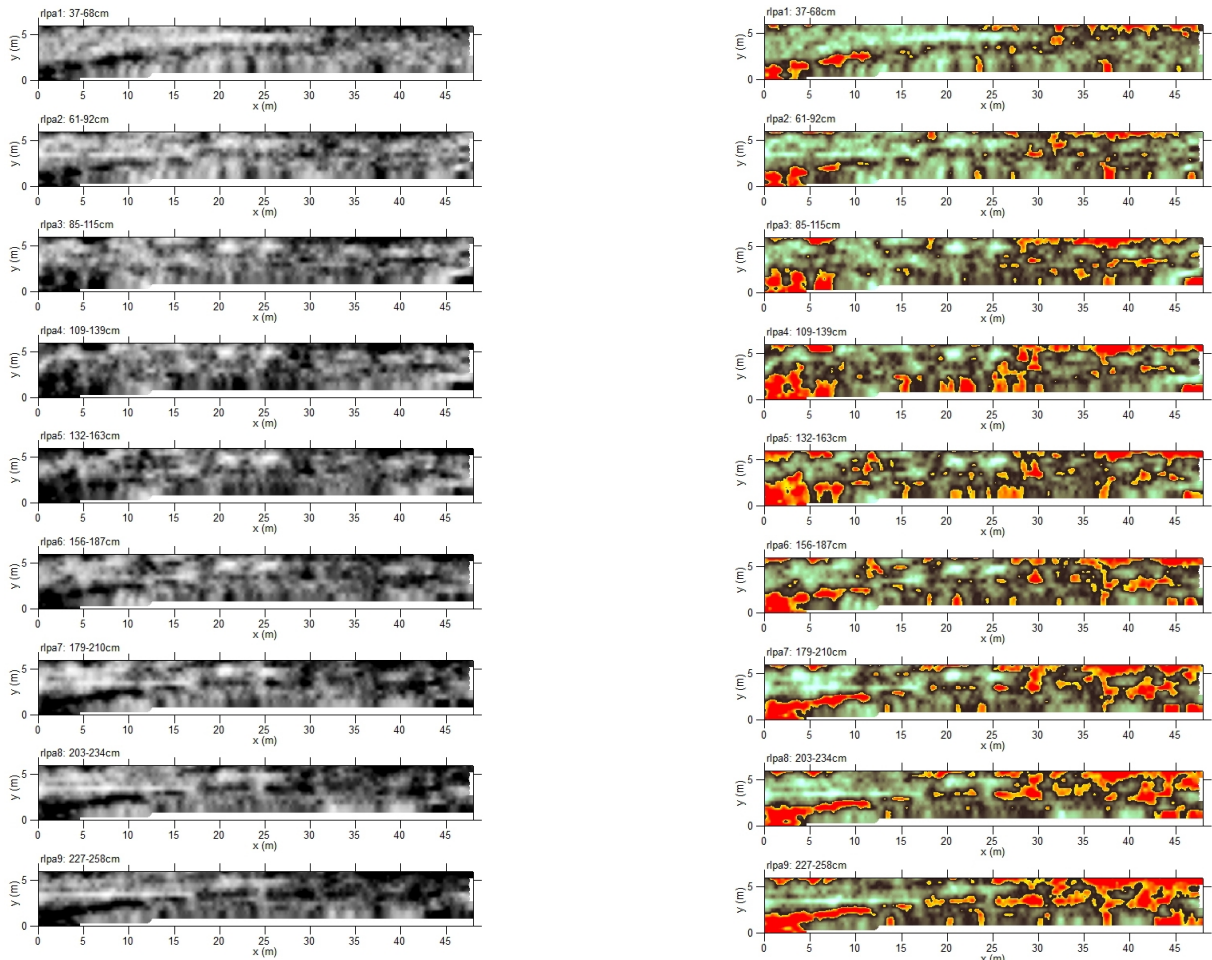
Območje Kv 1:

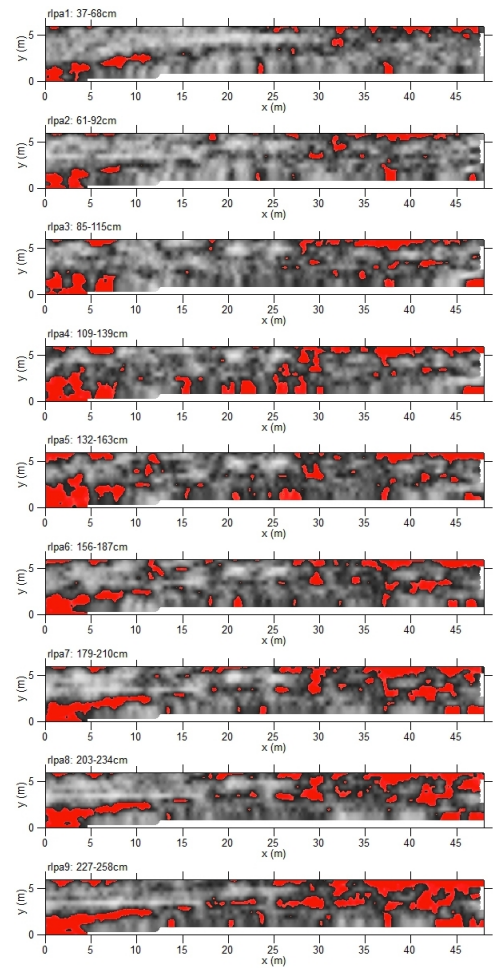
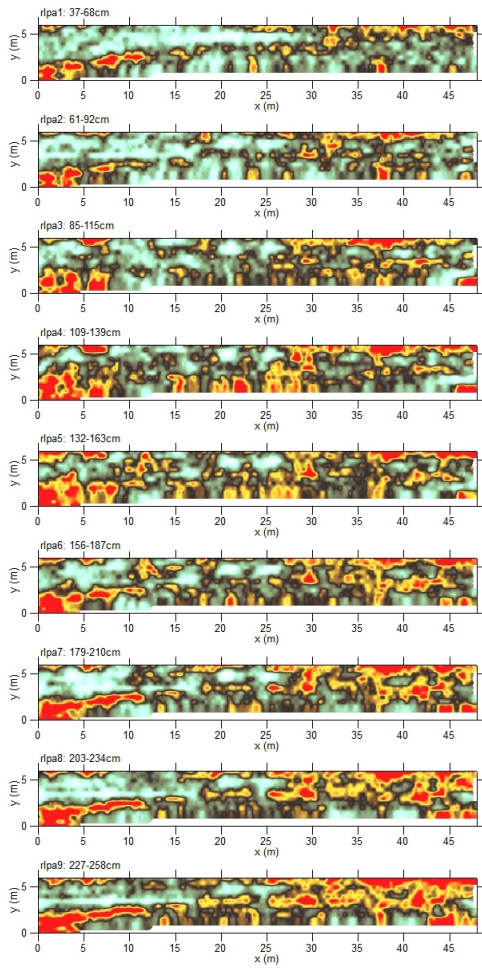


Območje Kv 2:

