

GEARH d.o.o.
Radvanjska 13
2000 Maribor



Gsm: 041 580 498
Fax.: 02 33 11 687
brankomusic1@yahoo.com

POROČILO O GEOFIZIKALNI RAZISKAVI

na lokaciji:

Maribor

Minoritska cerkev in Vojašniški trg

Naročnik raziskave:

Mestna občina Maribor
Ulica heroja Staneta 1
2000 Maribor

Avtor poročila:

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

GEARH D. O. O. 

Sodelavci:

Matjaž Mori, Rok Hecl in Jan Hecl

V Mariboru 26.02.2011

Uvod

Namen geofizikalne raziskave Mariborske Minoritske cerkve z njeno okolico na skupni površini 1.300 m² je bil podati oceno arheološkega potenciala pred gradbenimi posegi za preureditev (**slika 5**). Geofizikalna raziskava je bila izvedena z uporabo georadarske metode (GSSI SIR 3000, 400 MHz antena).

Raziskana površina je bila zaradi optimalne izvedbe terenskega dela razdeljena na 6 manjših območij (**slika 5**). Na razmeroma ravnih površinah so bili pogoji za izvedbo meritev razmeroma dobri. Namočenost tal ocenjujemo kot optimalno, ker ni nikjer izdatneje vplivala na pojemanje radarskega signala z globino. Časovno okno za vse georadarske profile je bilo 80 ns, kar pri dielektričnosti glinenega materiala v geološki podlagi pomeni ca. 3 m efektivnega globinskega dosega. Hitrost elektromagnetnega valovanja je bila s postopkom adaptacije hiperbol radarskih odbojev ocenjena na 0,07 do 0,08 m/ns.

Dejanska kompleksnost nekega problema v urbanem okolju je v največji meri odvisna od stanja površine v času raziskave in natančnosti poznavanja stavbne zgodovine obravnavanega prostora z vsemi elementi komunalne ureditve. Pri interpretaciji rezultatov georadarske metode v urbane okolju je ključno poznavanje nekaterih atributov »podzemlja«: npr. zbirni kataster gospodarske javne infrastrukture arhivski dokumenti gradbenih posegov v preteklosti. V času izvajanja terenskih meritev smo kartirali vse površinske znake podzemnih infrastruktur in jih povezali v hipotetične linje. Upoštevali smo tudi rezultate predhodnih arheoloških sondiranj. V sodobnih urbanih okoljih je predstavljanje rezultatov raziskave v 3D pogosto nespregljiva nujnost in smo se zato tega načina posluževali tudi pri tej raziskavi. Zaradi izredne kompleksnosti preiskovanega medija je bilo potrebno upoštevati čim več razpoložljivih orodij za prikazovanje, analizo in interpretacijo izmerjenih razlik v fizikalnih poljih.

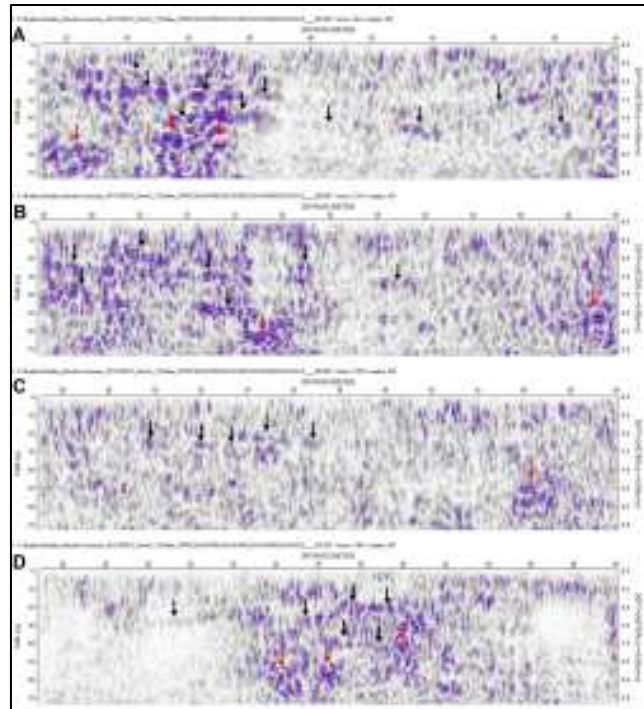
Uporabljena geofizikalna metoda in rezultati

Georadarska metoda

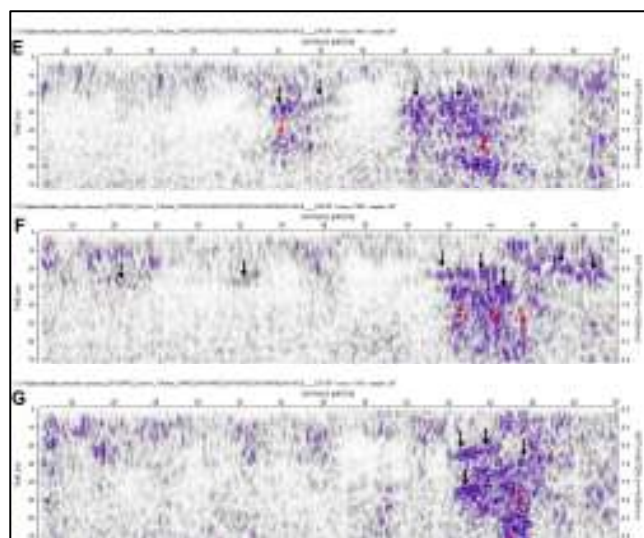
Vertikalno in horizontalno ločljivost ter globino dosega georadarskega signala v praksi nadziramo z izbiro ustrezne centralne frekvence oddajne antene s katero je določena valovna dolžina EM valovanja. Globina dosega 400 MHz antene, ki se zaradi ugodnega razmerja med efektivno globino dosega in ločljivostjo pogosto uporablja v urbanih okoljih, je v optimalnih pogojih, v relativno suhem okolju največ 3 m, običajno pa le do 2,5 m. Poleg frekvence antene namreč na globino dosega močno vpliva tudi vlažnost preiskovanega medija. Ločljivost je v splošnem določena s polmerom eliptične osnovne ploskve stožca EM snopa, ki je definirana kot: $A=\lambda/4$. Za prepoznavanje horizontalnih reflektorjev je pomembna vertikalna ločljivost, ki predstavlja najmanjšo razdaljo, na kateri je možno dva georadarska odboja še obravnavati kot dve ločeni georadarski meji. To pomeni, da lahko pri predpostavljeni dielektričnosti 15 z 400 MHz anteno na radargramih zanesljivo prepoznamo horizontalne plasti debeline večje od 0,05-0,1 m. Ciljni objekt bo na radargramu viden le v primeru, ko so amplitude odbojev zadosti kontrastne. Amplituda odboja EM valov na meji dveh materialov z

različno dielektričnostjo (npr. tla/zid, tla/arheološka plast) je odvisna od refleksijskega koeficienta: $R = (\epsilon_1^{1/2} - \epsilon_2^{1/2}) / (\epsilon_1^{1/2} + \epsilon_2^{1/2})$, pri čemer je ϵ_1 dielektričnost okolja oz. medija in ϵ_2 je dielektričnost ciljnega objekta.

Merjeni parameter pri georadarski metodi je poleg amplitude povratnega EM vala še dvojni čas potovanja EM vala, izražen v nanosekundah (10^{-9} s). Ob poznavanju srednje dielektričnosti preiskovanega medija in s tem hitrosti širjenja EM valovanja, lahko čase povratnih odbojev pretvorimo v dolžinske enote oz. globinske sekcije (**sliki 1 in 2**).



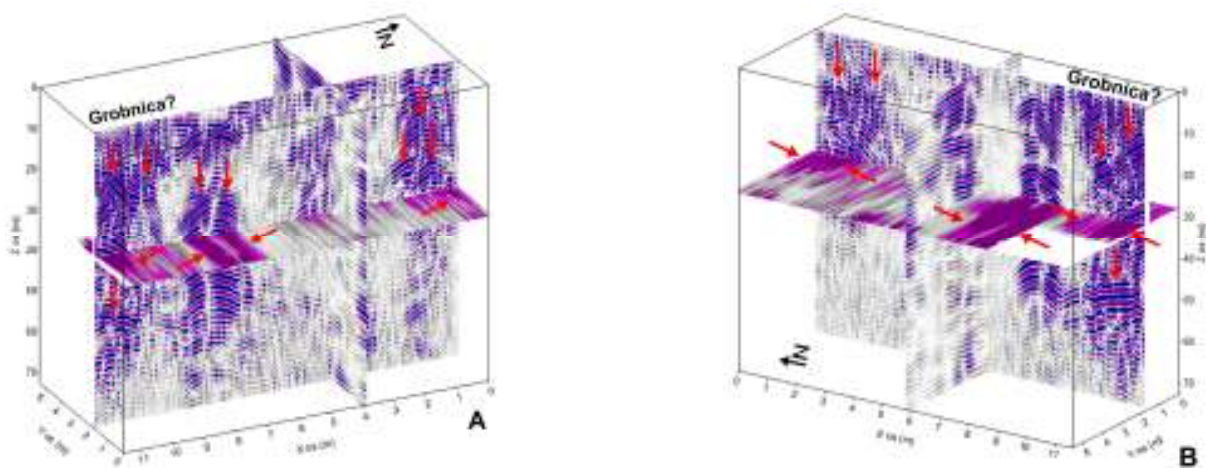
Slika 1A: Maribor – Minoritska cerkev. Posamični radarski profili z označenimi karakterističnimi radarskimi odboji, ki se pojavljajo na območju Kv_7 (**slika 5**). Črne puščice označujejo odboje od (sub)horizontalnih plasti, ki so najverjetneje nastajale kot izravnalne faze v dolgi stavbni zgodovini tega območja, rdeče puščice označujejo posamične izrazite radarske odboje, ki jih pripisujemo arheološkim arhitekturnim ostankom.



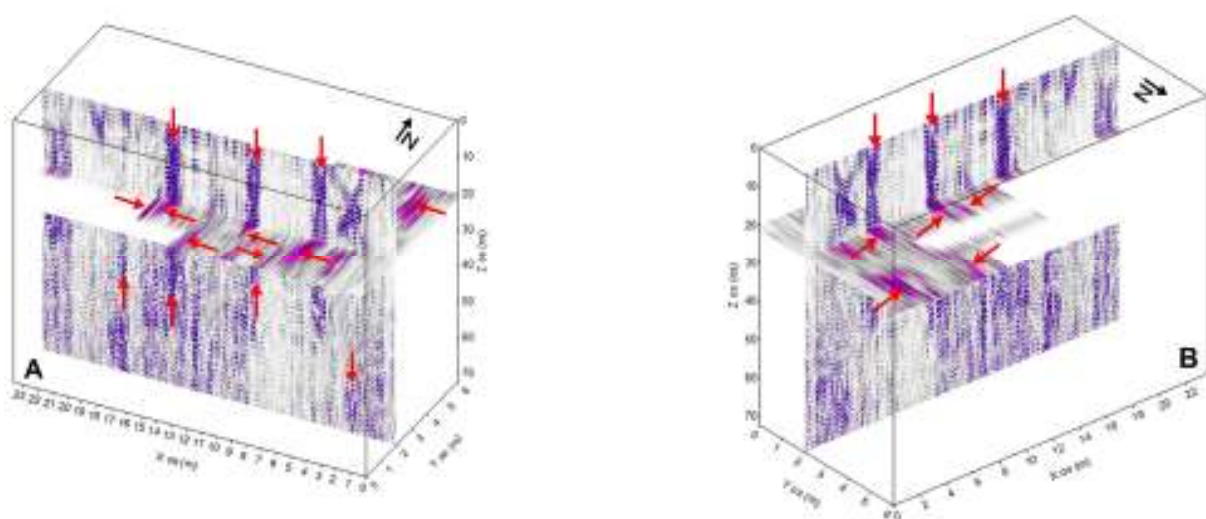
Slika 1B: Maribor – Minoritska cerkev. Posamični radarski profili z označenimi karakterističnimi radarskimi odboji, ki se pojavljajo na območju Kv_7 (**slika 5**). Črne puščice označujejo odboje od (sub)horizontalnih plasti, ki so najverjetneje nastajale kot izravnalne faze v dolgi stavbni zgodovini tega območja, rdeče puščice označujejo posamične izrazite radarske odboje, ki jih pripisujemo arheološkim arhitekturnim ostankom.

Najbolj razširjen je način prikazovanja rezultatov s t. i. časovnimi prerezi (»time slices«), ki predstavljajo časovne reze serije vzporednih in praviloma enako oddaljenih radarskih profilov. Priporočljiva razdalja med vzorednimi profili v urbanih okoljih je zaradi visokega šuma 0,5 m in le izjemoma, kjer terenske okoliščine tega ne dopuščajo, do največ 1 m. Rezultat časovnih rezov je diagram enakih amplitud odbojev v istem časovnem območju povratnih valov. V arheološki praksi to pomeni serijo »tlorisov« na poljubnih globinah (glej slike 5, 6, 7, 8, 9 in 10 ter Priloge od 1 do 7).

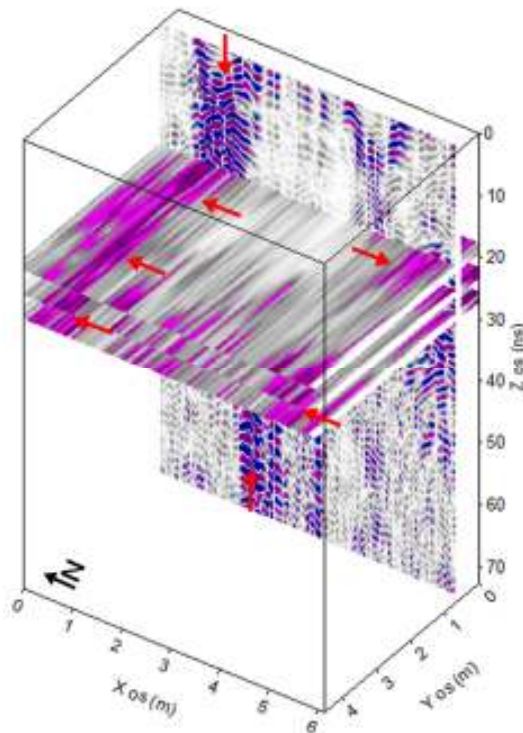
Prednost 3D načina prikazovanja je vpogled v amplitude arheološko pomenljivih radarskih odbojev z opazovanjem presekov radarskih odbojev v več med seboj pravokotnih ravninah, kar omogoča natančne zaključke o obliki in prostorskih razsežnostih arheoloških ostankov. Na ta način hitro in zanesljivo ocenimo globino, na kateri se pojavijo arhitekturni ostanki, relativne razlike v debelini zidov in njihovi ohranjenosti, identificiramo prostore s tlakovano površino ipd. (slike 2, 3 in 4).



Slika 2: Maribor – Minoritska cerkev. 3D prikazi rezultatov georadarske metode na območju Kv_1 (slika 5). Vidimo številne izrazite radarske odboje od arhitekturnih ostankov, ki so označeni z rdečimi puščicami (tudi grobnica!).



Slika 3: Maribor – Minoritska cerkev. 3D prikazi rezultatov georadarske metode na območju Kv_2 (slika 5). Vidimo številne izrazite radarske odboje od arhitekturnih ostankov, ki so označeni z rdečimi puščicami.



Slika 4: Maribor – Minoritska cerkev. 3D prikazi rezultatov georadarske metode na območju Kv_3 (slika 5). Vidimo izrazite radarske odboje od arhitekturnih ostankov, ki so označeni z rdečimi puščicami.

K arheološki izpovednosti rezultatov georadarske metode v urbanih okoljih pomembno prispevajo meritve v vsaj dveh različnih frekvenčnih območjih (npr. 400 in 200 MHz). To pomeni, da moramo pri enokanalni merilni konzoli meritve opraviti dvakrat. Na ta način dobimo zelo natančne rezultate do globine ca. 2 m, kar nam omogoča prepoznavanje in razčlenjevanje zadnjih intervencij s komunalnimi vodi. Rezultate dopolnimo z 200 Mhz, ki ima pri nekoliko slabši ločljivosti večji globinski doseg.

Rezultati georadarske metode

Z zelenimi linijami so označene infrastrukture kot smo jih zaenkrat identificirali na podlagi položaja pokrovov in pregleda georadarskih profilov (slike 5 – 10). Koristno bi bilo to “prognostično” karto infrastruktur dopolniti s podatki komunalne javne infrastrukture s katerimi raspolaga komunalna služba Mestne občine Maribor.

V Minoritski cerkvi smo izmerili položaj sond in vnesli nekaj fotografij iz poročila o arheološkem sondiranju (Kovač, O. 2010), ki so bile posnete približno pravokotno na podlago. Na ta način smo pridobili pomembne podatke arheoloških izkopavanj za vrednotenje rezultatov georadarske raziskave (slike 5-10).

Efektivna globina dosega oz. globin s katere še dobivamo uporabne podatke za arheološko interpretacijo je bila na vseh območjih zelo podobna in je znašala 2 – 2,5 m. Pri tem smo se opirali na rezultate izkopavanj. V cerkvi smo sledili odbojem od arhitekturnih ostankov do globine ca 1,5 m. Možno je, da segajo ponekod še globlje, vendar so signali na večjih globinah zaradi kompleksnosti »medija« manj jasni.

Minoritska cerkev:

Območji Kv_1 in Kv_2 (slike 5-10, Priloga 1) se deloma prekrivata. V Kv_1 smo ugotovili na južnem delu dve vzporedni liniji (E-W), ki sta posledica dveh »močnejših« zidov. Reče obrobljena rumena polja kažejo na območja izrazito močnih radarskih odbojev od večjih objektov. Na južnem robu cerkvene ladje se najverjetneje nahaja grobnica(!). V centralnem območju Kv_1 (tudi Kv_2) se vidi učinek arheološke testne sonde. Sicer so rdeče obrobljena polja območja močnih radarskih odbojev na mestih, kjer se nahajajo debelejši zidovi in/ali več gradbenih faz z zidovi na različnih globinah. Vsekakor so to pomembne indikacije, ki jih je potrebno upoštevati pri načrtovanju nadaljnjih raziskav.

Na zahodni polovici **Območja Kv_2 (slike 5-10, Priloga 2)** je več vzporednih linij močnih radarskih odbojev, ki kažejo na zidove/ruševine. Izrazitejši odboji so označeni z debelejšimi črtami. Ugotovili smo nadaljevanje zidu v smeri sever-jug, ki je bil odkrit pri arheoloških izkopavanjih in še več drugih približno vzporednih zidov v bolj centralnem delu cerkvene ladje.

Na **Območju Kv_3 (slike 5-10, Priloga 3)** se dokaj jasno kaže samo relativno močnejša anomalija v smeri W-E vzdolž severnega zidu cerkve. Najverjetneje gre za zid, ki pa je nekoliko slabše ohranjen kot npr. v Kv_1 ali nekateri debelejši zidovi v Kv_2. Poleg te razmeroma izrazite linije je še nekaj drugih močnih radarskih odbojev, ki pa so lahko posledica ruševinskih plasti.