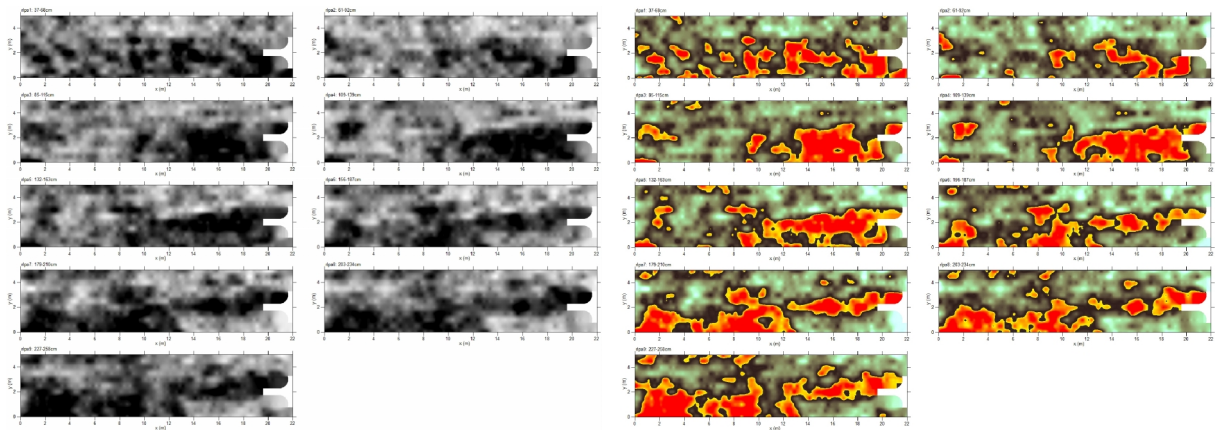


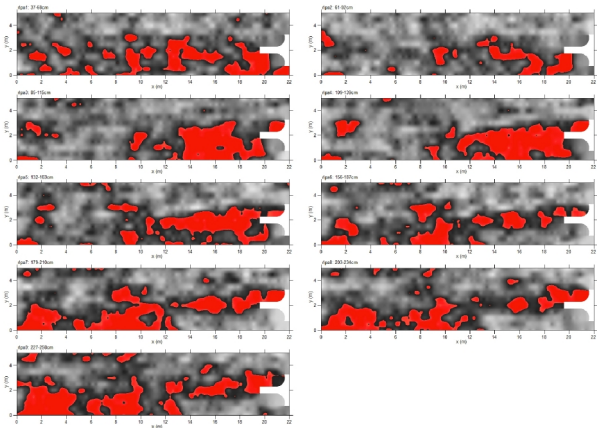
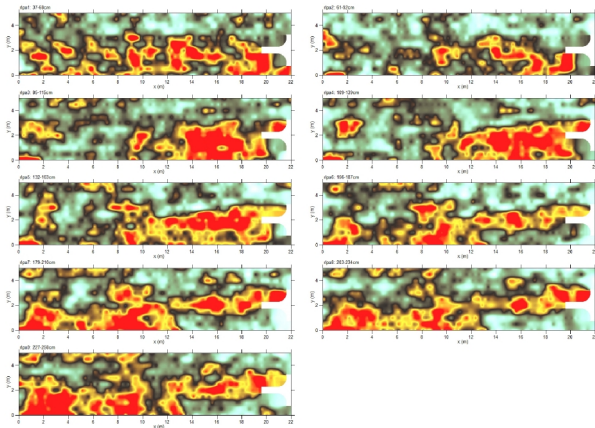
Območje Kv 3:



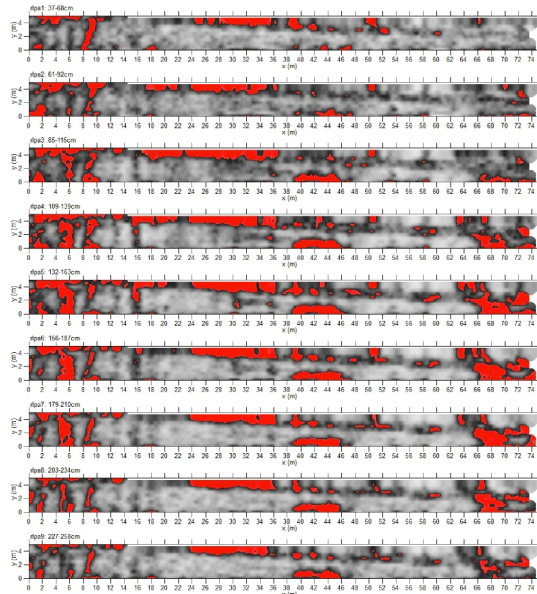
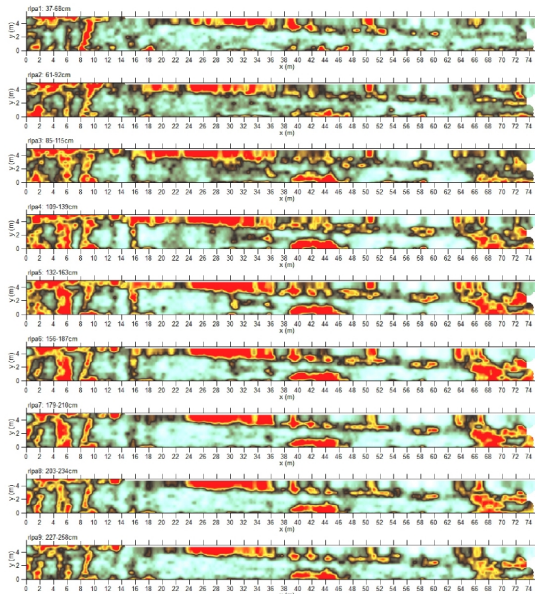
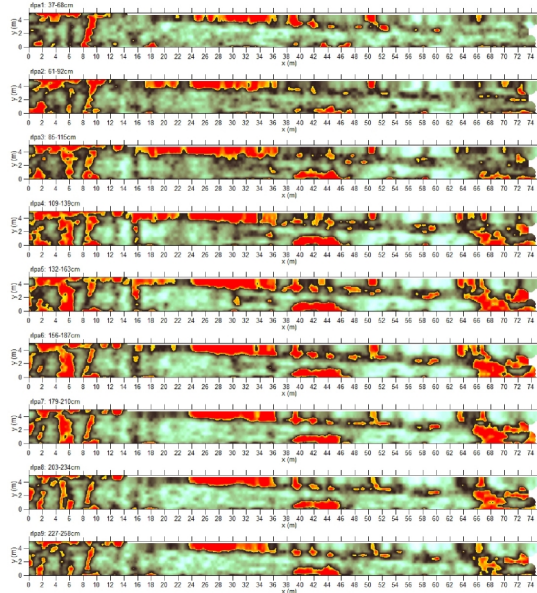
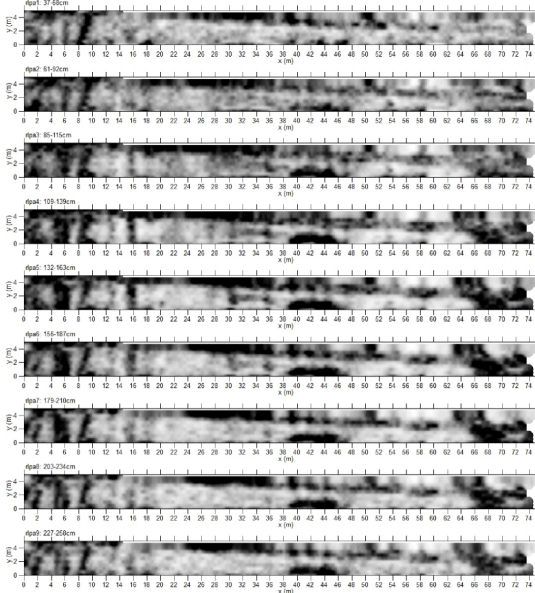


Območje Kv 4:

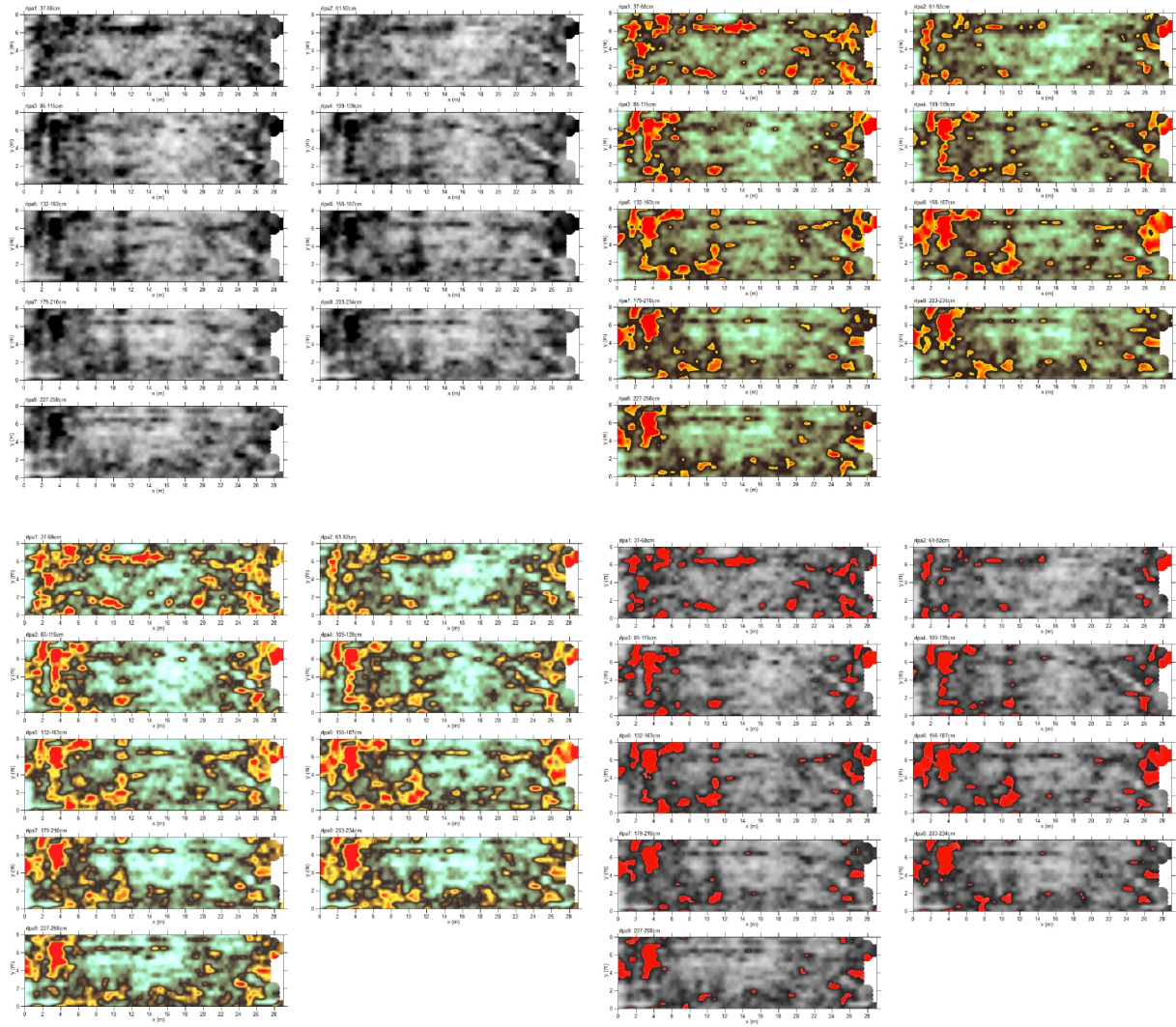




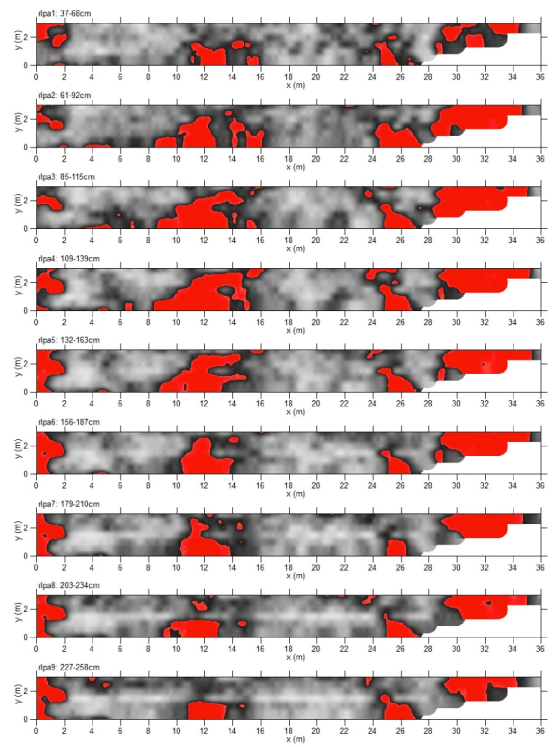
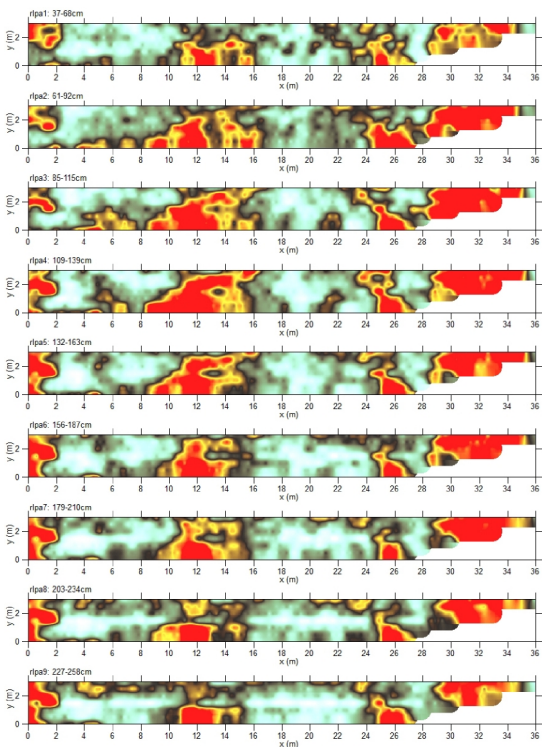
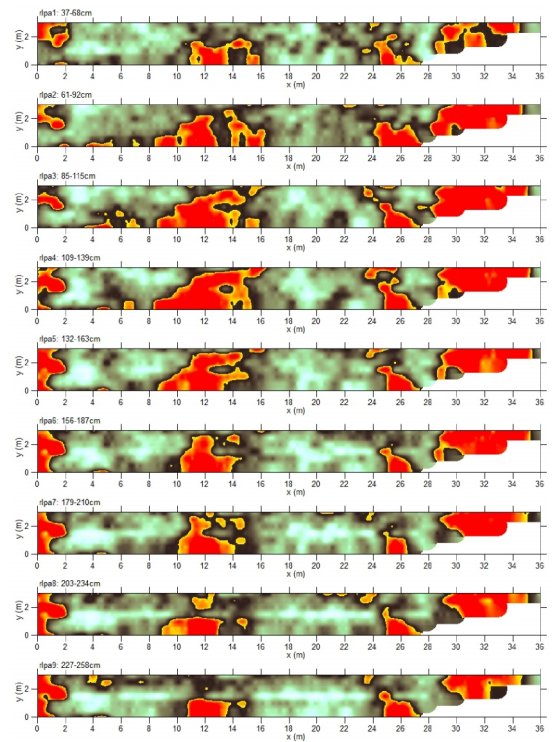
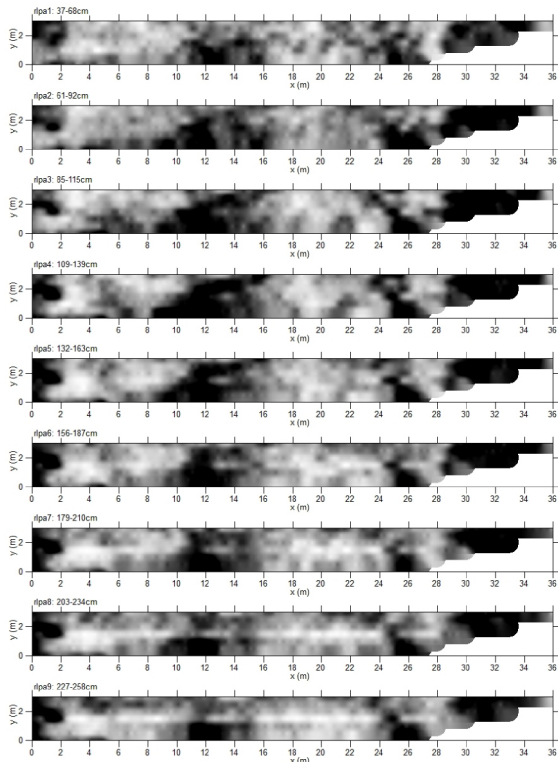
Območje Kv 5