Zahodna stran Minoritske cerkve:

Na skrajnem severnem robu **Območja Kv_4 (slike 5-10, Priloga 4)** (v smeri današnje dostavne poti) je več različno močnih linijskih odbojev pravokotnih na današnji opečni zid s plitvimi nišami. Najmočnejši radarski odboji so bili izmerjeni na zahodni strani opečnega zidu, nekoliko šibkejši pa na vzhodni strani. Predvsem na zahodni strani gre zanesljivo za zidane objekte vendar je potrebno preveriti, da ne gre slučajno za sodobne konstrukcije, ker se odboji pojavijo že na globini ca. 30 cm. Na ostalem delu površine Kv_4 se na različnih globinah pojavljajo neizrazite krajše linije, ki predstavljajo sledove nakdanje ureditve. Lahko gre tudi za manjše kamnite oz. zidane konstrukcije. Glede na to, da je za razliko od ostalih raziskanih območij na tem območju veliko približno izometričnih »belih lis« oz. območij z močnim pojemanjem radarskega signala, se zdi verjetno, da gre za območje nekdanjega pokopališča (površina očrtana s krožnico). Podobnim odbojem sledimo do globine ca 2 m. Ni izključeno, da je to vse skupaj učinek nasutja za izravnavo terena, vendar se v tem primeru to zdi manj verjetno.

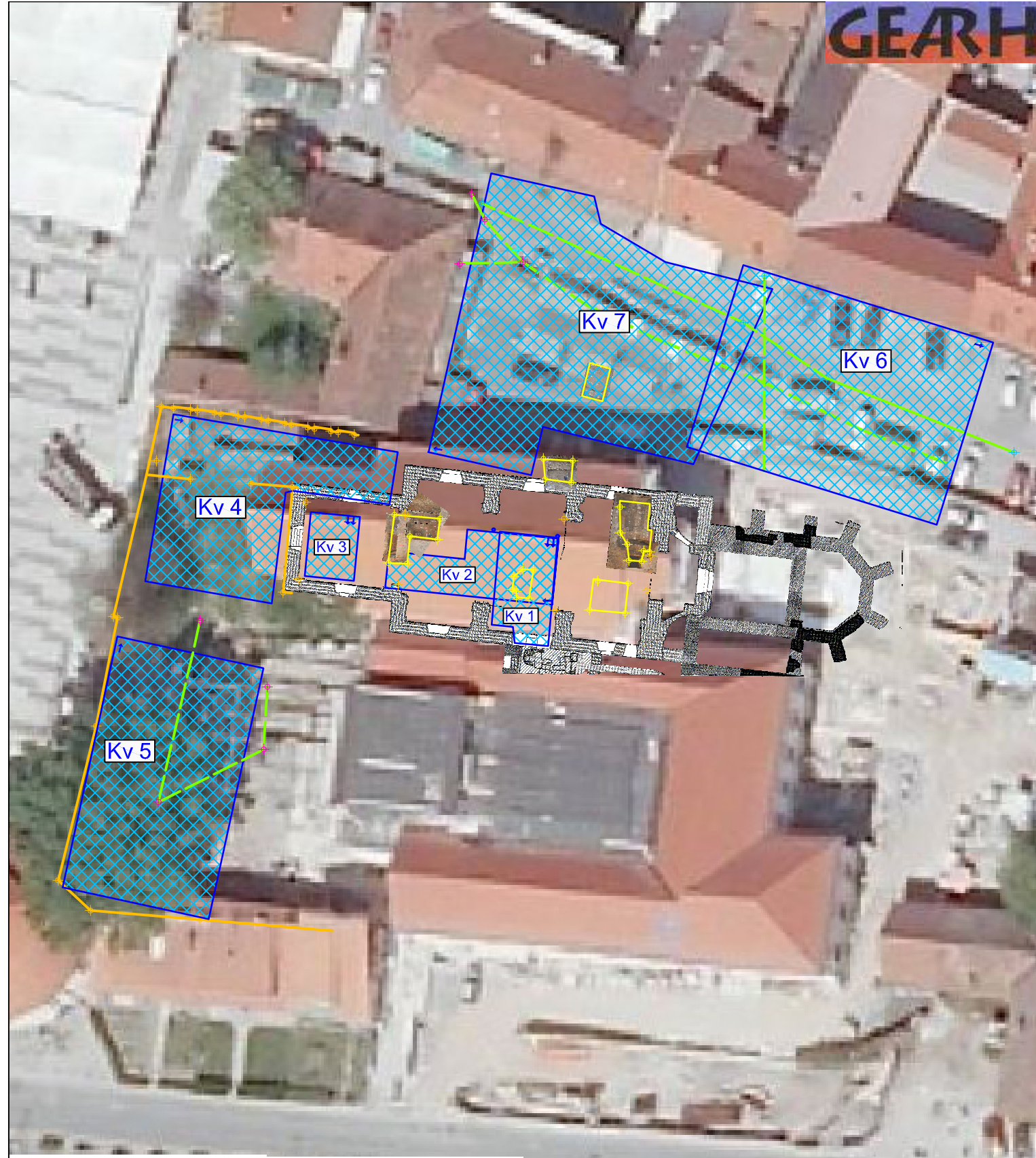
Na **Območju Kv_5 (slike 5-10, Priloga 5)** je nekaj pokrovov infrastrukture, ki smo jih povezali v linije. Razen tega je še veliko drugih radarskih odbojev, ki so najverjetneje učinek starejših gradbenih faz. Vsi arheološko pomenljivi radarski odboji so označeni s puščicami. Tudi tukaj bi se bilo potrebno pozanimati, da ni del teh odbojev posledica sodobnih intervencij za preureditev Minoritskega samostana. Glede na pokrove infrastrukture je nekaj intervencij bilo, vendar s temi ne moremo razlišiti vseh radarskih odbojev kot posledico novodobne komunalne ureditve.

Severna stran Minoritske cerkve (Vojašniški trg):






Območji na današnjem parkirišču na Vojašniškem trgu neposredno severno ob Minoritski cerkvi (**Kv_7**) in današnja cesta v nadaljevanju Vojašniškega trga proti vzhodu (**Kv_6**) (**slike 5-10, Priloge 6 in 7**). Gre za izredno zahtevni območji za interpretacijo georadarskih signalov. Namembnost teh površin je bila večkrat spreminjana in je učinek posegov v preteklosti ob upoštevanju tudi sodobnih posegov veliko izrazitejši, kot na ostalih območjih. Kljub temu nam je z ustreznimi postopki procesiranja uspelo odstraniti večji del radarskih odbojev, ki predstavljajo odziv raznih nasutij in sodobnih komunalnih vodov, ki bi jih lahko zamenjali z arheološkimi arhitekturnimi ostanki. Z zelenimi vprašaji sta označena ca. 2-3m široka pasova zelo močnih radarskih odbojev. Na tem mestu na površju ni pokrovov razen na skrajnem zahodnem delu te linije. Lahko gre za betonske cevi kanalizacije vendar se zdi širina anomalije prevelika. Anomalija na območju infrastrukture sestoji iz učinka objekta (cevi) in materiala s katerim je zapolnjen izkop za to cev in je lahko skupno anomalno območje tudi znatno širše od premera cevi. Zaenkrat ne vemo povsem zanesljivo ali gre za učinek komunalne javne infrastrukture ali arheoloških arhitekturnih ostankov. Seveda ni izključeno niti, da se mestoma prostorsko prekrivajo. Na teh mestih (??) je potrebno za zanesljivejšo interpretacijo preveriti obstoječe karte infrastruktur! Arheološko pomenljivi radarski odboji se v glavnem pojavljajo na globini večji od 1 m oz. ca. 1,5 m. Vsi ti izraziti radarski odboji, ki zanesljivo niso posledica infrastruktur, temveč jih pripisujemo učinku arheoloških arhitekturnih ostankov in/ali ruševinskega materiala, so označeni s puščicami.

Literatura:

Otmar K. 2010. Poročilo o izvedeni predhodni arheološki raziskavi, podpovršinski terenski pregled z ročnimi testnimi sondami na območju Vojašniškega trga in Minoritske cerkve v Mariboru. Arheološke raziskave Otmar Kovač s.p. (nov. 2010).



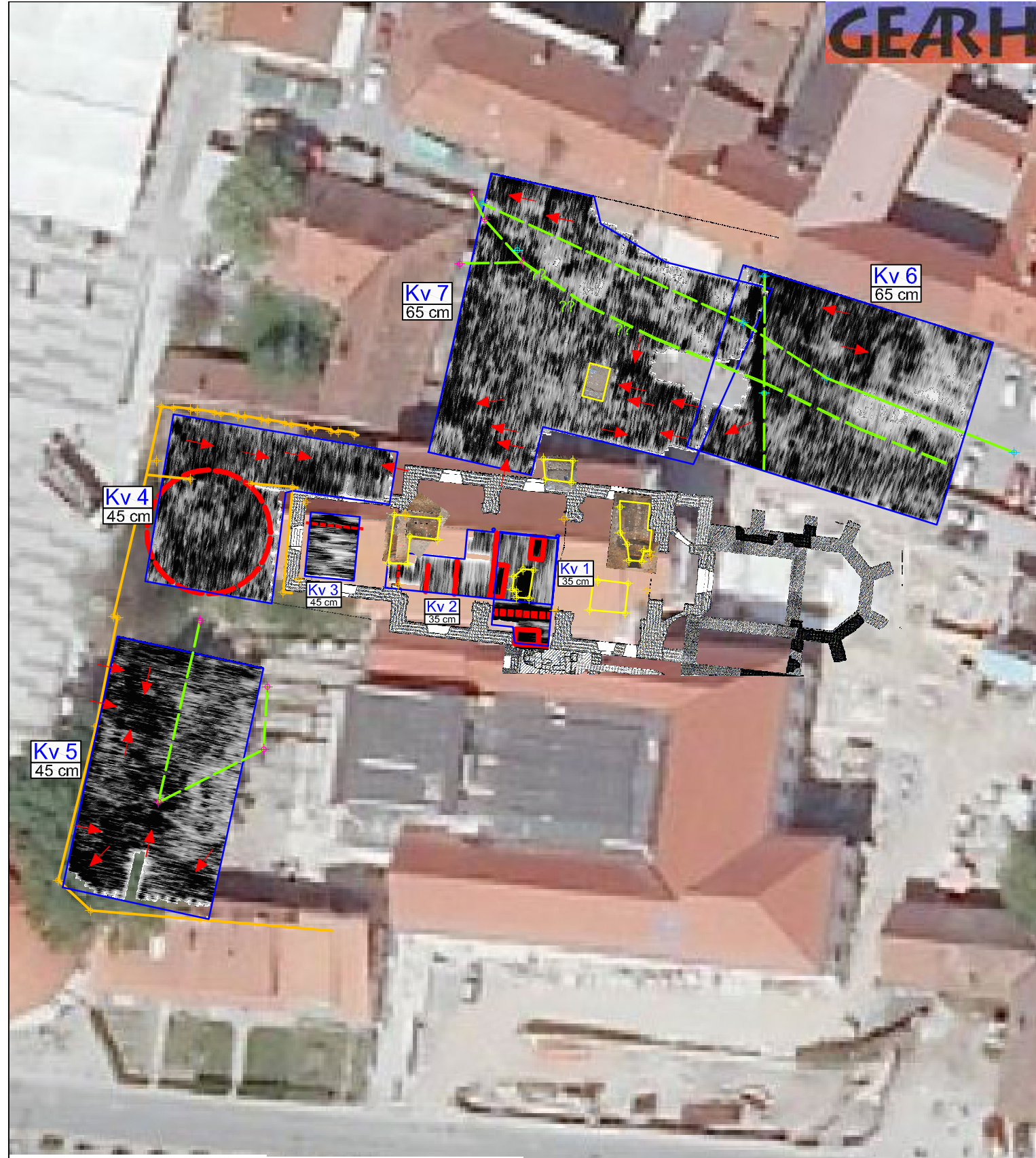
Legenda

-  Raziskane površine
-  Arheološke sonde
-  Posnetek zidov
-  Linije komunalnih vodov
-  Pokrovi komunalnih vodov

SLIKA 5

Maribor - Minoritski samostan
Georadarska raziskava (feb. 2011)
 Raziskane površine: Kv_1 - Kv_7.





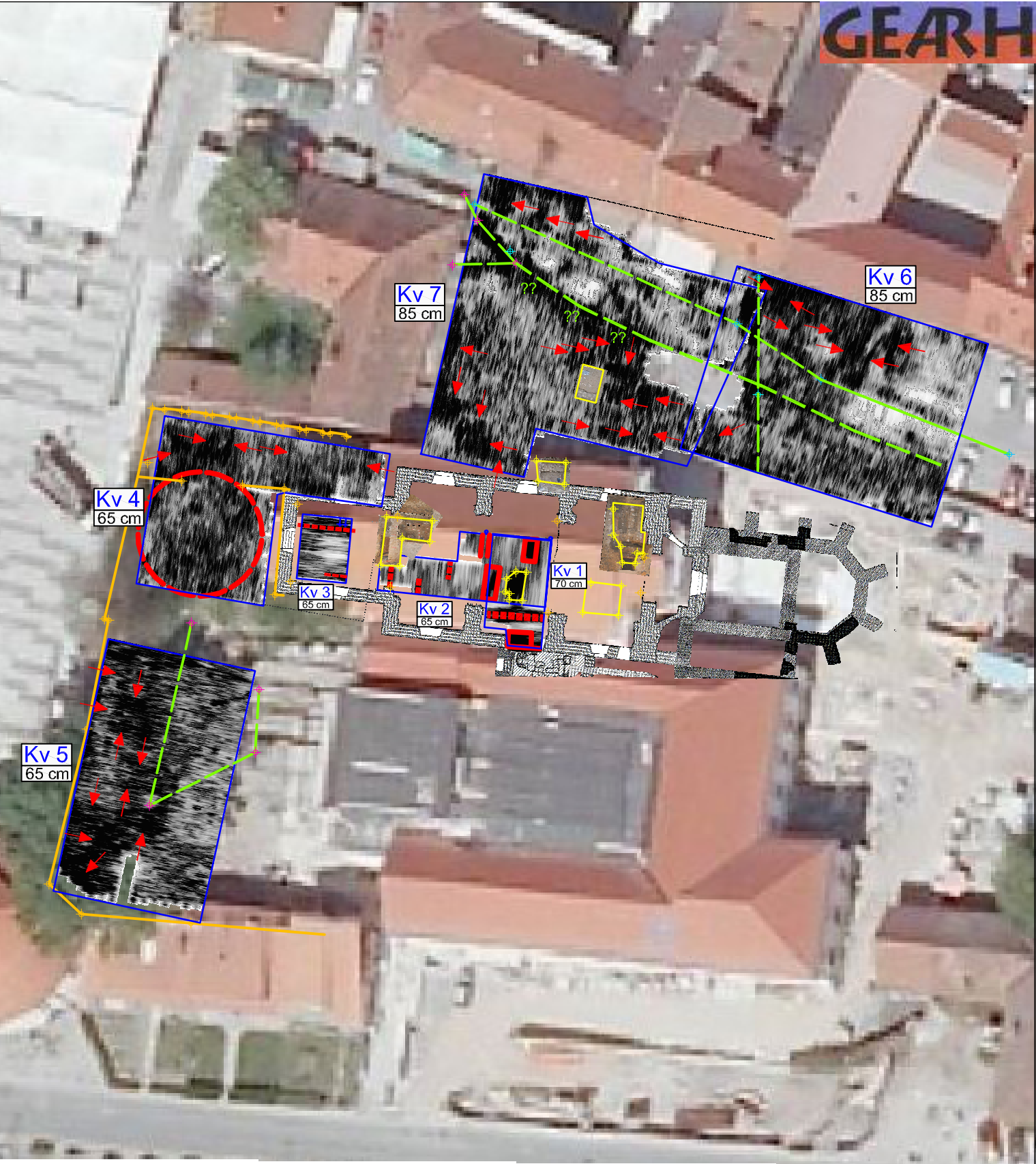
Legenda

- Raziskane površine
- Arheološke sonde
- ↗ Izraziti radarski odboji (zidovi in/ali ruševinske plasti)
- Arheološko pomenljivi radarski odboji
- Posnetek zidov na površini
- Linije komunalnih vodov
- ✚ Pokrovi komunalnih vodov

SLIKA 6

Maribor - Minoritski samostan
Georadarska raziskava (feb. 2011)
 Rezultati georadarske raziskave.





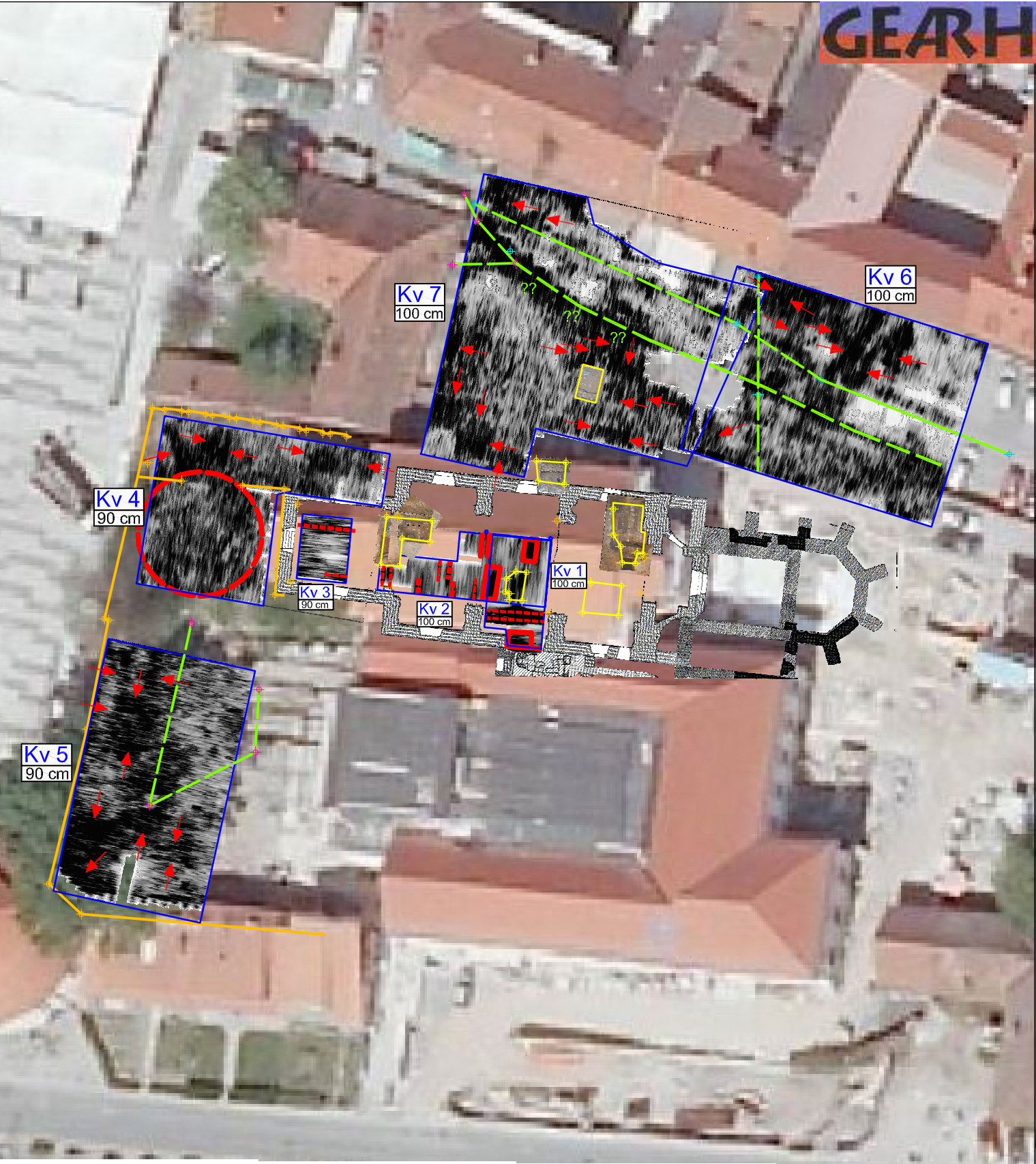
Legenda

- Raziskane površine
- Arheološke sonde
- ↗ Izraziti radarski odboji (zidovi in/ali ruševinske plasti)
- Arheološko pomenljivi radarski odboji
- Posnetek zidov na površini
- Linije komunalnih vodov
- ✚ Pokrovi komunalnih vodov

SLIKA 7

Maribor - Minoritski samostan
Georadarska raziskava (feb. 2011)
 Rezultati georadarske raziskave.





Legenda

- Raziskane površine
- Arheološke sonde
- ↗ Izraziti radarski odboji (zidovi in/ali ruševinske plasti)
- Arheološko pomenljivi radarski odboji
- Posnetek zidov na površini
- Linije komunalnih vodov
- ✚ Pokrovi komunalnih vodov

SLIKA 8

Maribor - Minoritski samostan
Georadarska raziskava (feb. 2011)
 Rezultati georadarske raziskave.





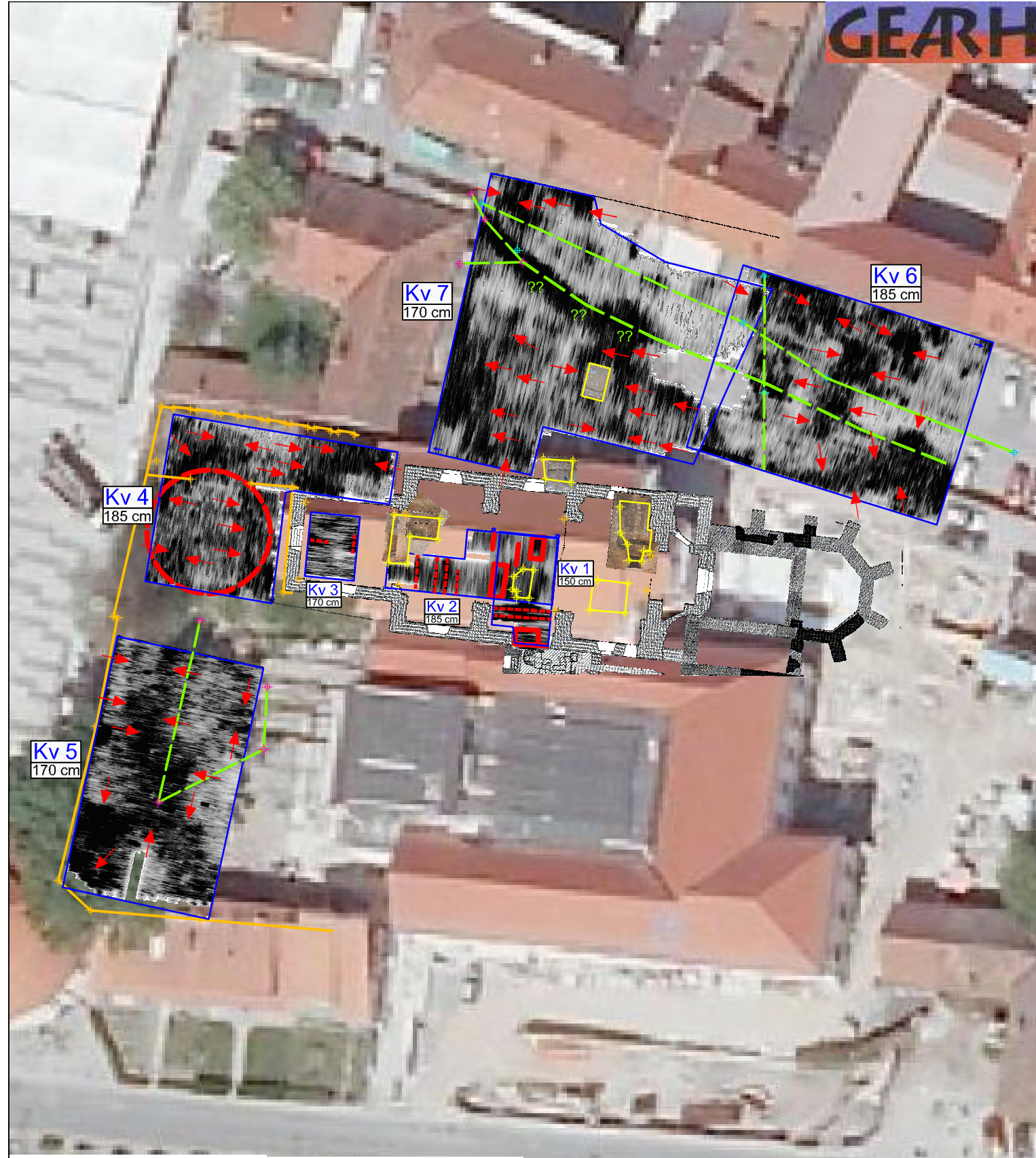
Legenda

- Raziskane površine
- Arheološke sonde
- ↗ Izraziti radarski odboji (zidovi in/ali ruševinske plasti)
- Arheološko pomenljivi radarski odboji
- Posnetek zidov na površini
- Linije komunalnih vodov
- + Pokrovi komunalnih vodov

SLIKA 9

Maribor - Minoritski samostan
Georadarska raziskava (feb. 2011)
 Rezultati georadarske raziskave.





Legenda

- Raziskane površine
- Arheološke sonde
- ↗ Izraziti radarski odboji (zidovi in/ali ruševinske plasti)
- Arheološko pomenljivi radarski odboji
- Posnetek zidov na površini
- Linije komunalnih vodov
- + Pokrovi komunalnih vodov

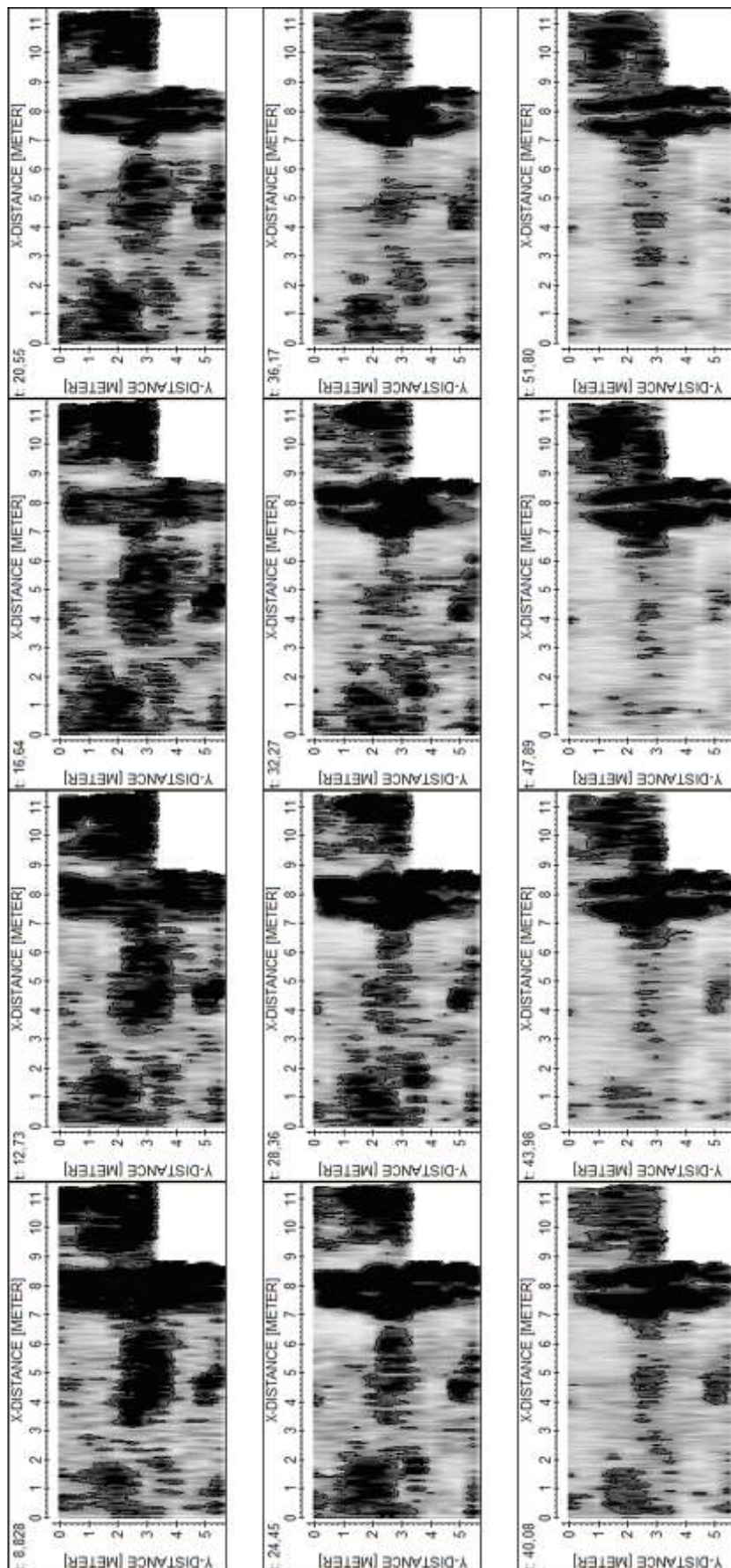
SLIKA 10

Maribor - Minoritski samostan
Georadarska raziskava (feb. 2011)
 Rezultati georadarske raziskave.

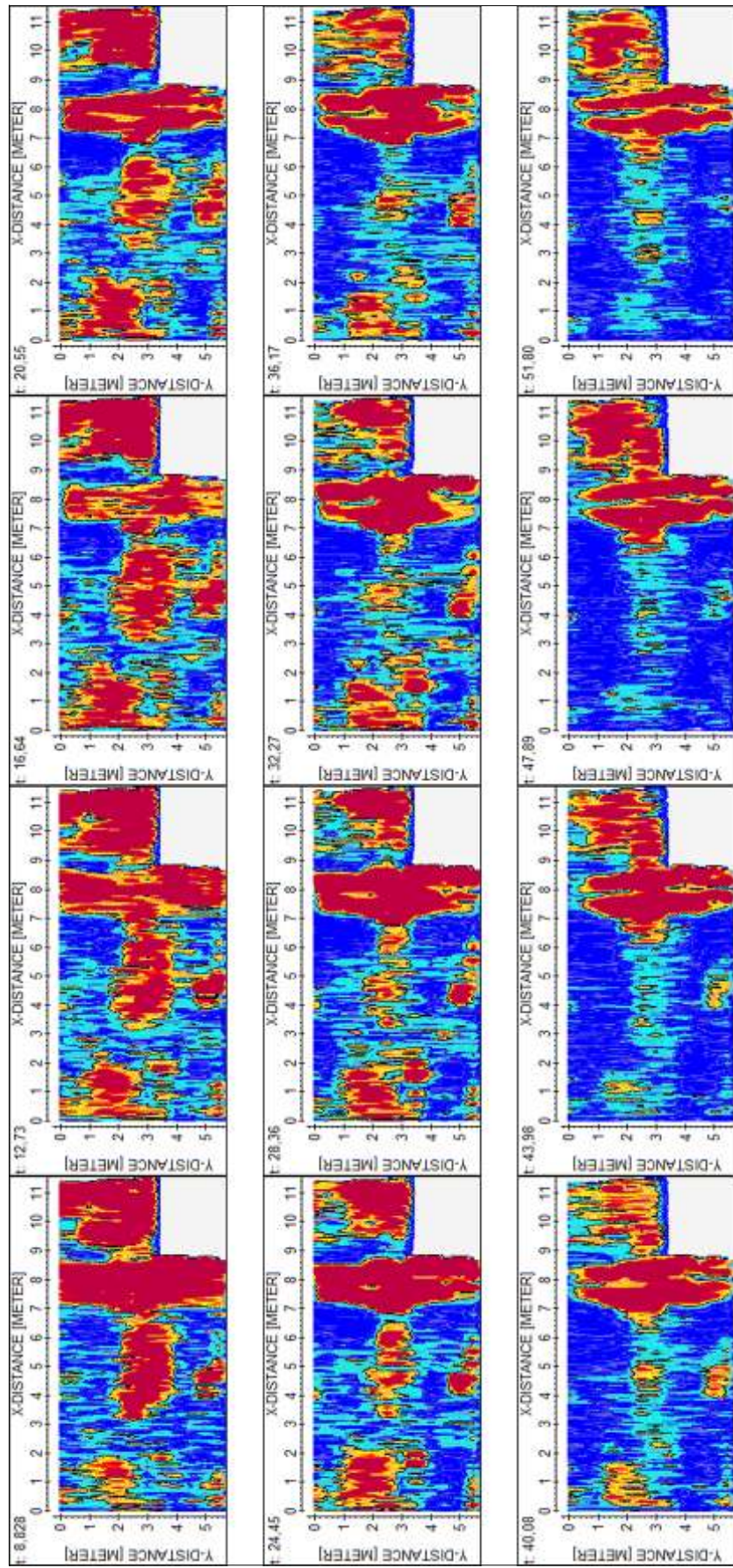


PRILOGE

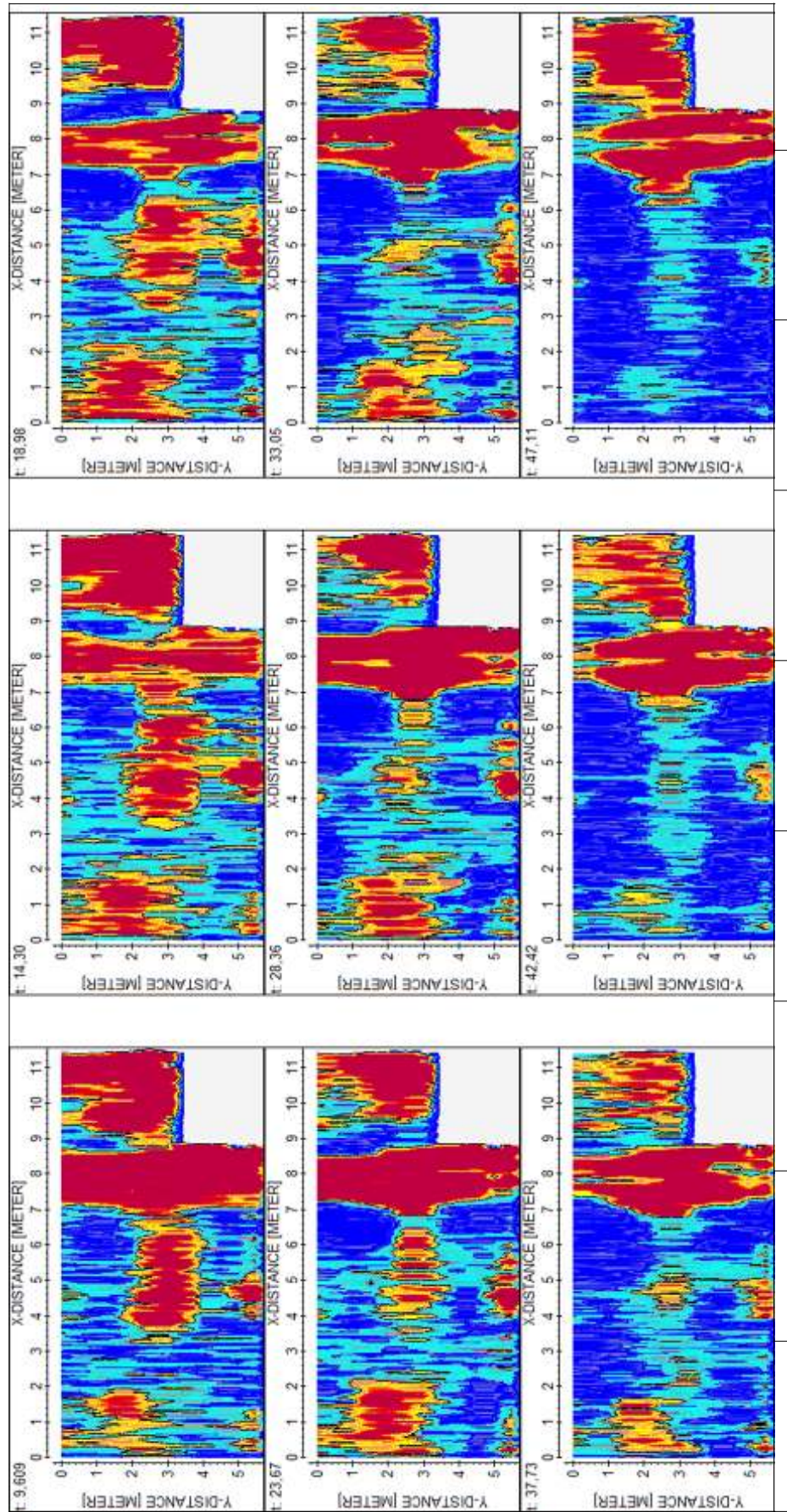
**HORIZONTALNI REZI RADARSKIH ODBOJEV PO OBMOČJIH
NA IZBRANIH GLOBINAH**



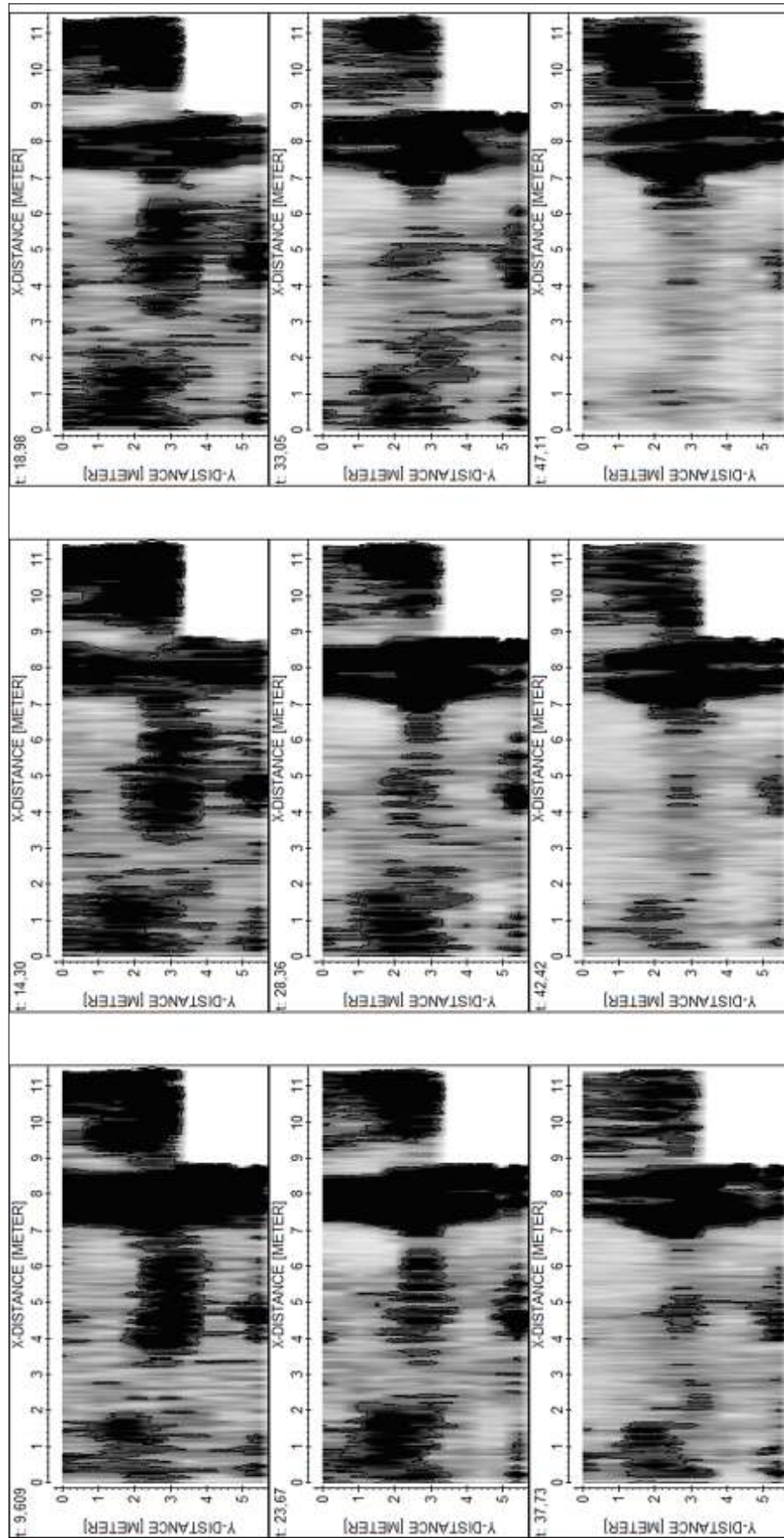
PRILOGA 1 - A. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_1.