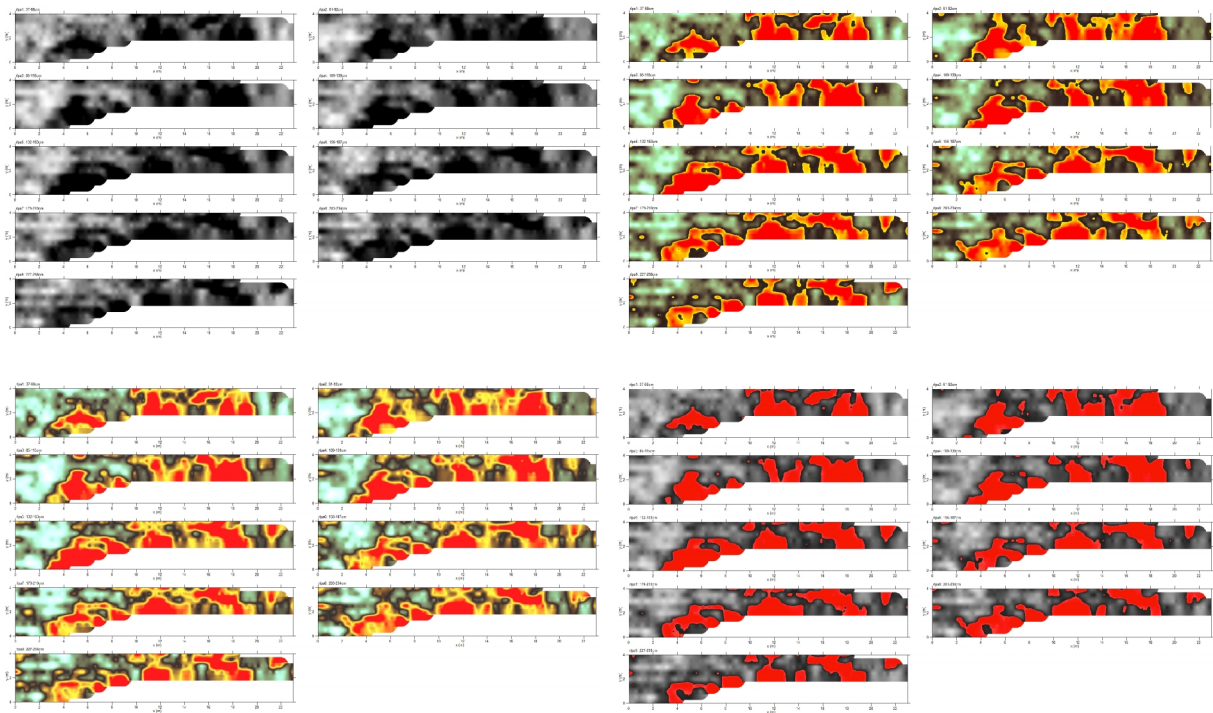
Območje Kv 6



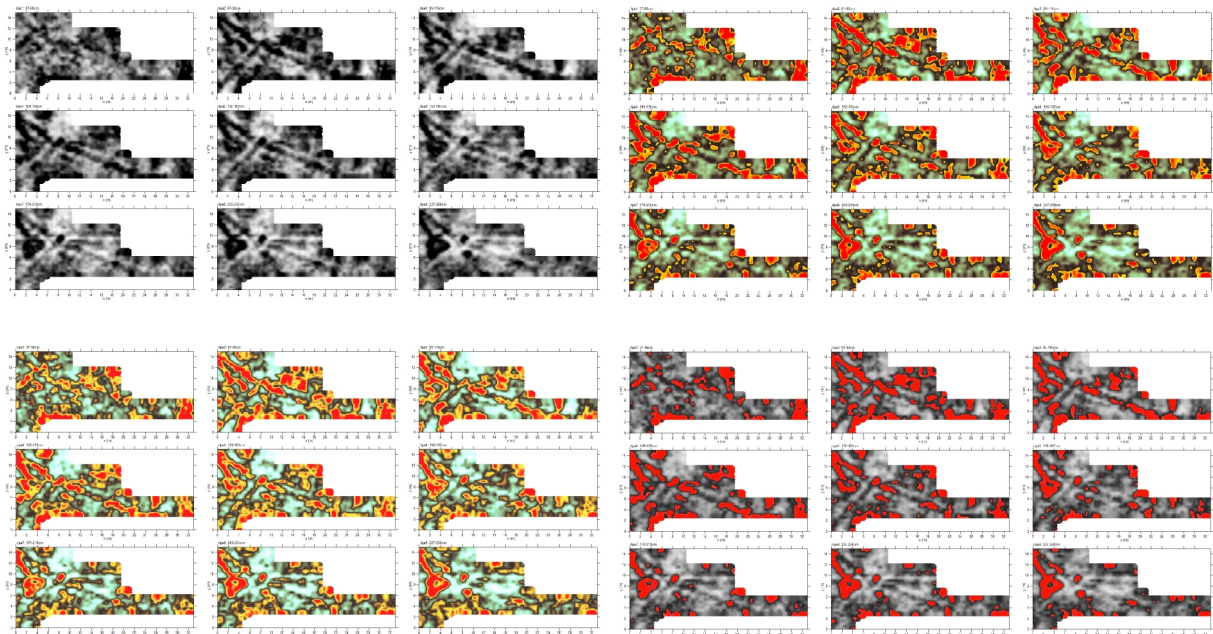
Območje Kv 7



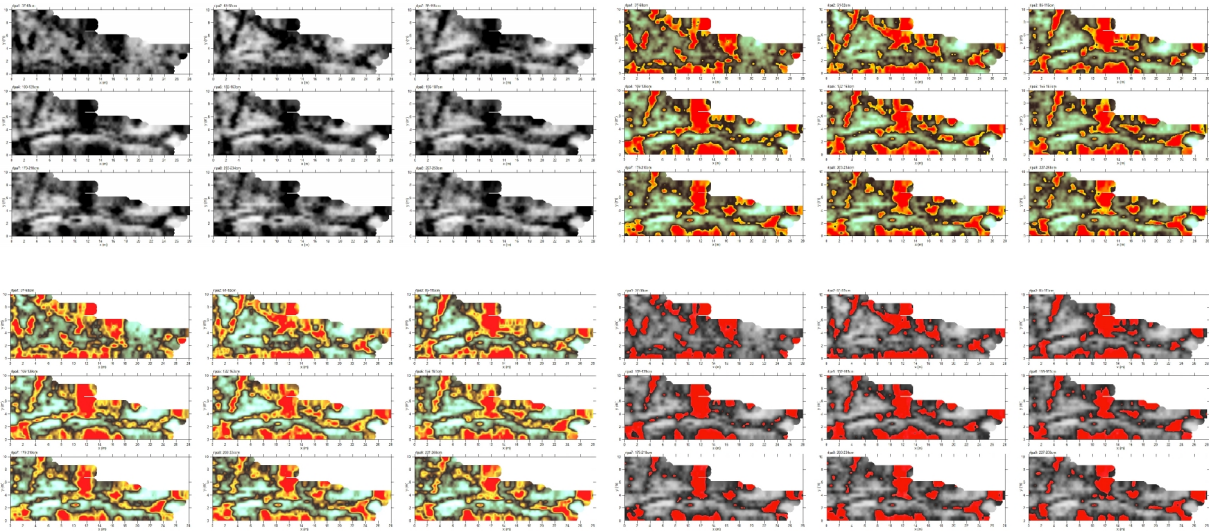
Območje Kv 8



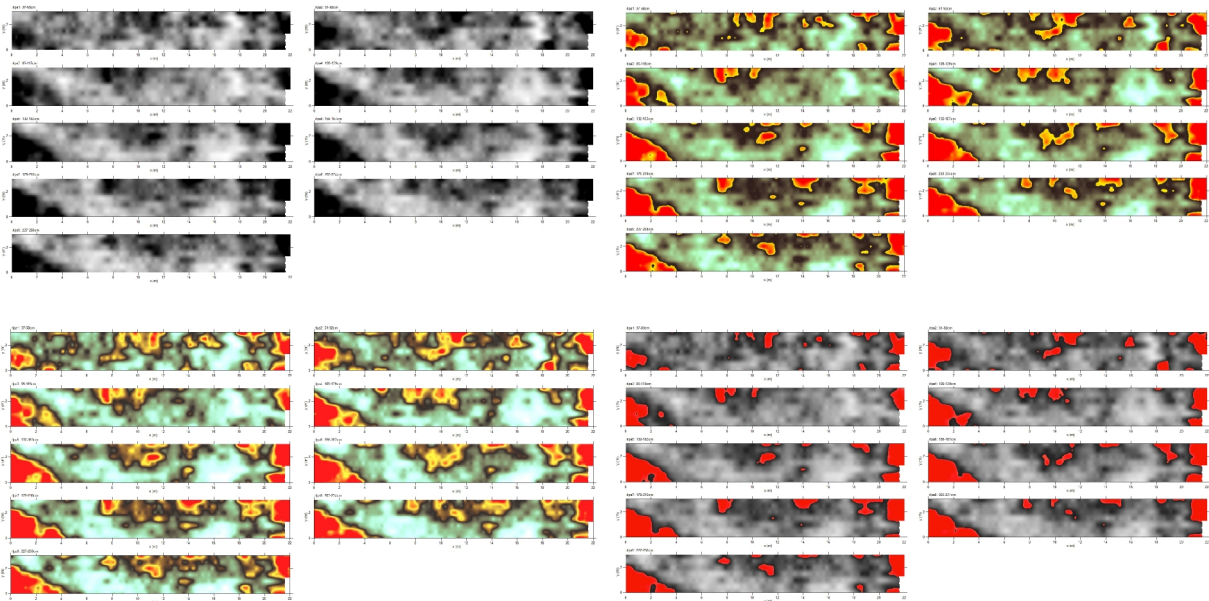
Območje Kv 9