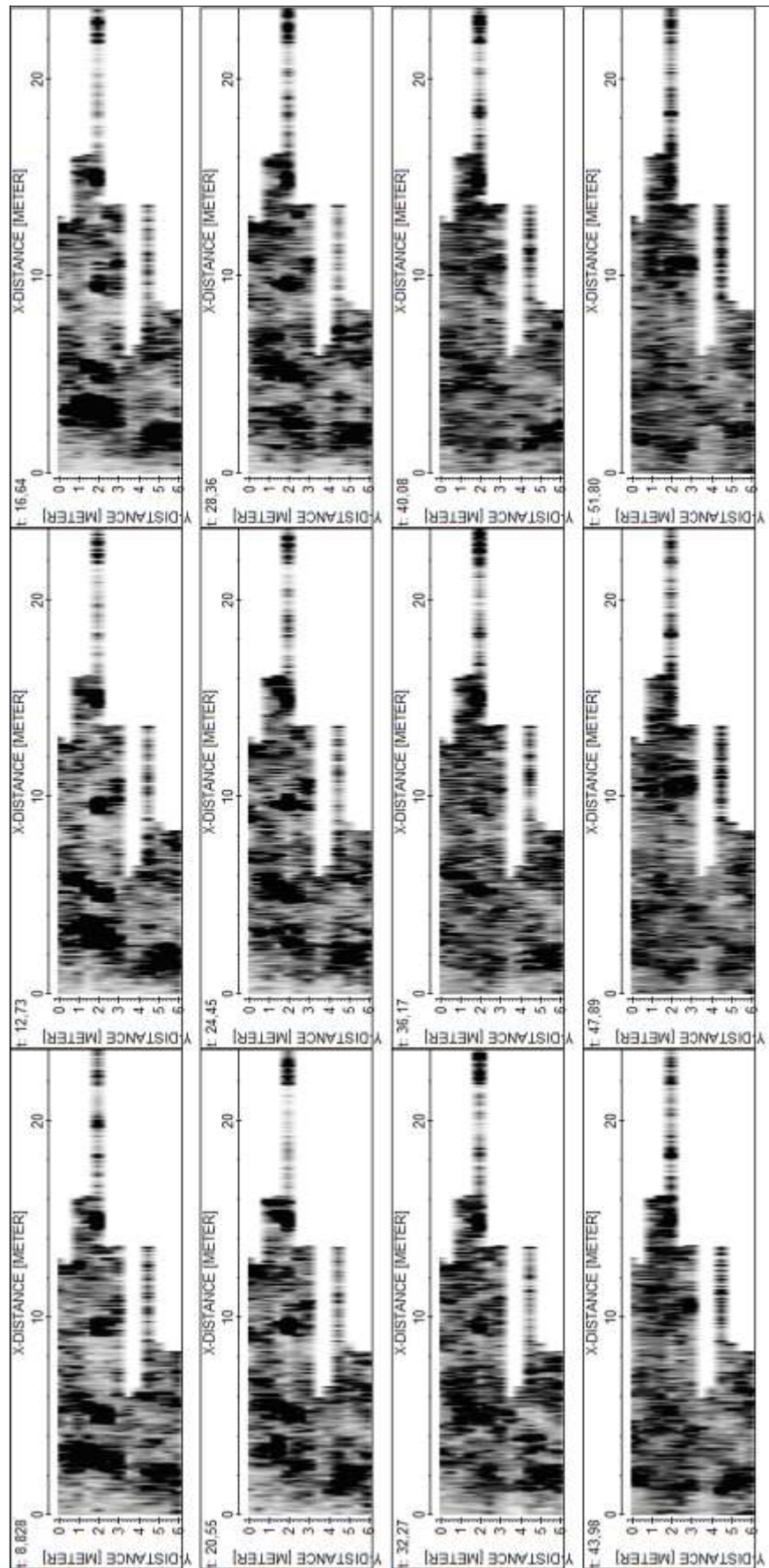
PRILOGA 1 - B. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_1.



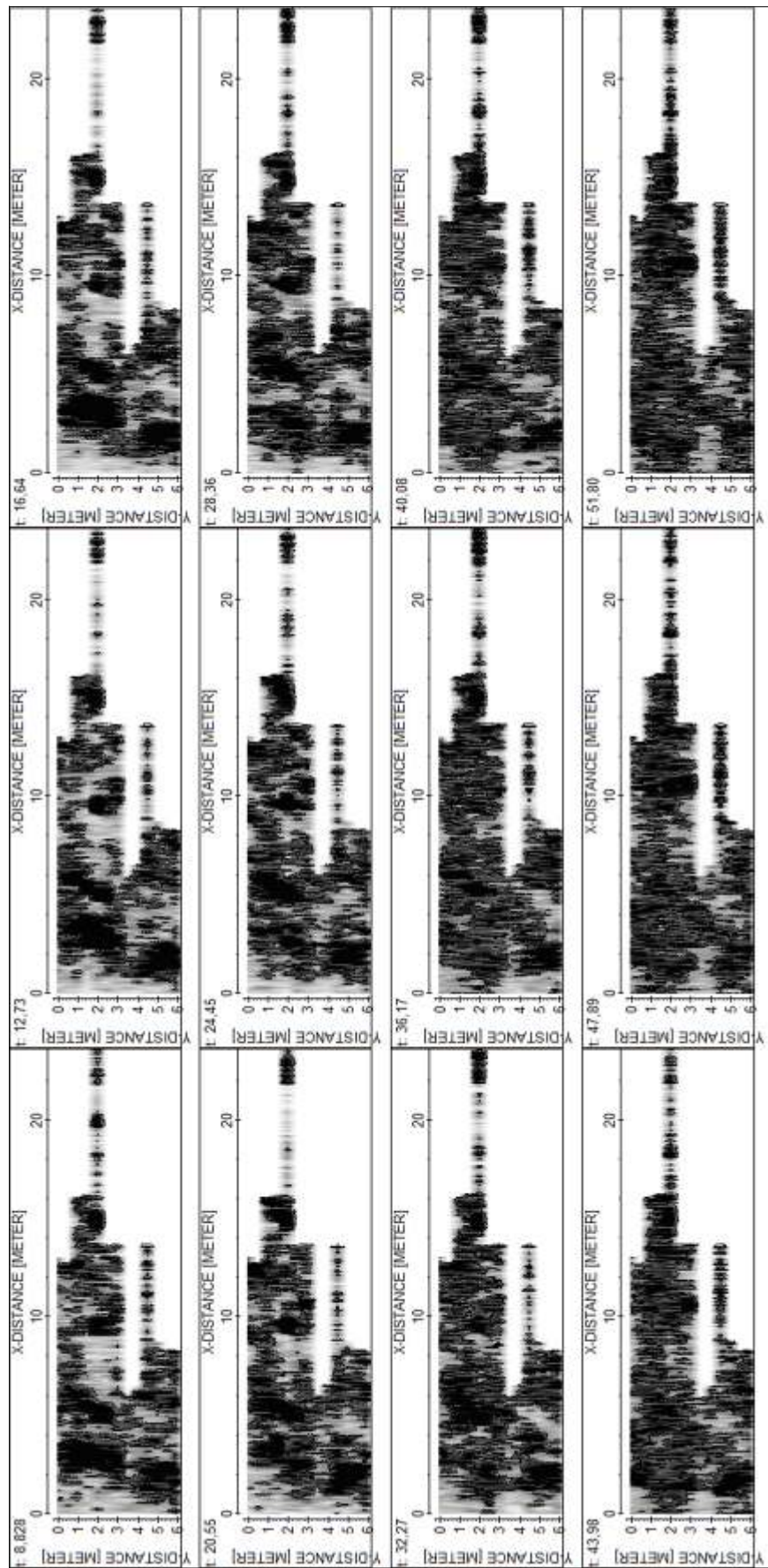
PRILOGA 1 - C. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_1.



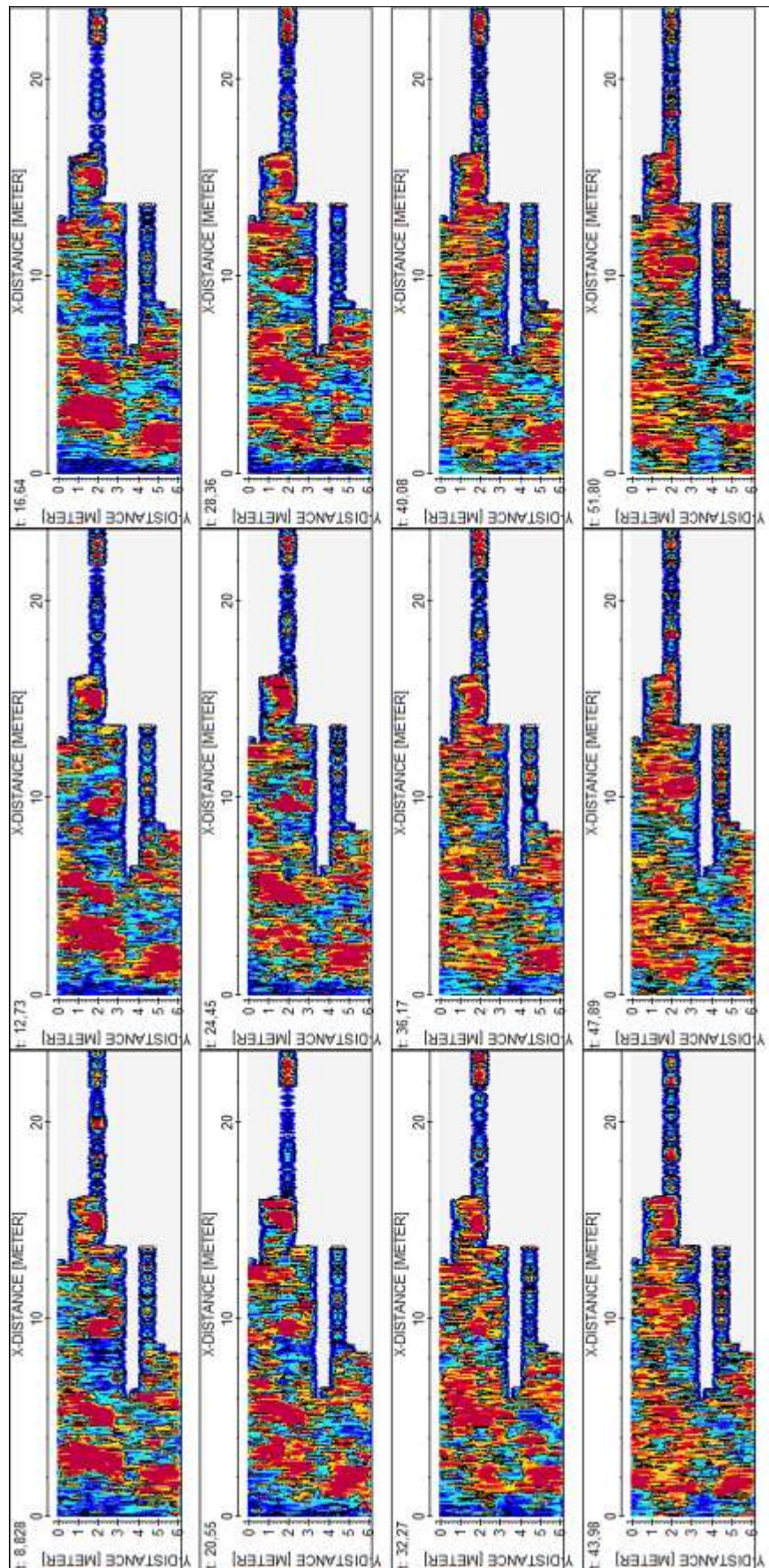
PRILOGA 1 - D. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_1.



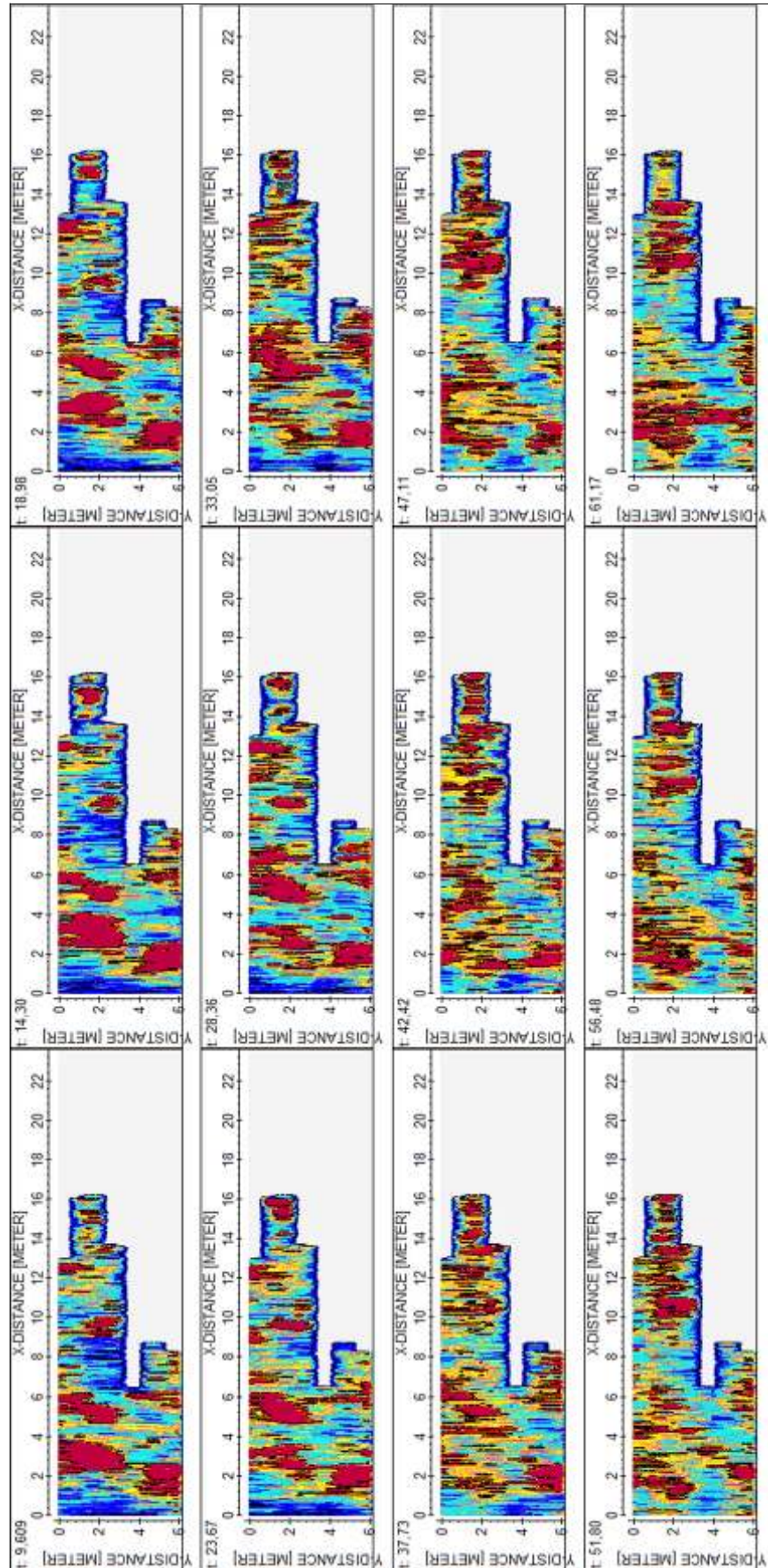
PRILOGA 2 - A. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_2.



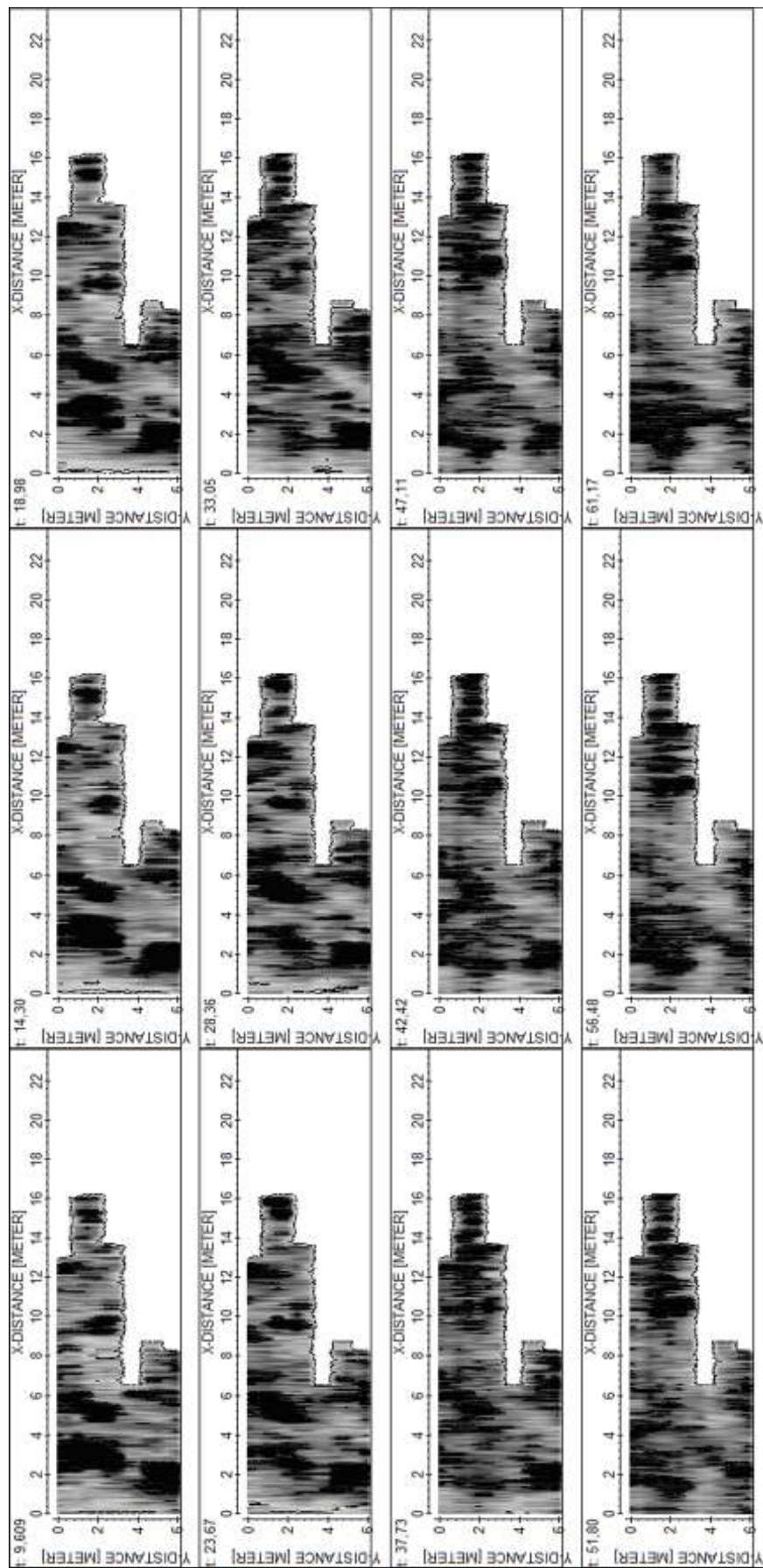
PRILOGA 2 - B. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_2.



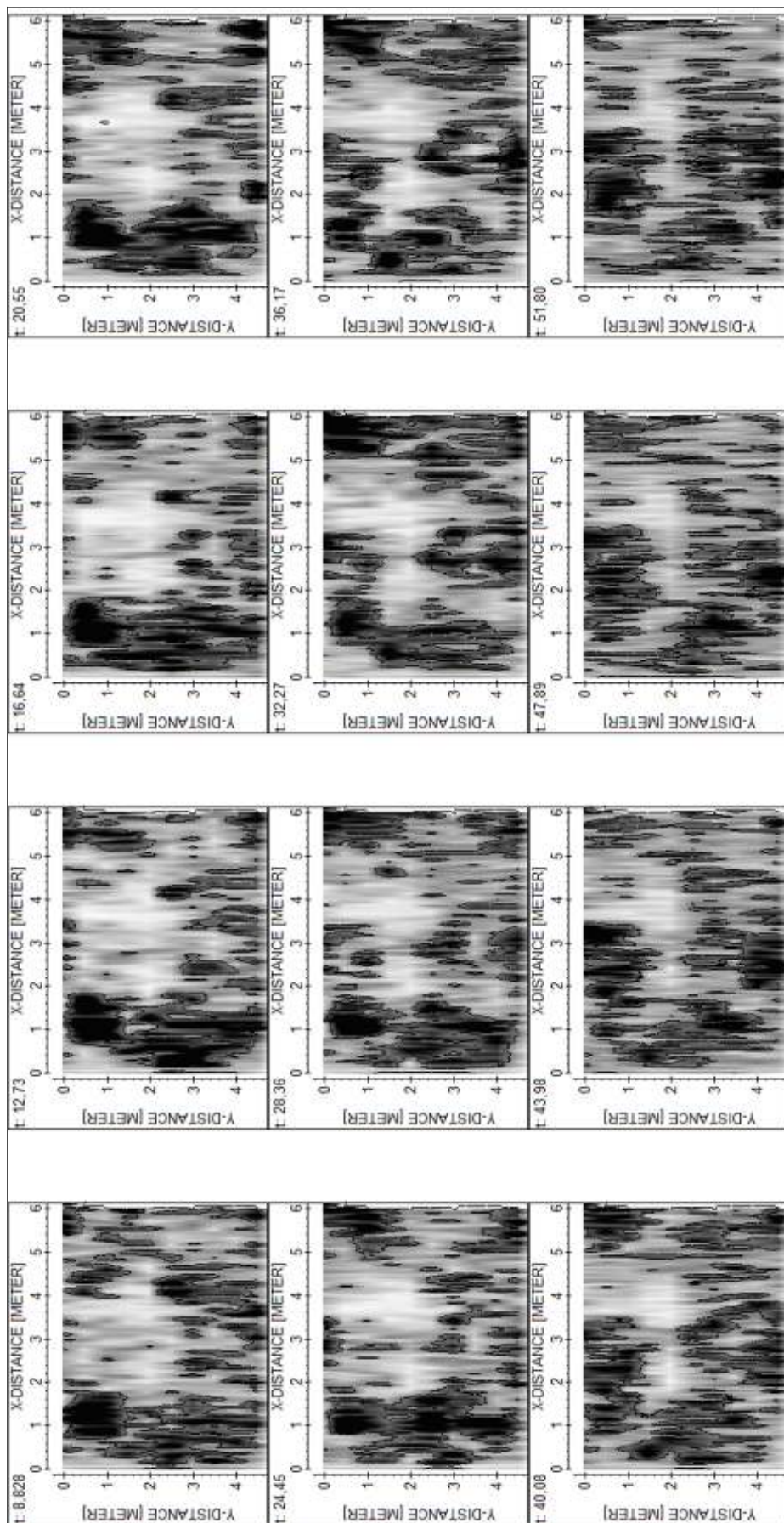
PRILOGA 2 - C. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_2.



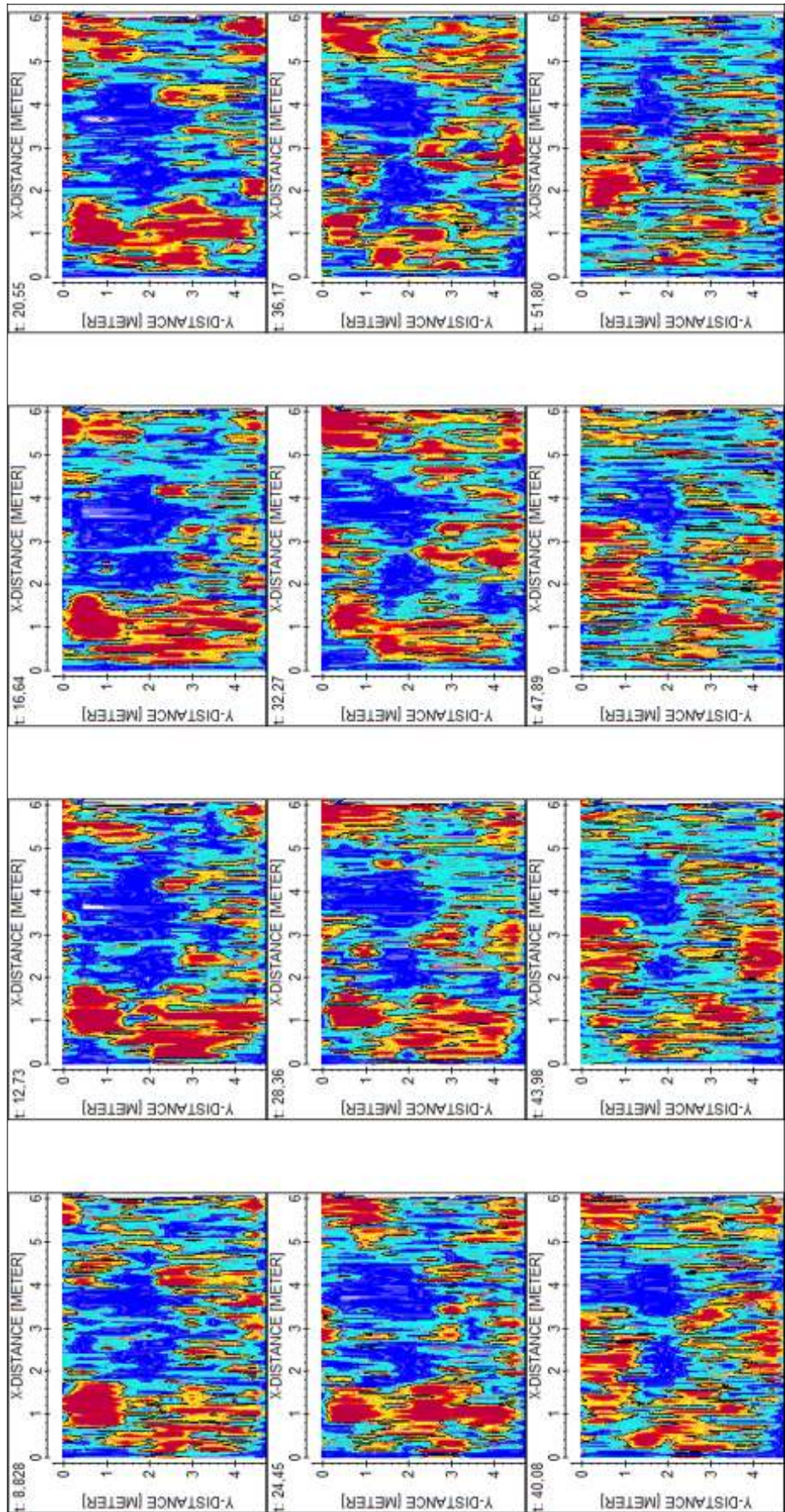
PRILOGA 2 - D. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_2.



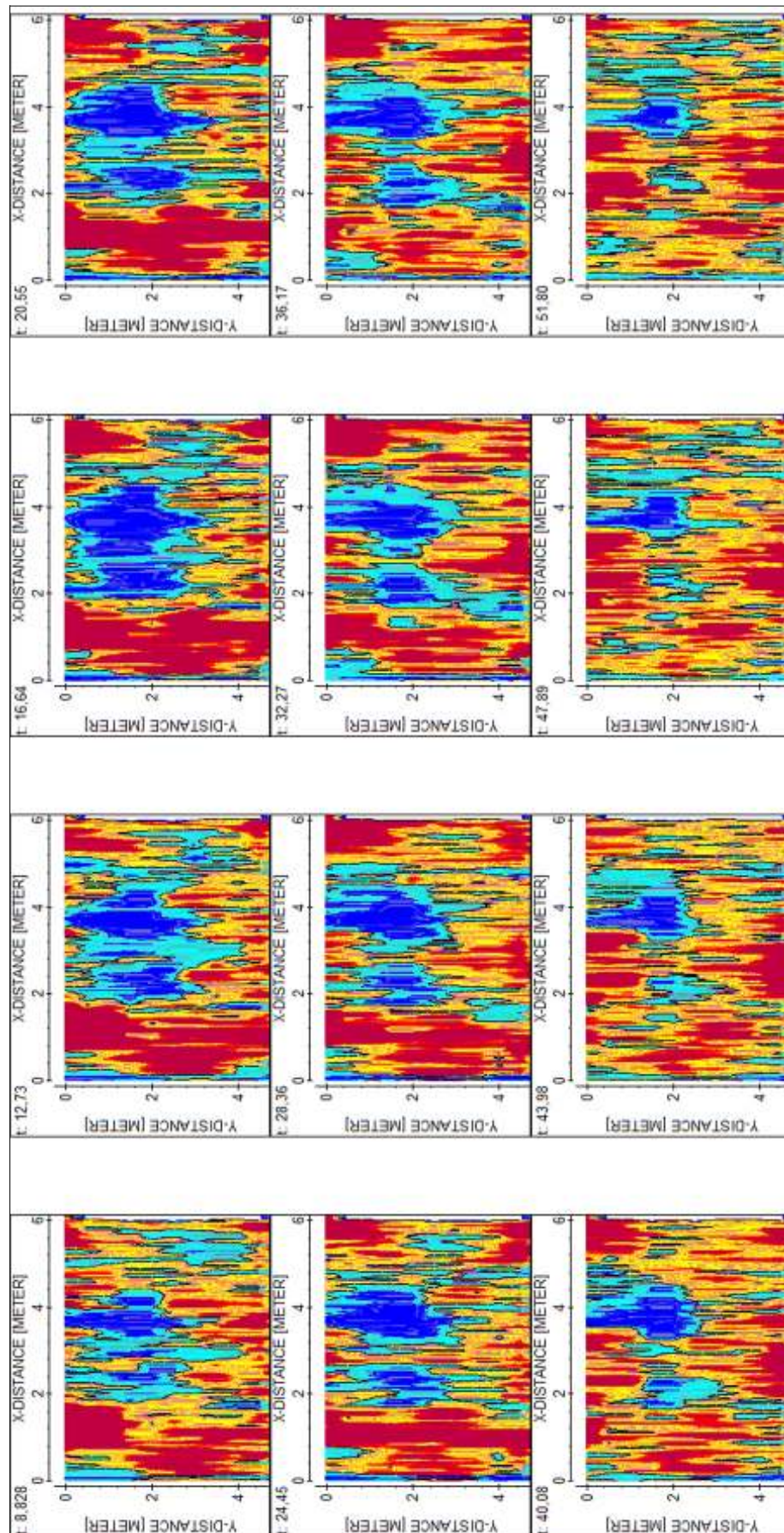
PRILOGA 2 - E. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_2.



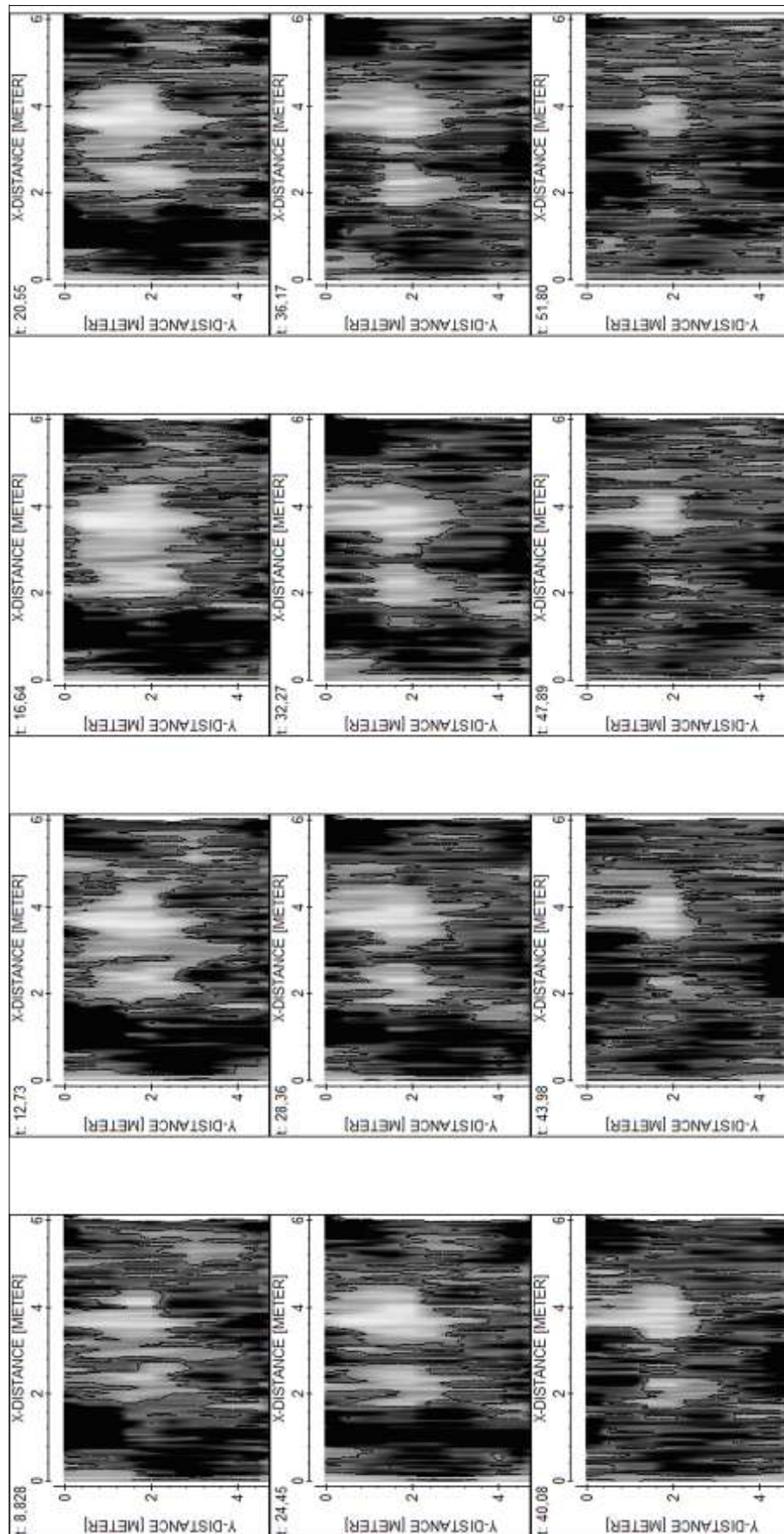
PRILOGA 3 - A. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_3.