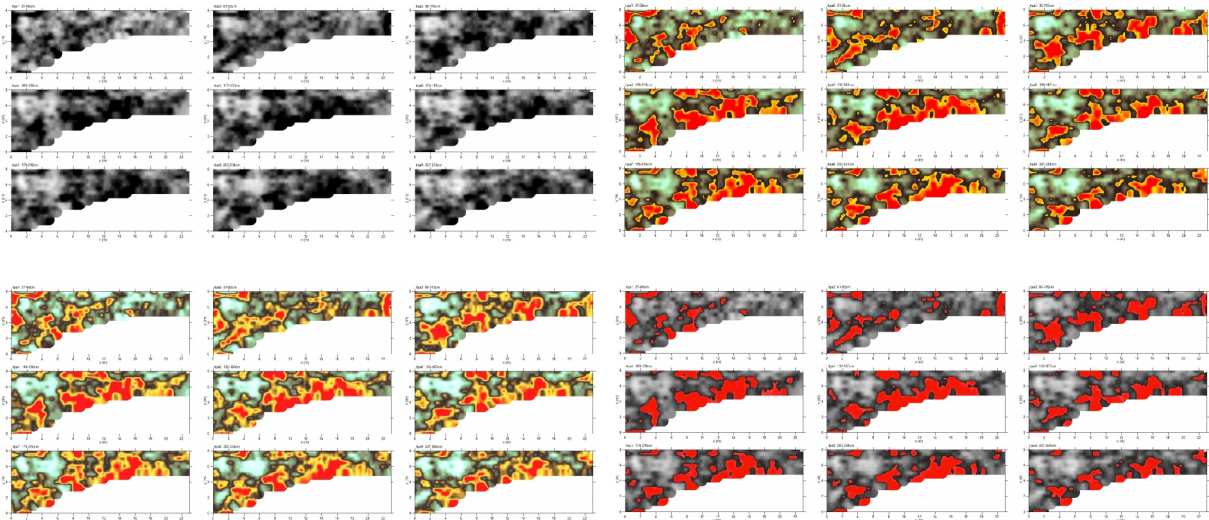
Območje Kv 10



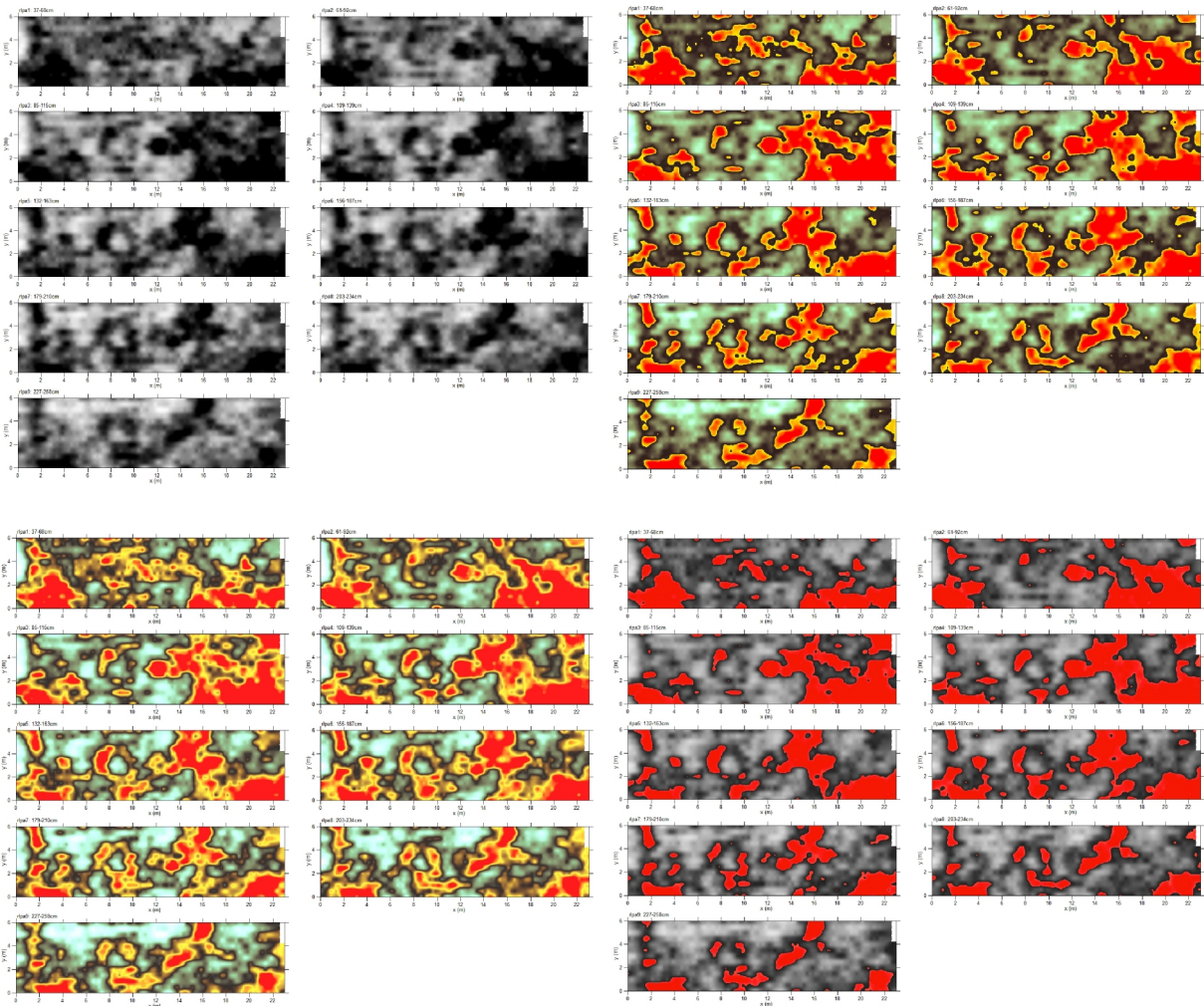
Območje Kv 11



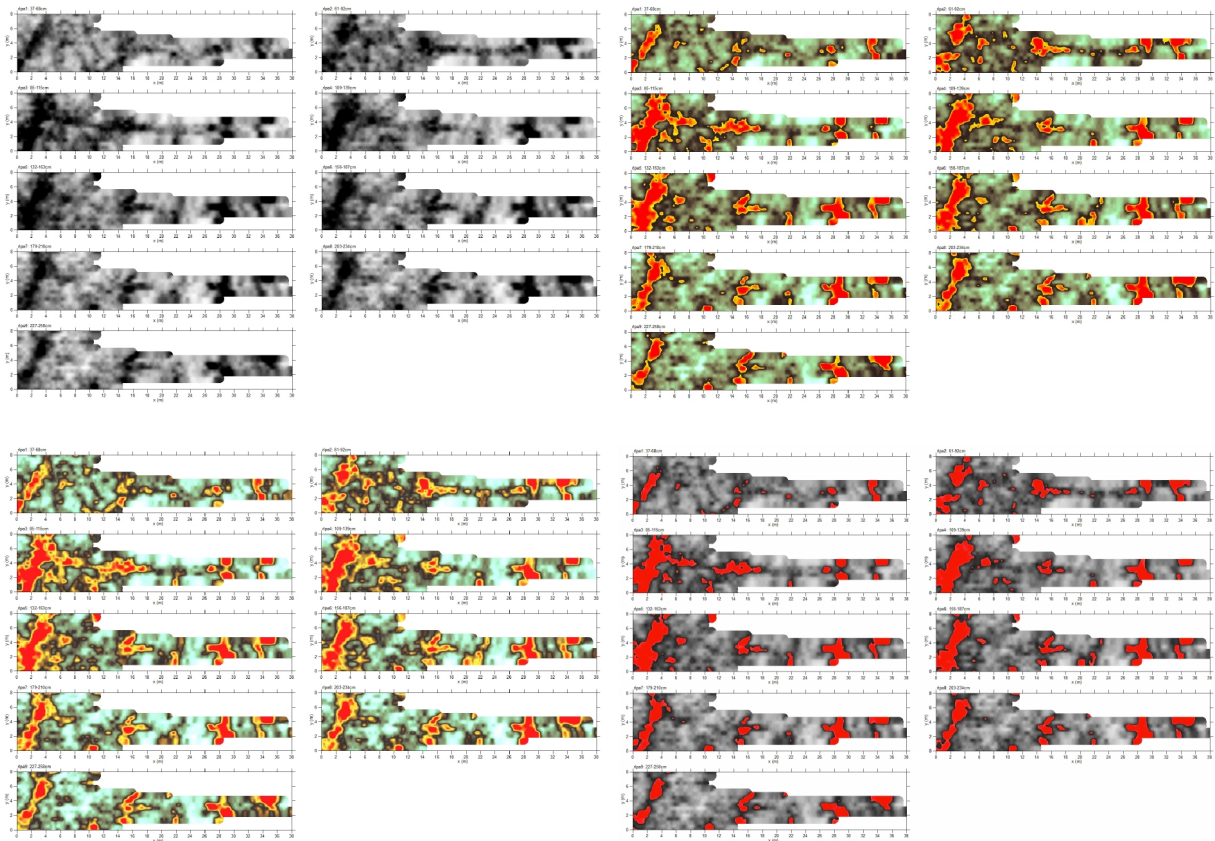
Območje Kv 12



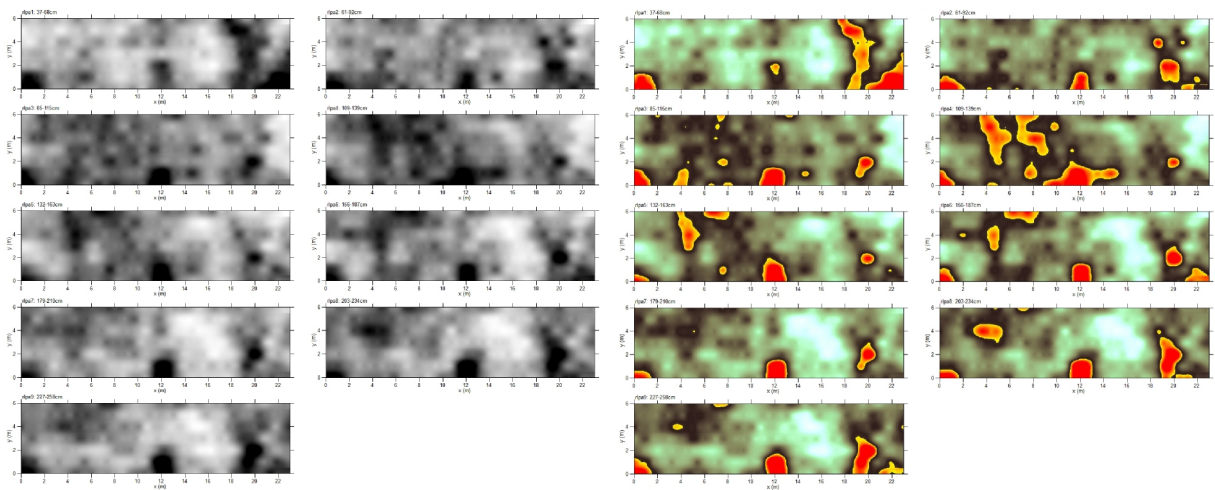