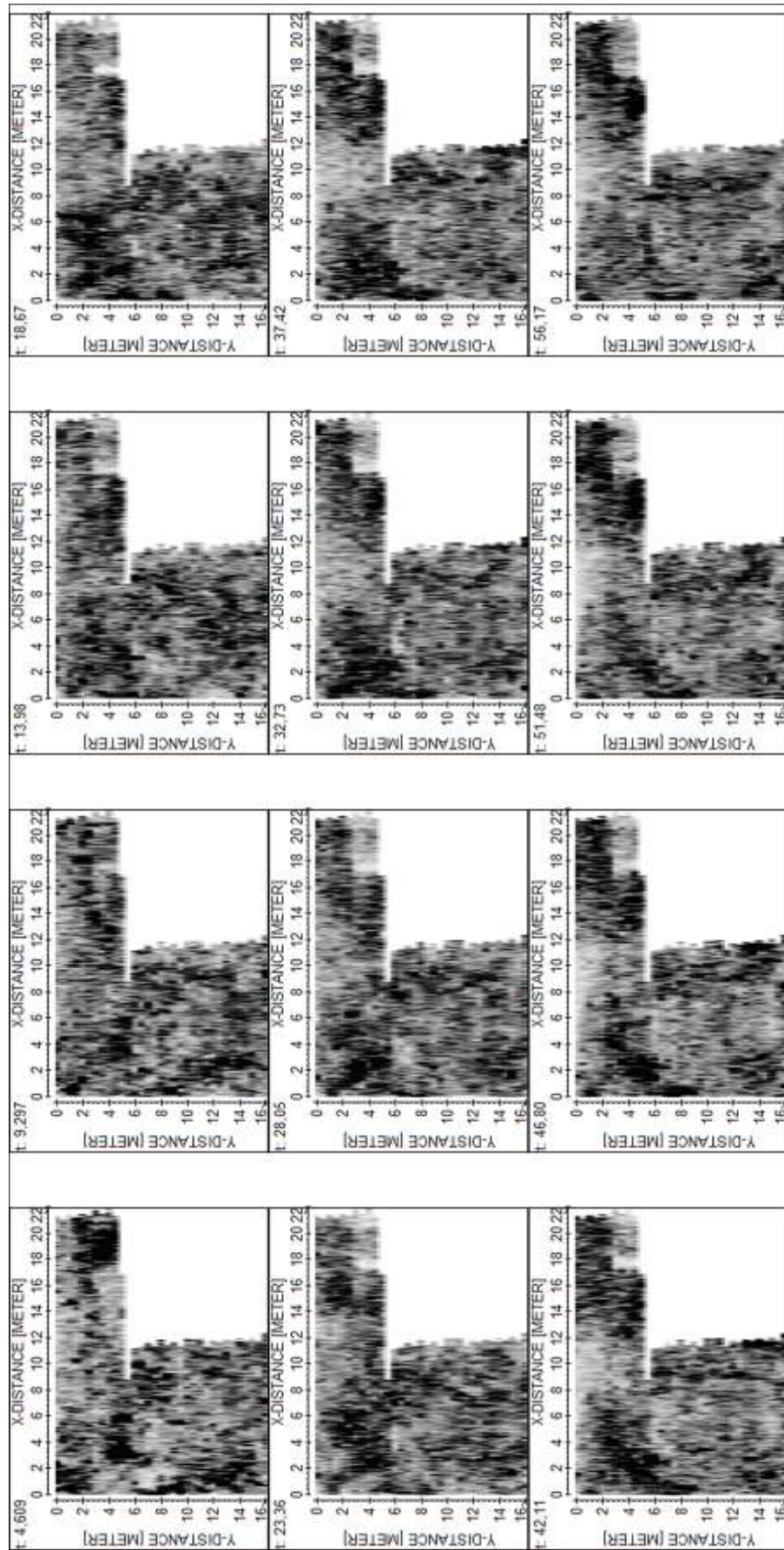
PRILOGA 3 - B. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_3.



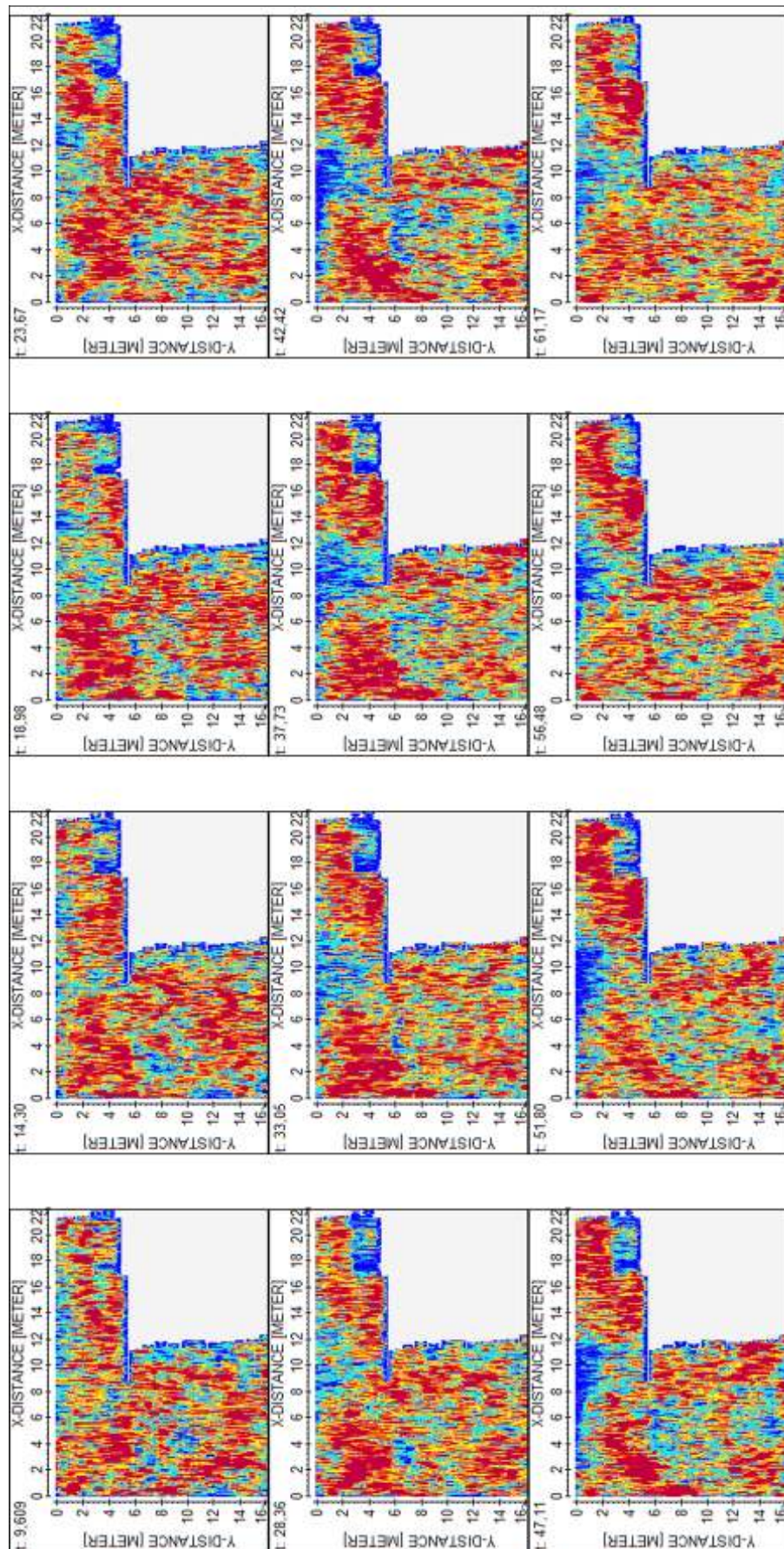
PRILOGA 3 - C. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_3.



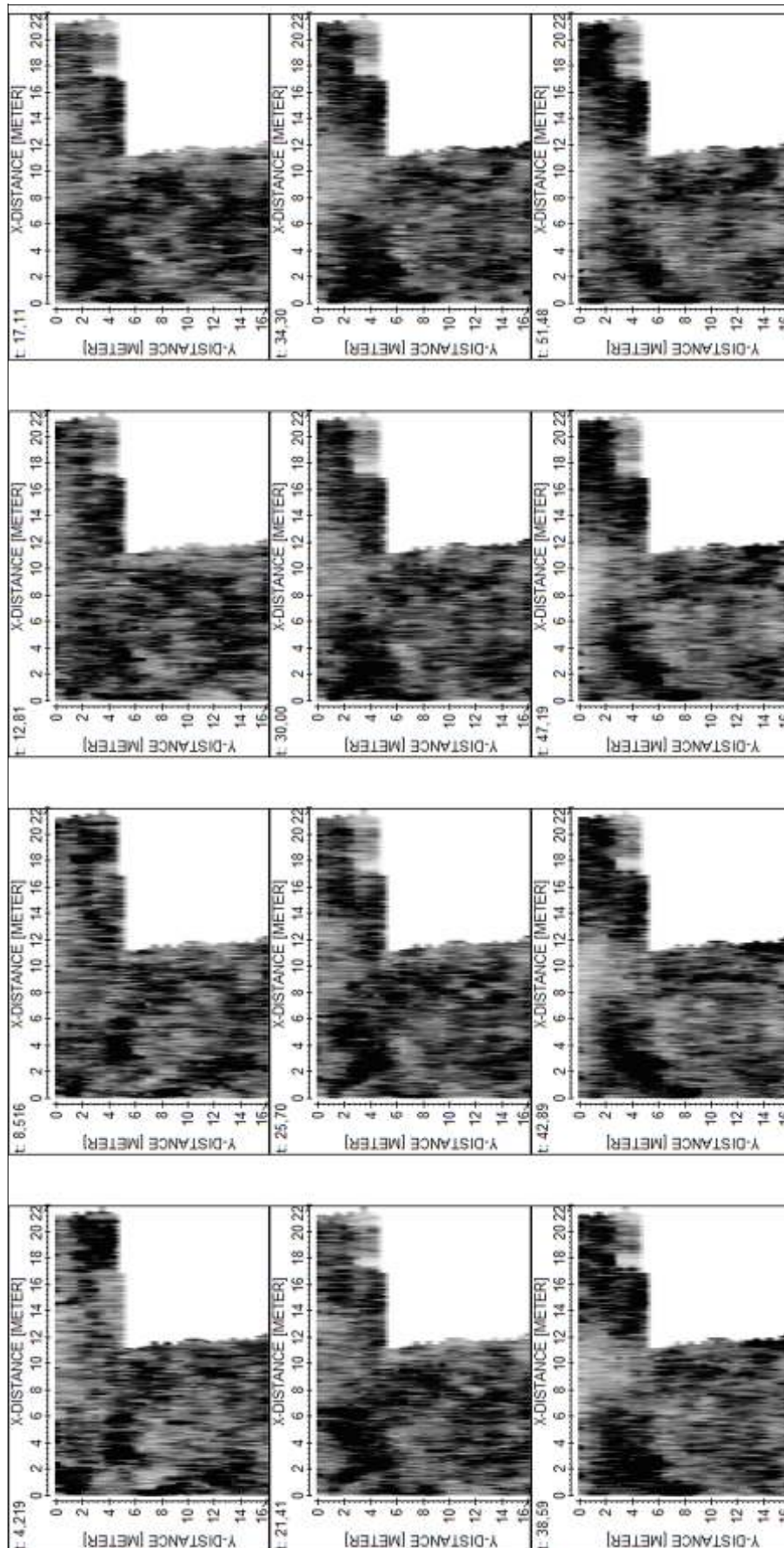
PRILOGA 3 - D. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_3.



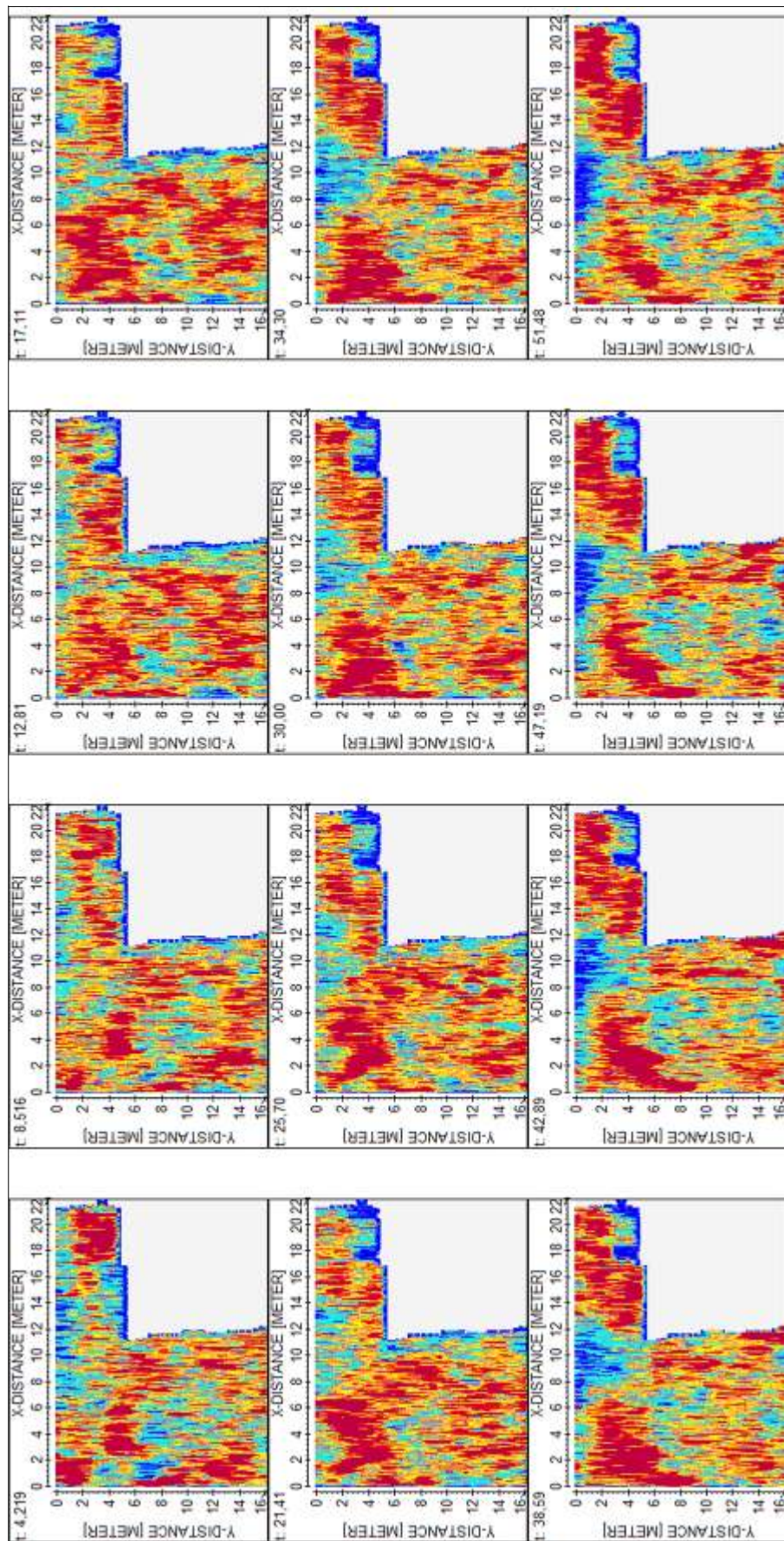
PRILOGA 4 - A. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_4.



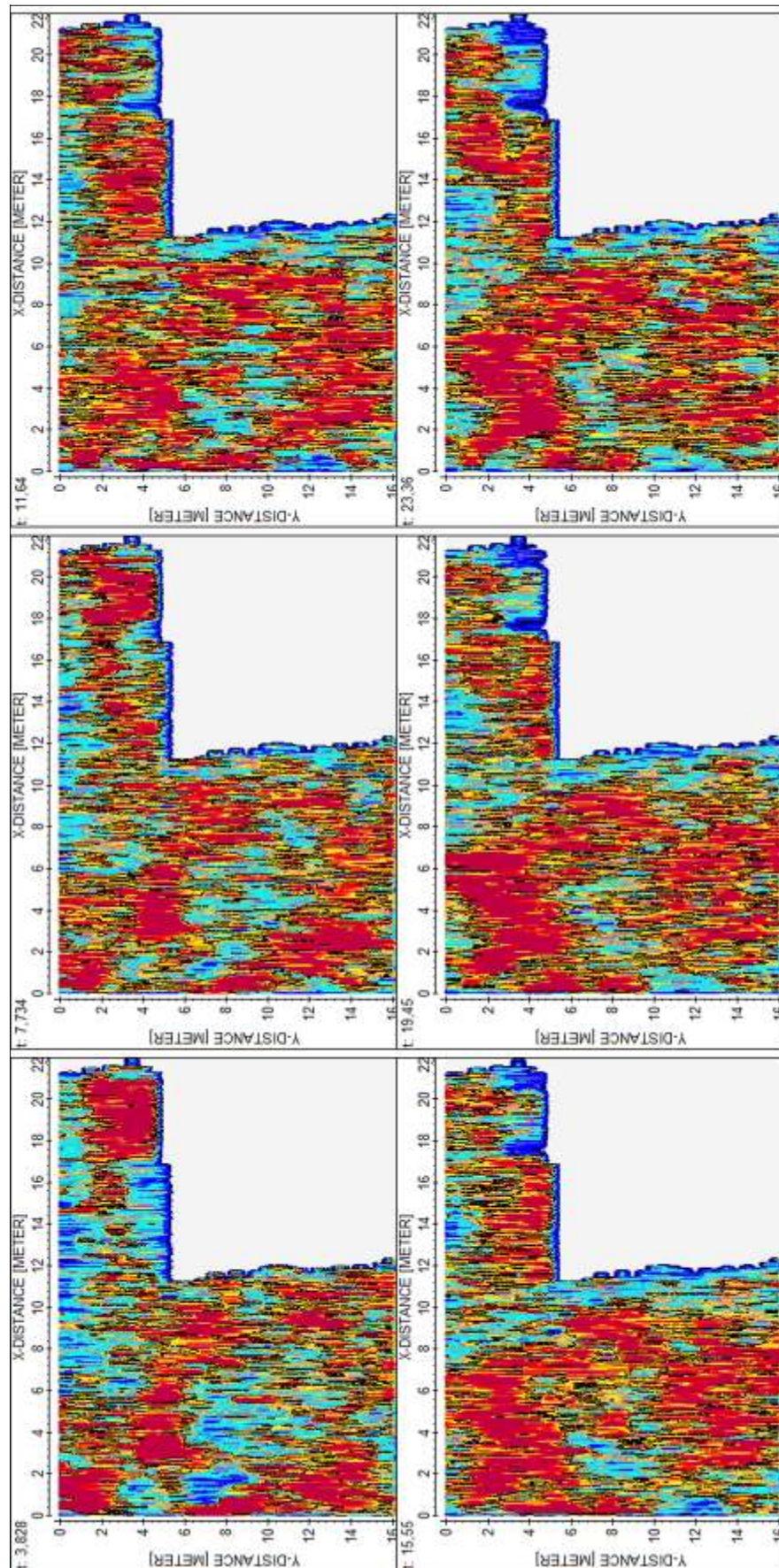
PRILOGA 4 - B. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_4.



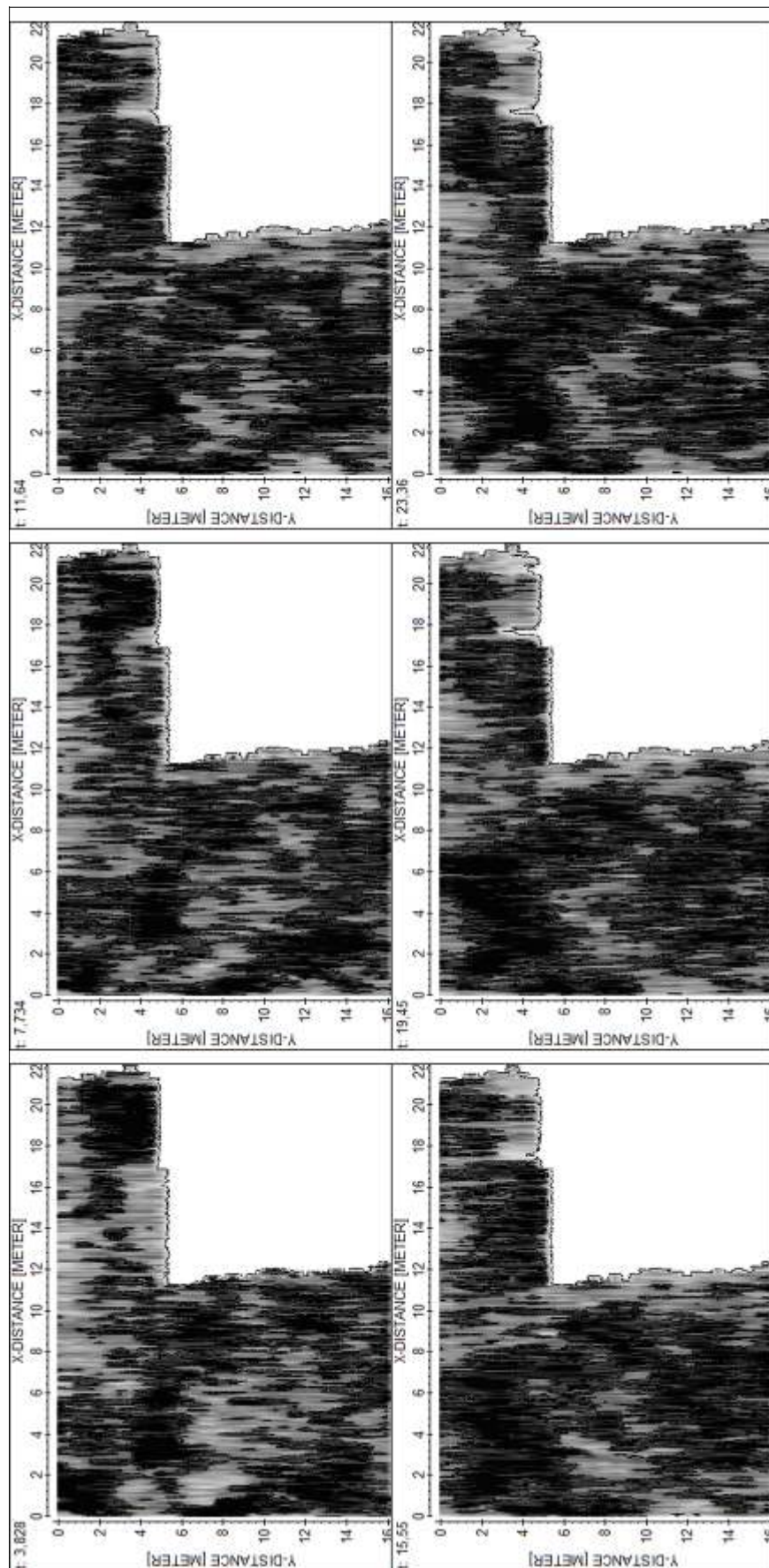
PRILOGA 4 - C. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_4.



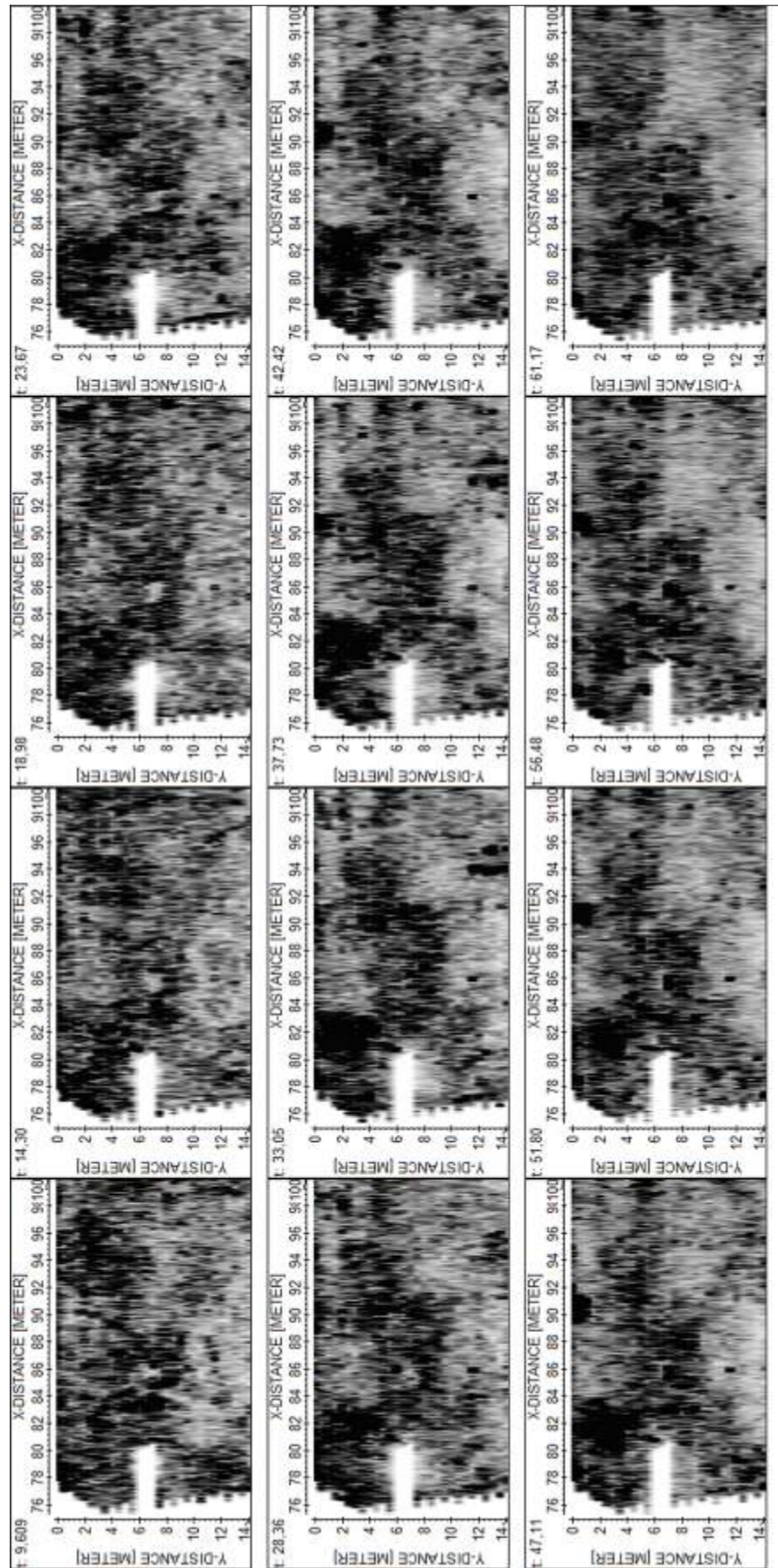
PRILOGA 4 - D. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_4.



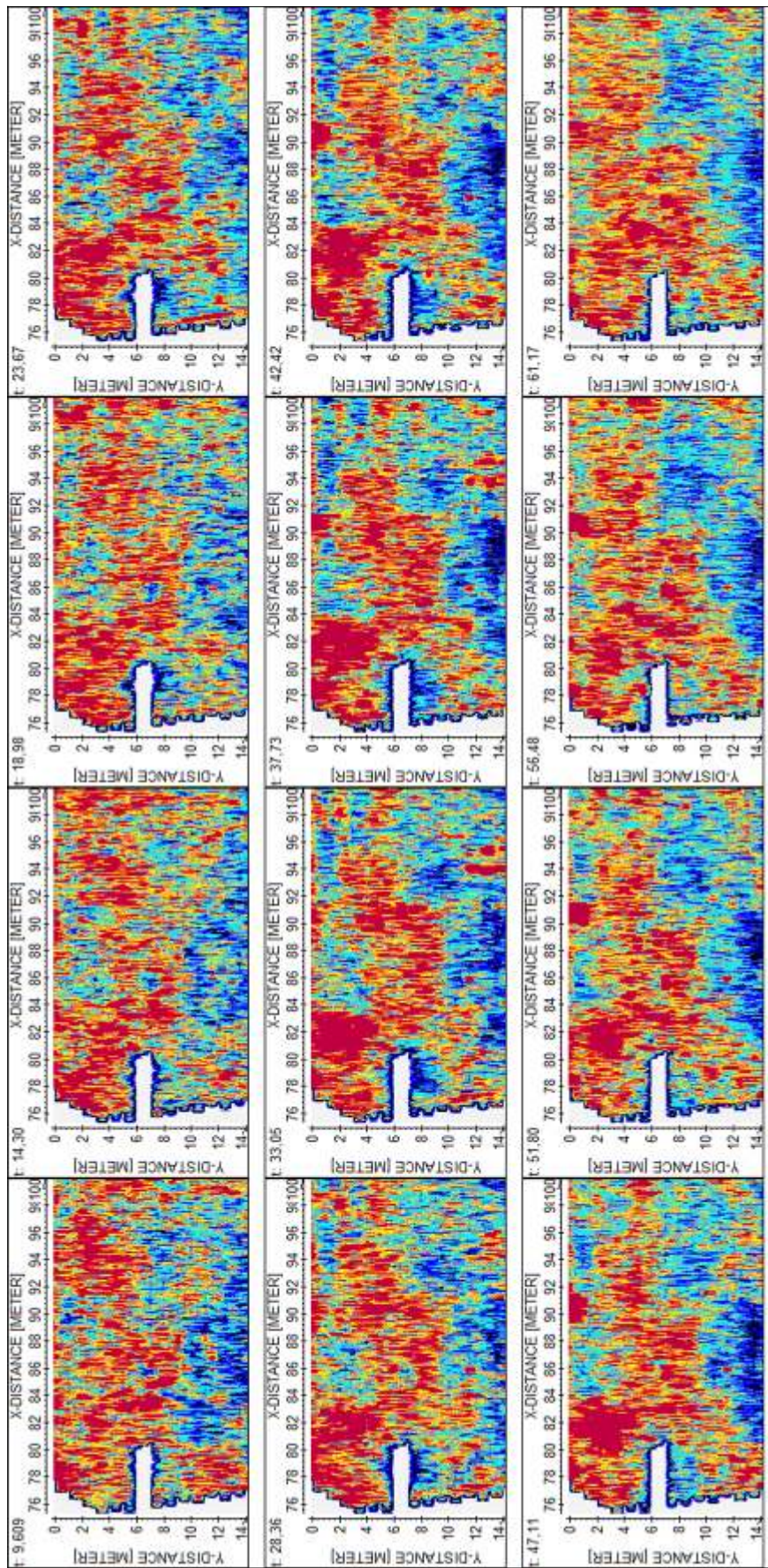
PRILOGA 4 - E. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_4.



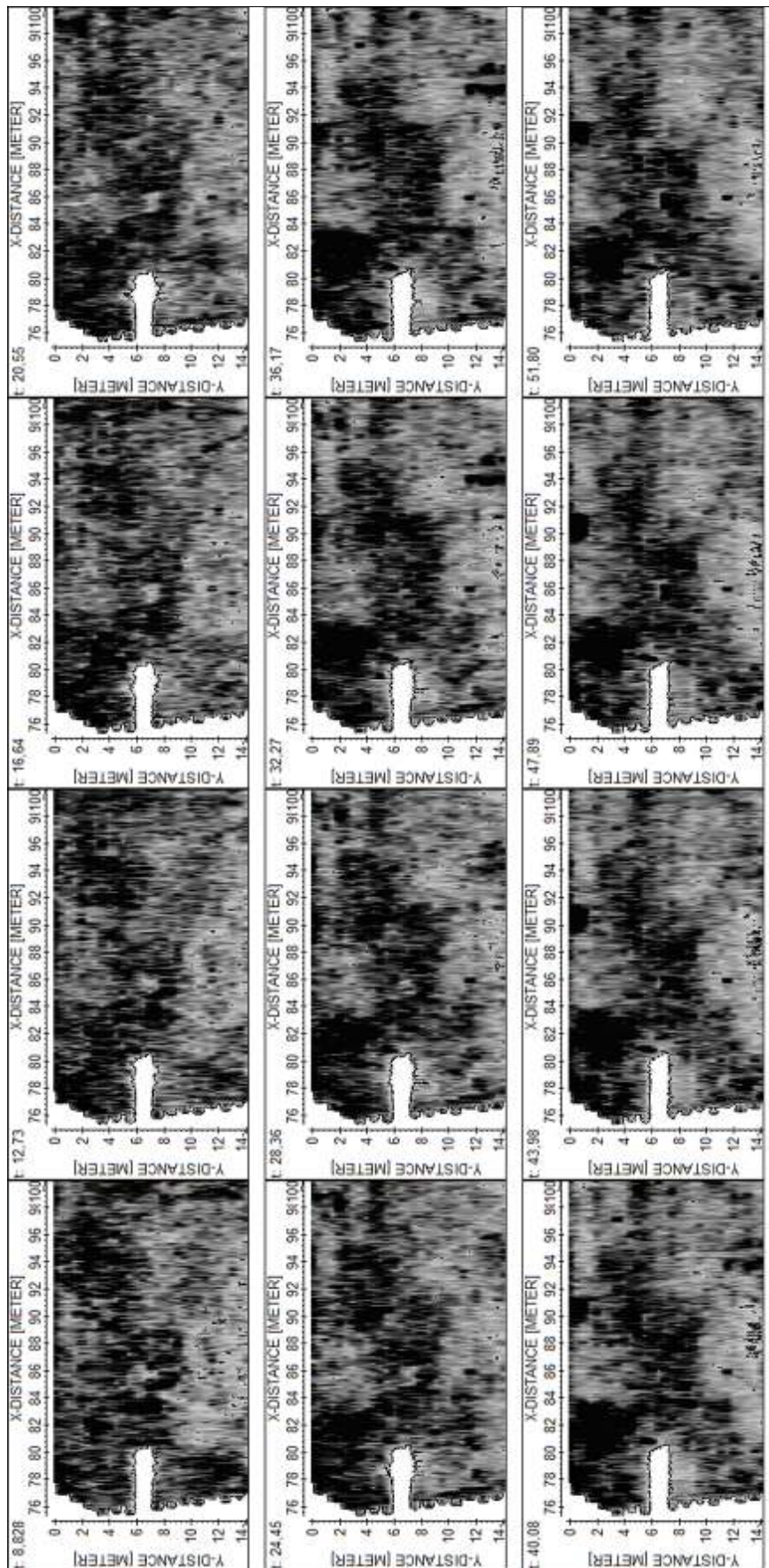
PRILOGA 4 - F. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_4.



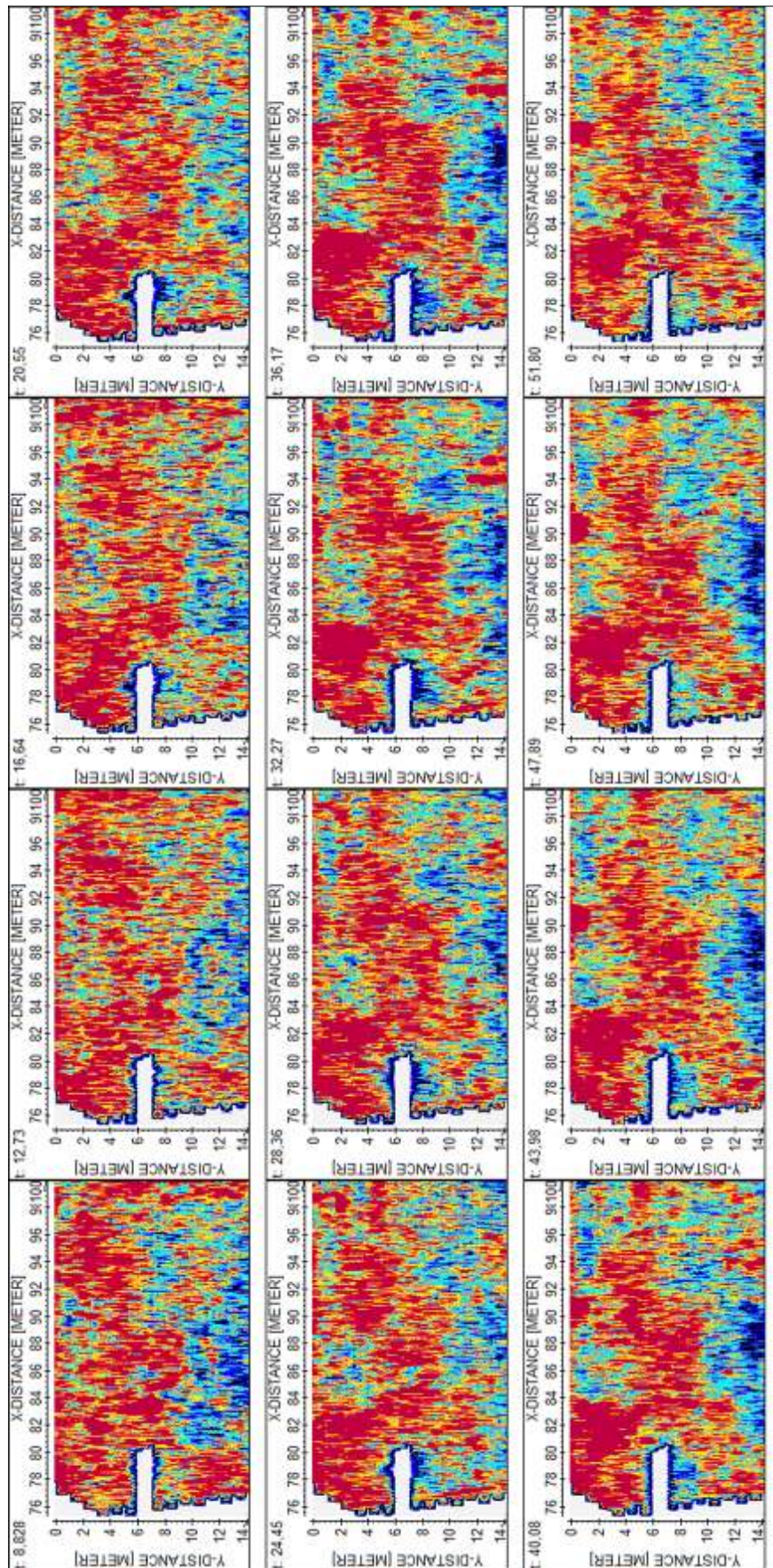
PRILOGA 5 - A. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_5.