Območje Kv 13

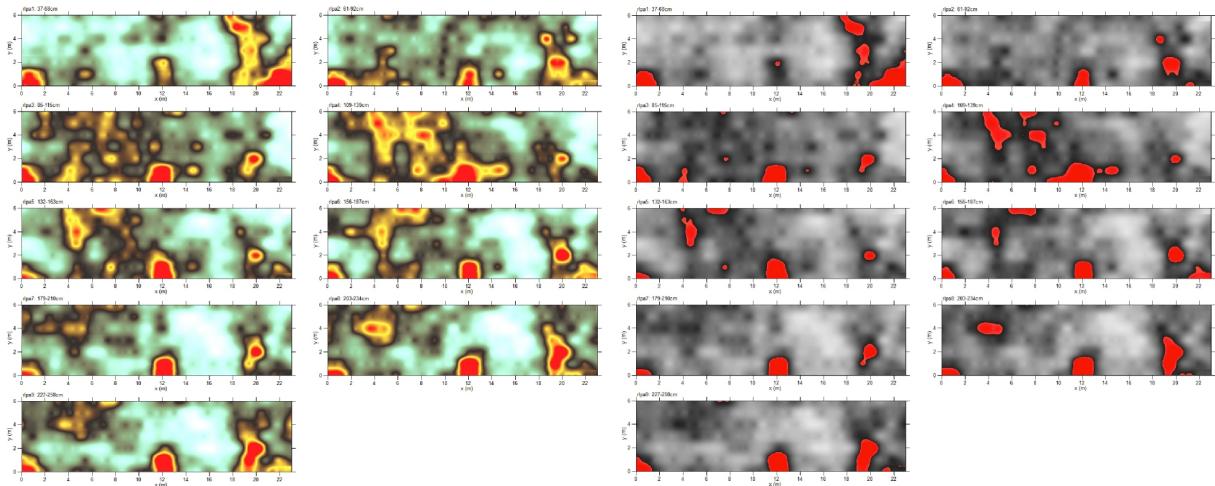


Območje Kv 14

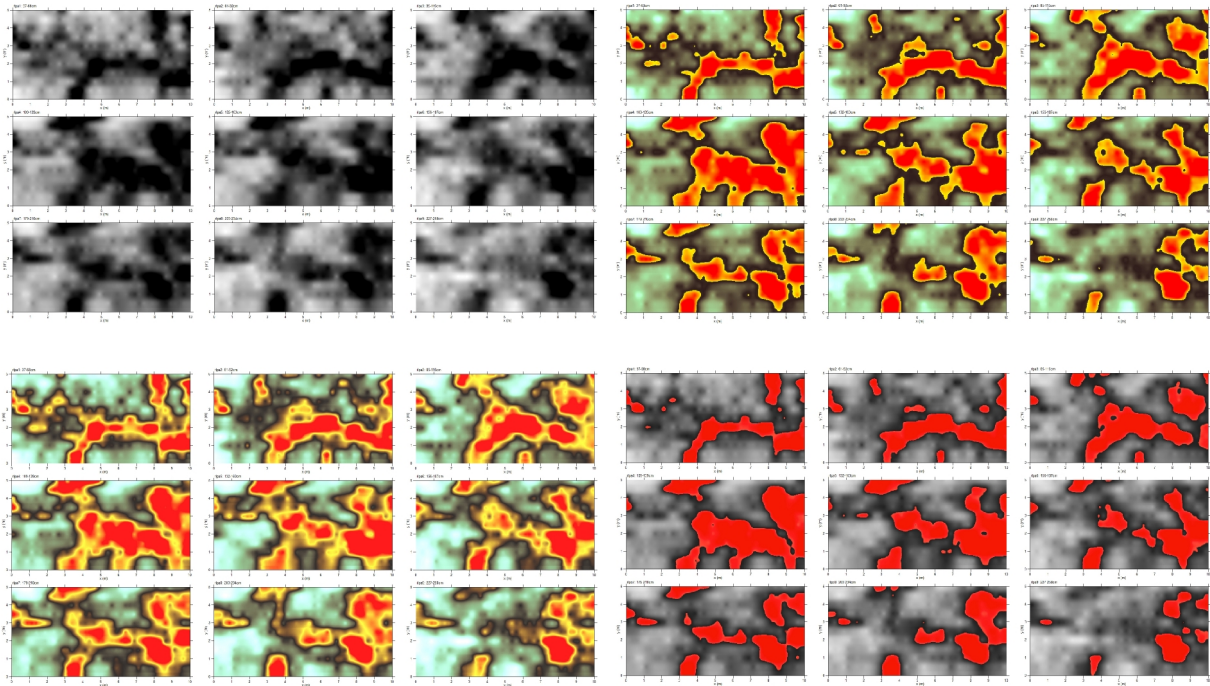


Območje Kv 15

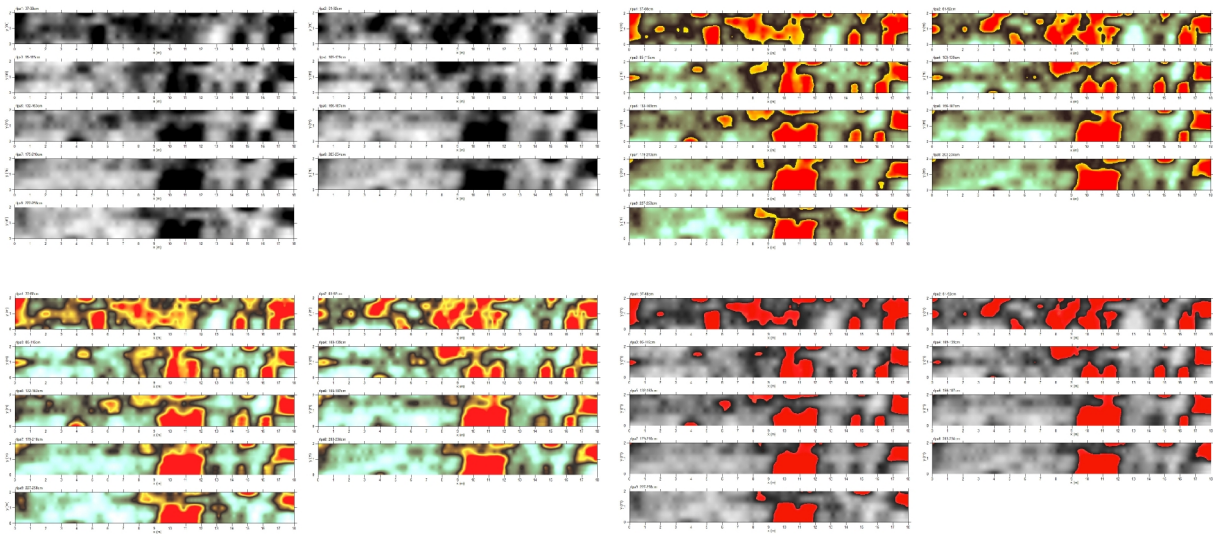




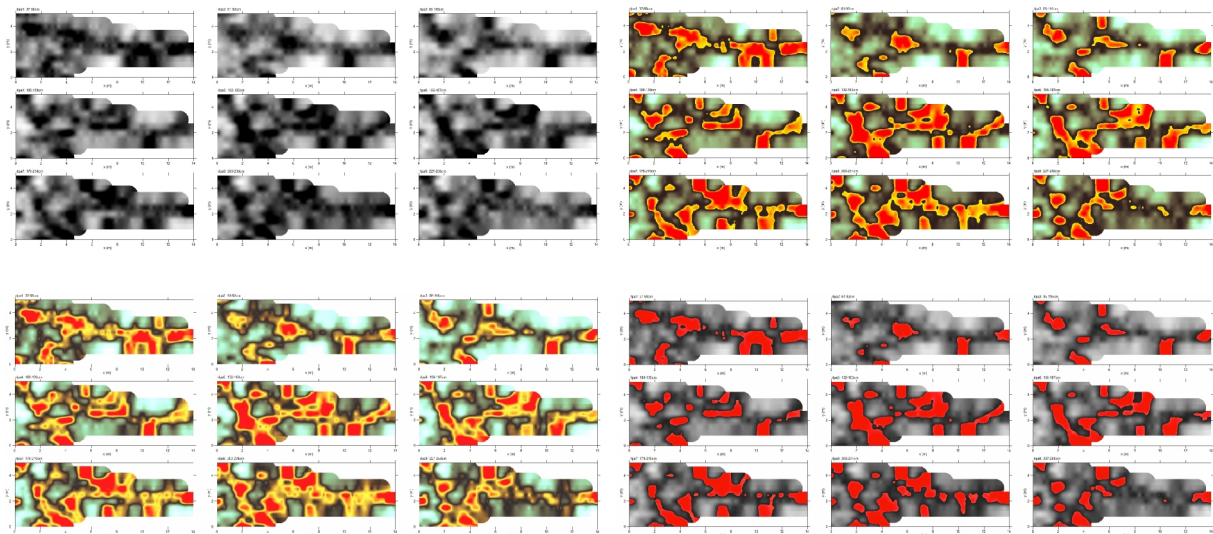
Območje Kv 16



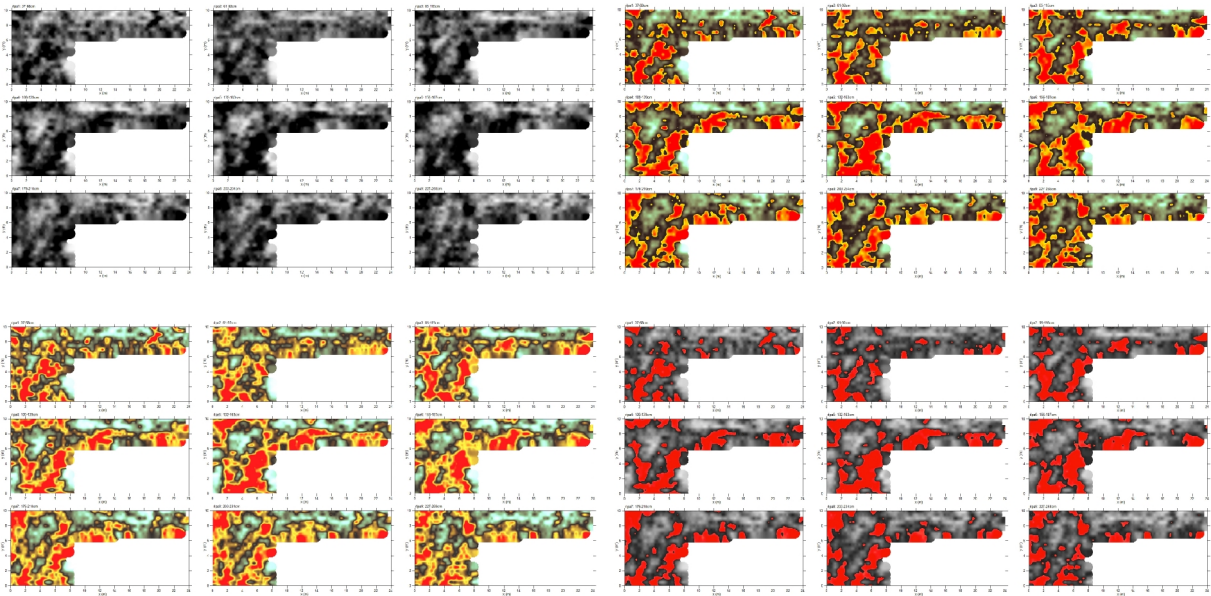
Območje Kv 17



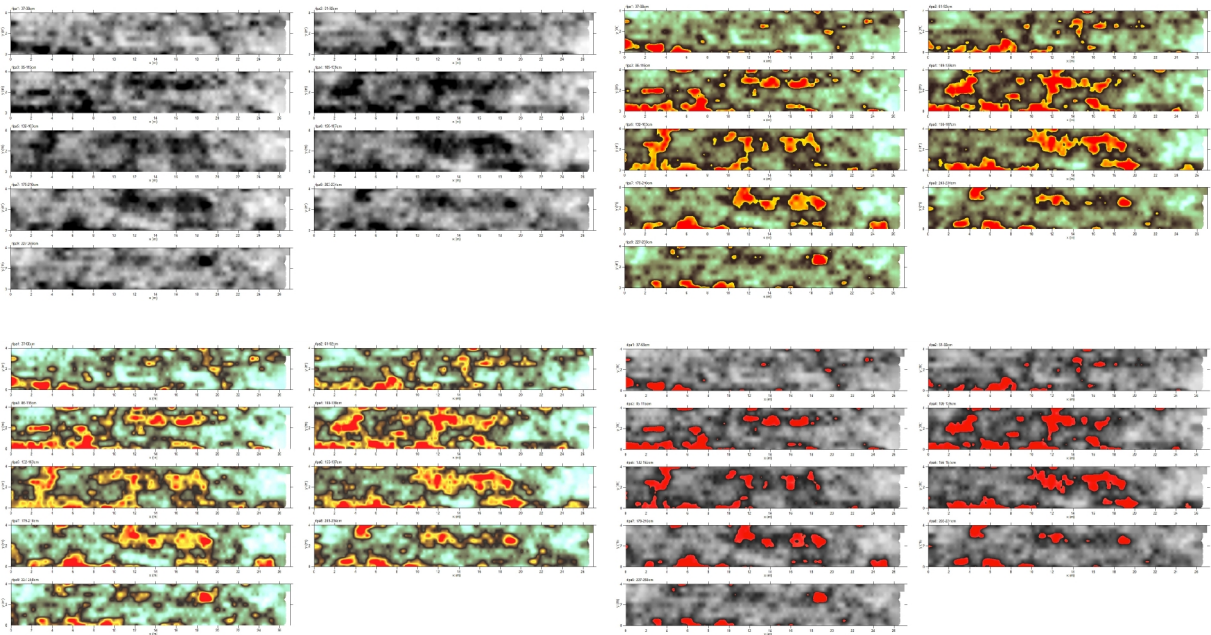
Območje Kv 18



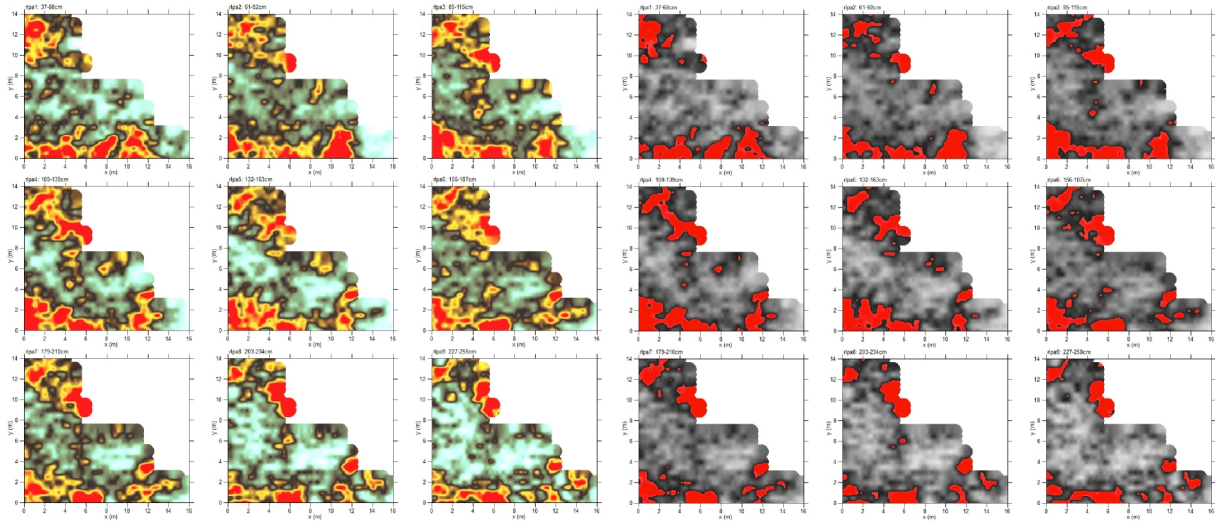
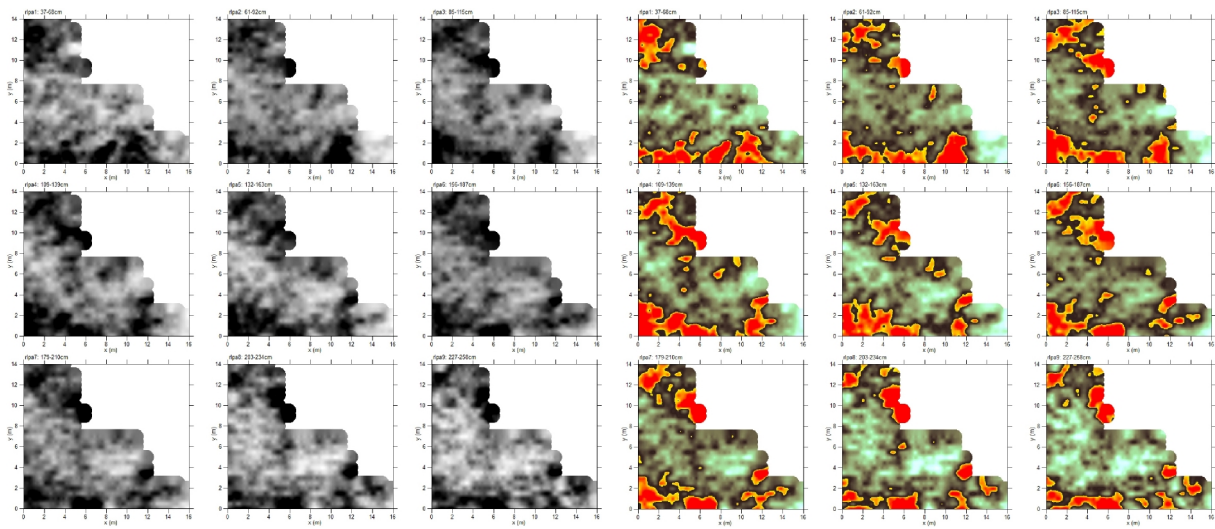
Območje Kv 19



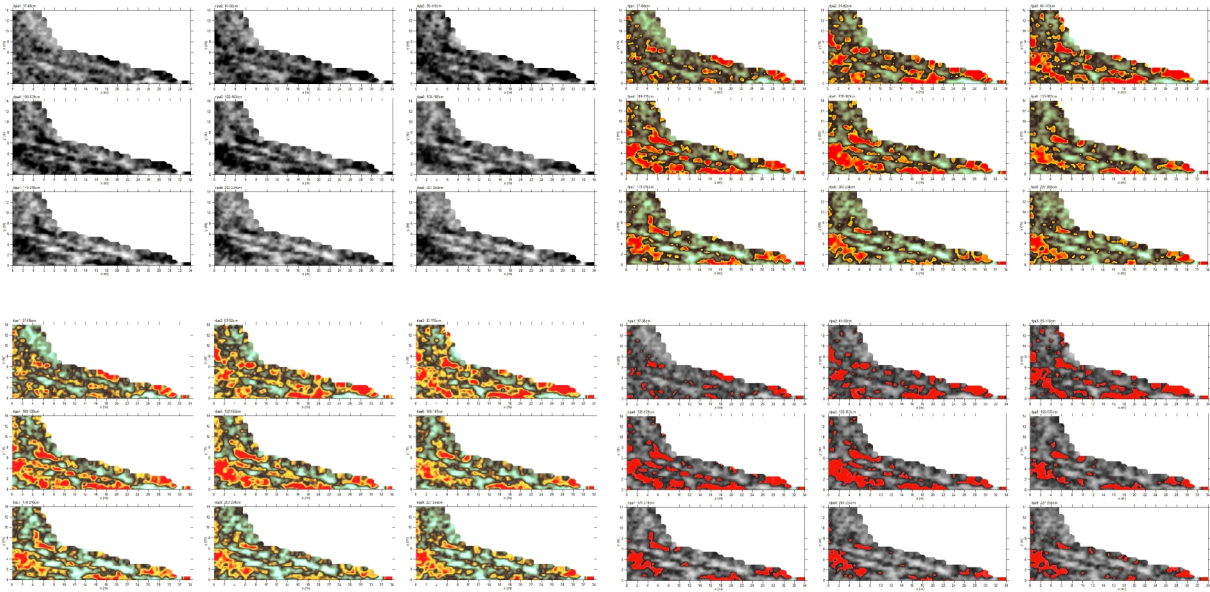
Območje Kv 20



Območje Kv 21



Območje Kv 22



DODATEK k poročilu o georadarski raziskavi na območju Castre v Ajdovščini.

Na slikah A-D so prikazani rezultati georadarske raziskave z interpretacijo izrazitih georadarskih osbojev, ki so posledica podpovršinskih arheoloških arhitekturnih ostankov pri čemer so upoštevani tudi rezultati arheoloških izkopavanj na območju Castre v preteklosti. Na podlagi rezultatov georadarske raziskave in na nekaterih mestih tudi arheoloških izkopavanj v preteklosti so določeni položaji testnih arheoloških sond.



Slika A. Rezultati georadarske metode na aerofotografiji s potekom obzidja in rezultati arheoloških izkopavanj v preteklosti (vir arheoloških podatkov: Vodnik po razstavi, Zgodovina raziskav Castrae, Betka Žbona Trkman s sodelavci).



Slika A1. Rezultati georadarske metode na aerofotografiji s potekom obzidja in rezultati arheoloških izkopavanj v preteklosti z interpretacijo zidov Castre na podlagi rezultatov georadarske raziskave (vir arheoloških podatkov: Vodnik po razstavi, Zgodovina raziskav Castre, Betka Žbona Trkman s sodelavci). Označeni so položaji testnih sond na podlagi rezultatov georadarske raziskave.



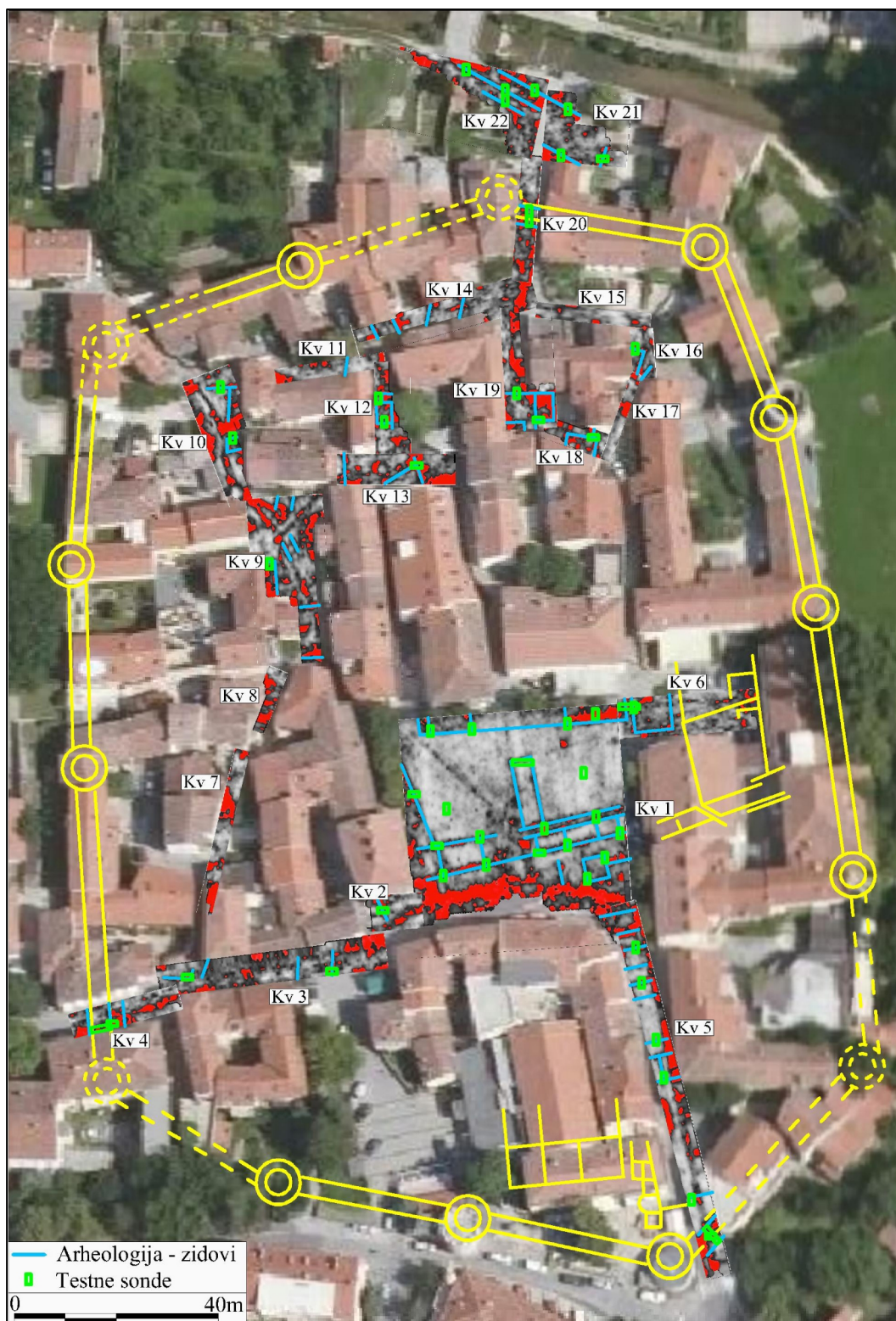
Slika B. Rezultati georadske metode na aerofotografiji s potekom obzidja in rezultati arheoloških izkopavanj v preteklosti (vir arheoloških podatkov: Vodnik po razstavi, Zgodovina raziskav Castre, Betka Žbona Trkman s sodelavci).



Slika B1. Rezultati georadarske metode na aerofotografiji s potekom obzidja in rezultati arheoloških izkopavanj v preteklosti z interpretacijo zidov Castre na podlagi rezultatov georadarske raziskave (vir arheoloških podatkov: Vodnik po razstavi, Zgodovina raziskav Castre, Betka Žbona Trkman s sodelavci). Označeni so položaji testnih sond na podlagi rezultatov georadarske raziskave.



Slika C. Rezultati georadske metode na aerofotografiji s potekom obzidja in rezultati arheoloških izkopavanj v preteklosti (vir arheoloških podatkov: Vodnik po razstavi, Zgodovina raziskav Castre, Betka Žbona Trkman s sodelavci).



Slika C1. Rezultati georadarske metode na aerofotografiji s potekom obzidja in rezultati arheoloških izkopavanj v preteklosti z interpretacijo zidov Castre na podlagi rezultatov georadarske raziskave (vir arheoloških podatkov: Vodnik po razstavi, Zgodovina raziskav Castre, Betka Žbona Trkman s sodelavci). Označeni so položaji testnih sond na podlagi rezultatov georadarske raziskave.



Slika D. Rezultati arheoloških izkopavanj v preteklosti (vir arheoloških podatkov: Vodnik po razstavi, Zgodovina raziskav Castre, Betka Žbona Trkman s sodelavci) in položaji testnih sond na podlagi rezultatov georadarske raziskave.