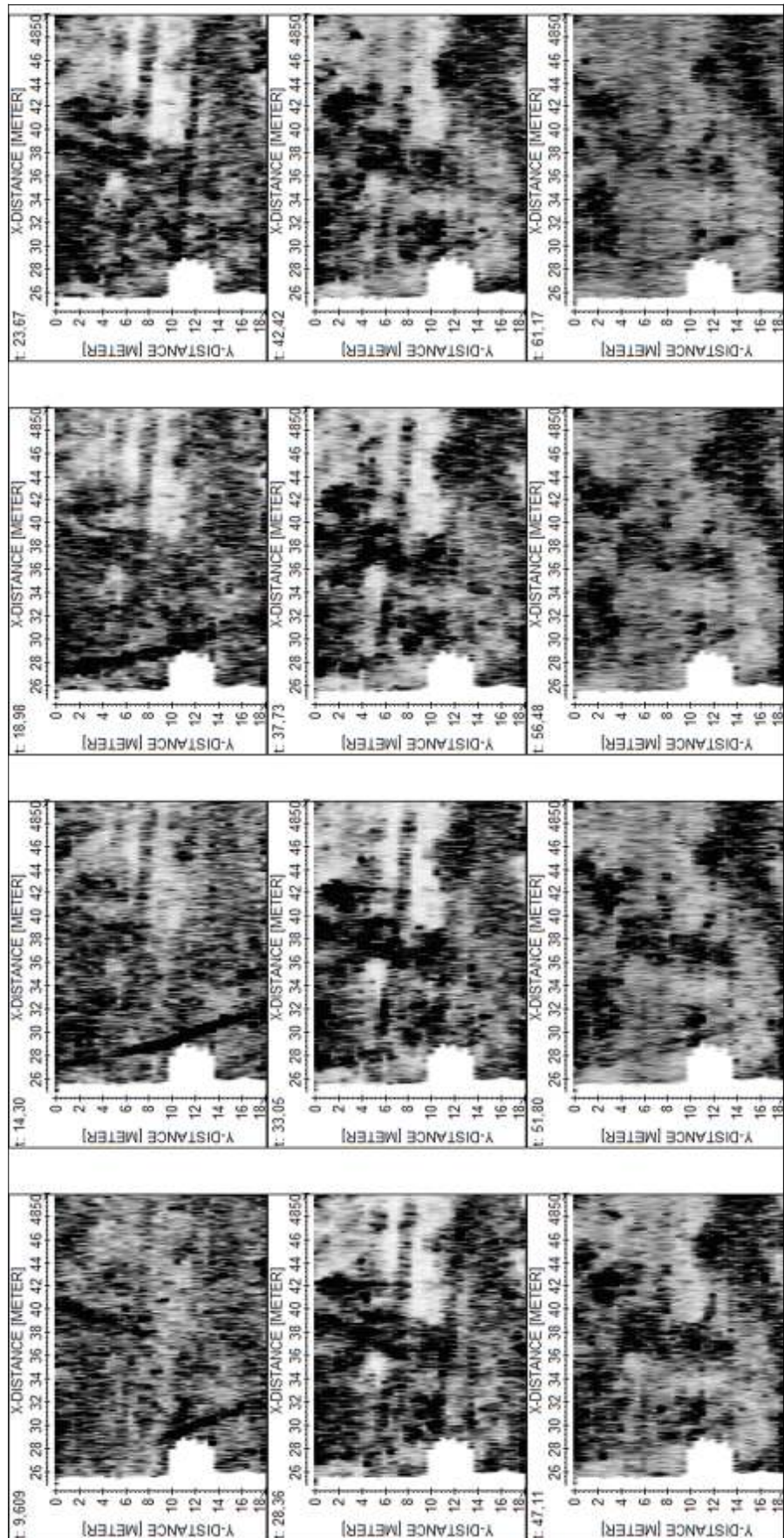
PRILOGA 5 - B. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_5.



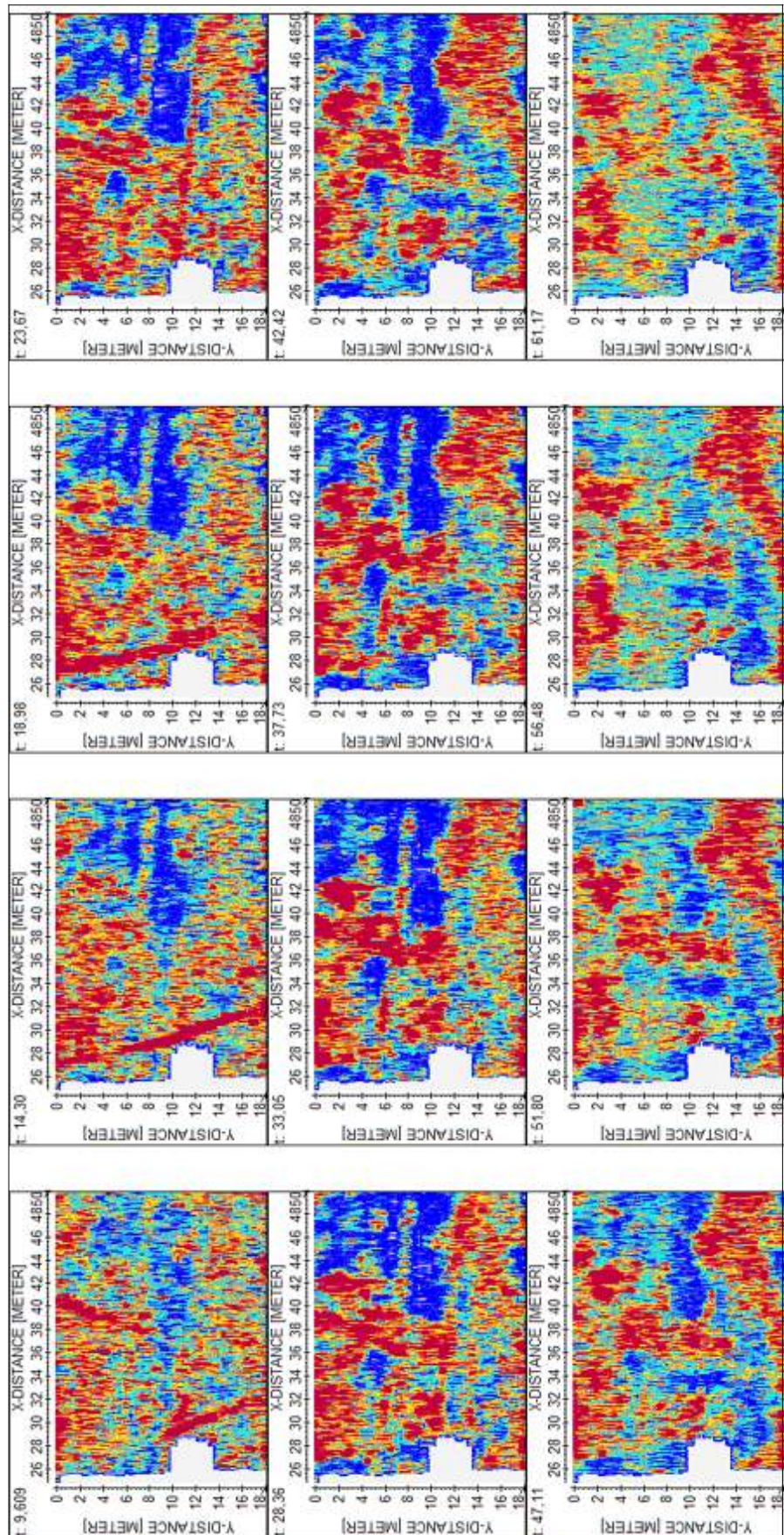
PRILOGA 5 - C. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_5.



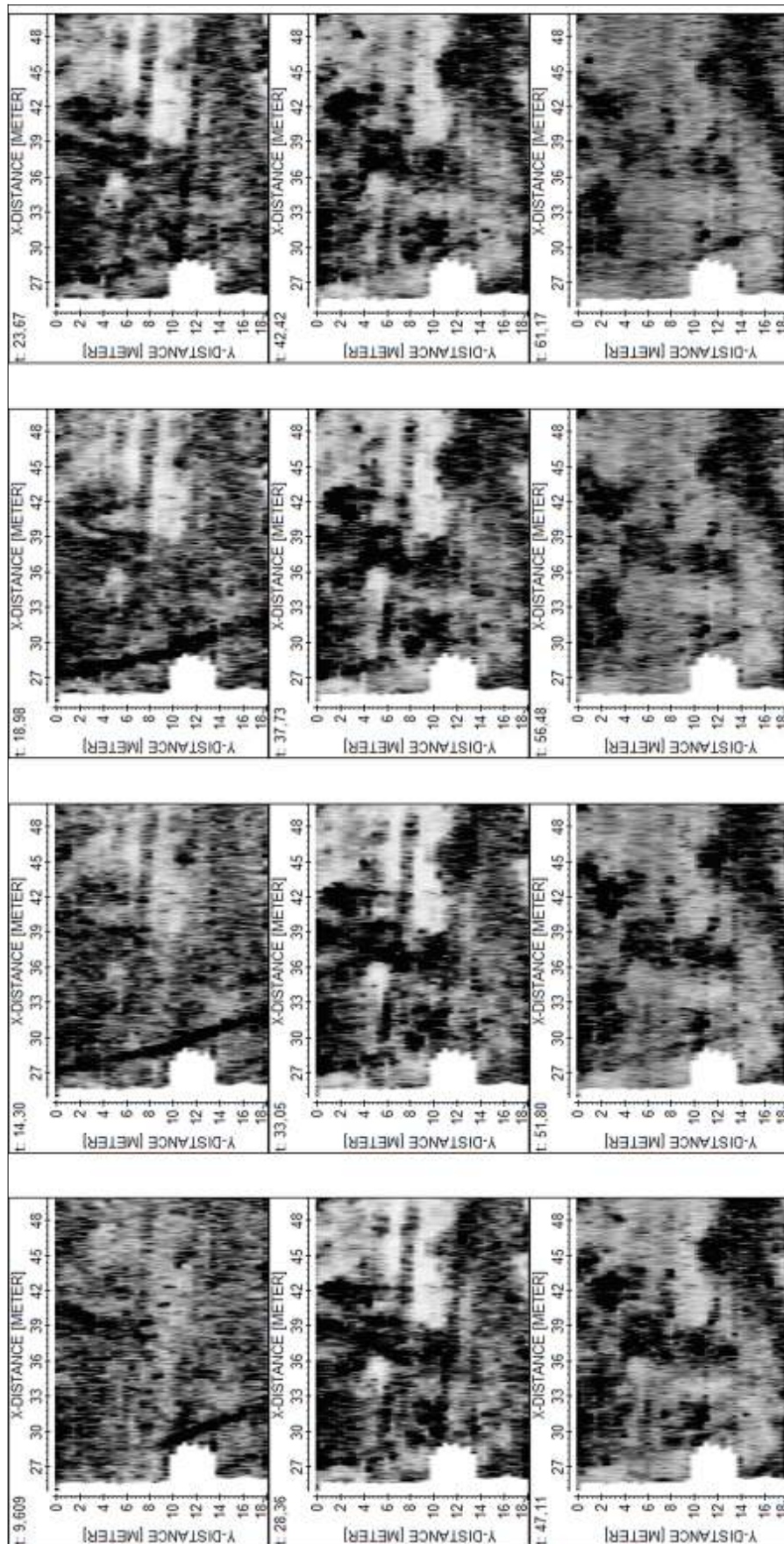
PRILOGA 5 - D. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_5.



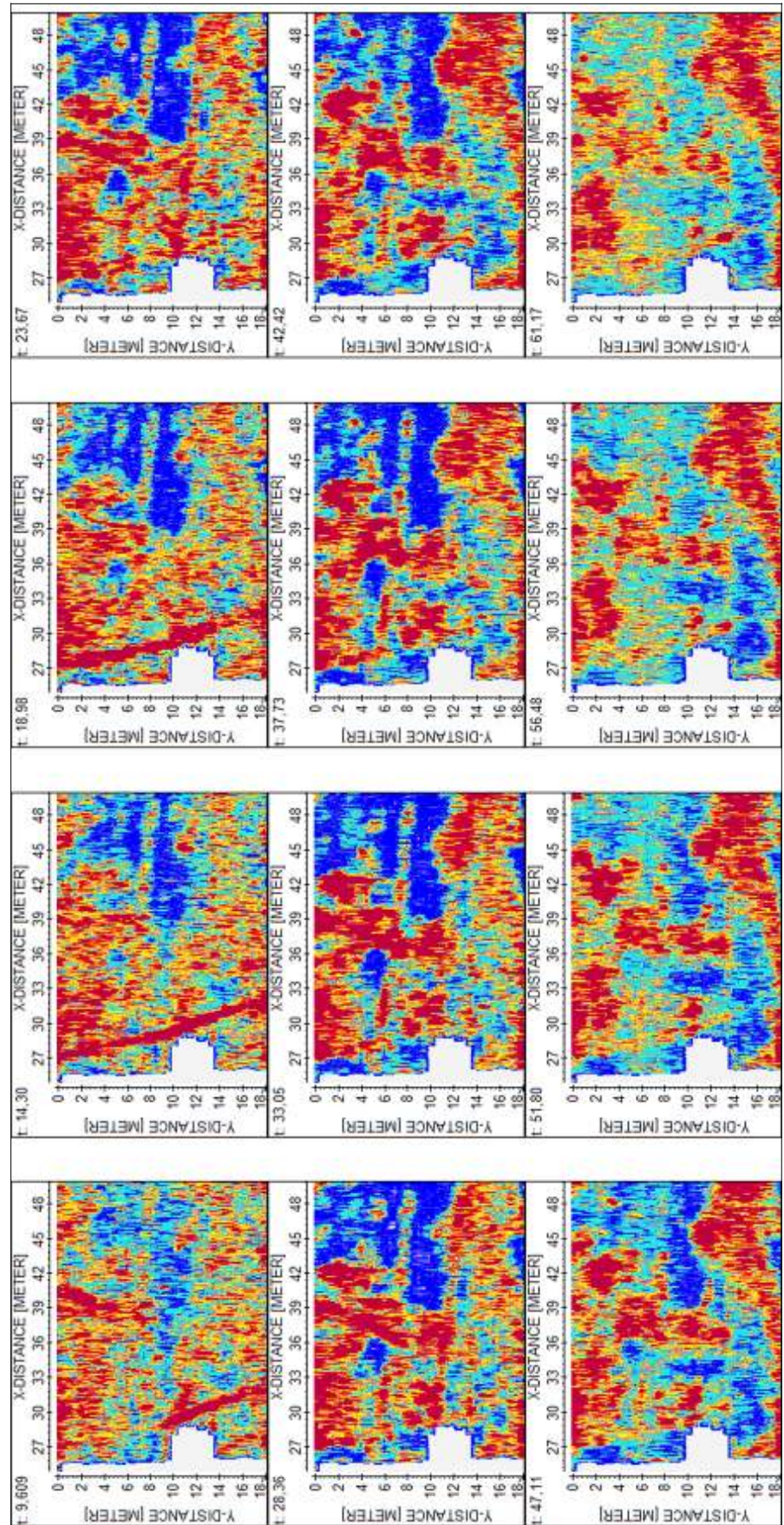
PRILOGA 6 - A. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_6.



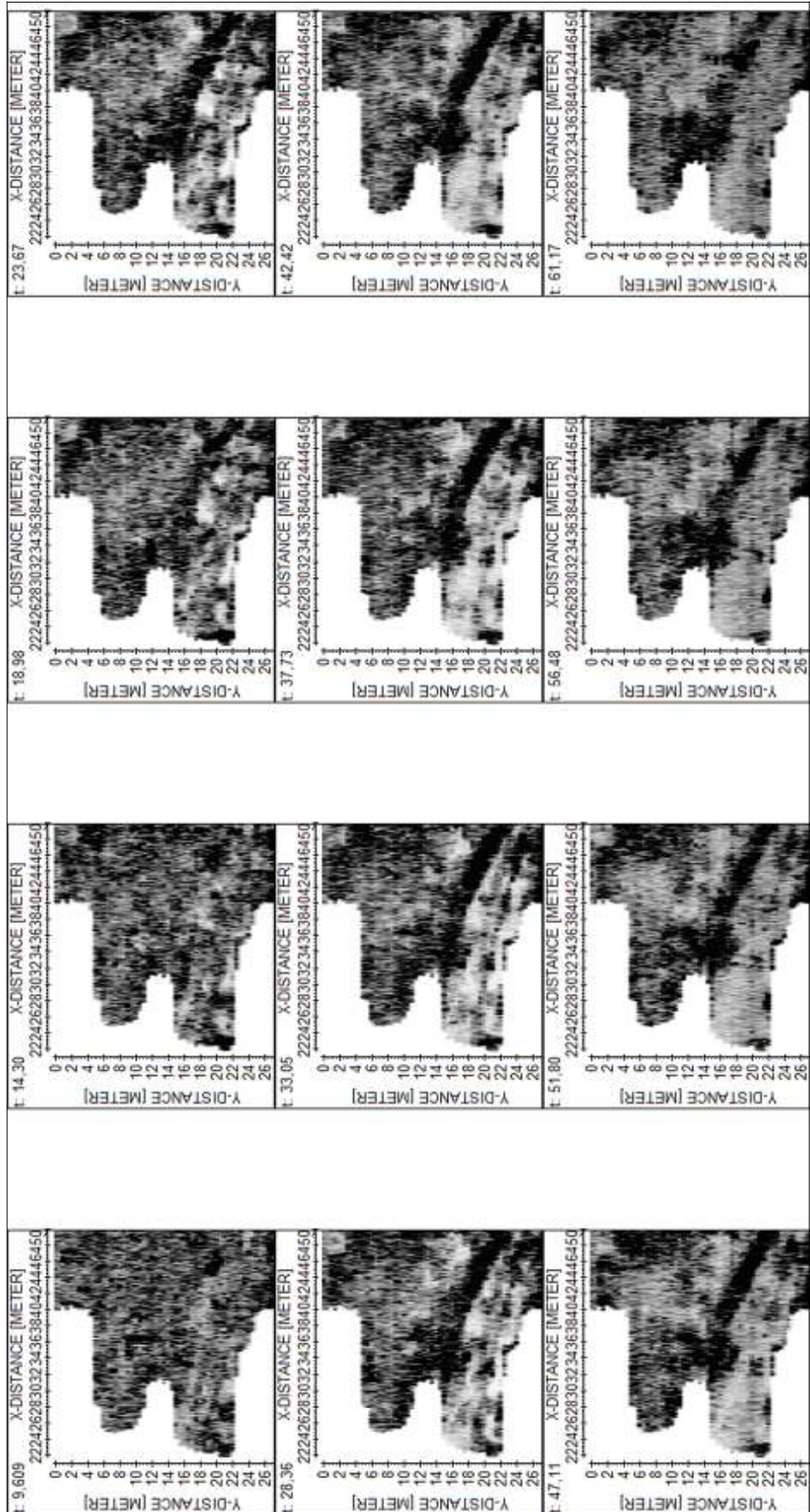
PRILOGA 6 - B. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_6.



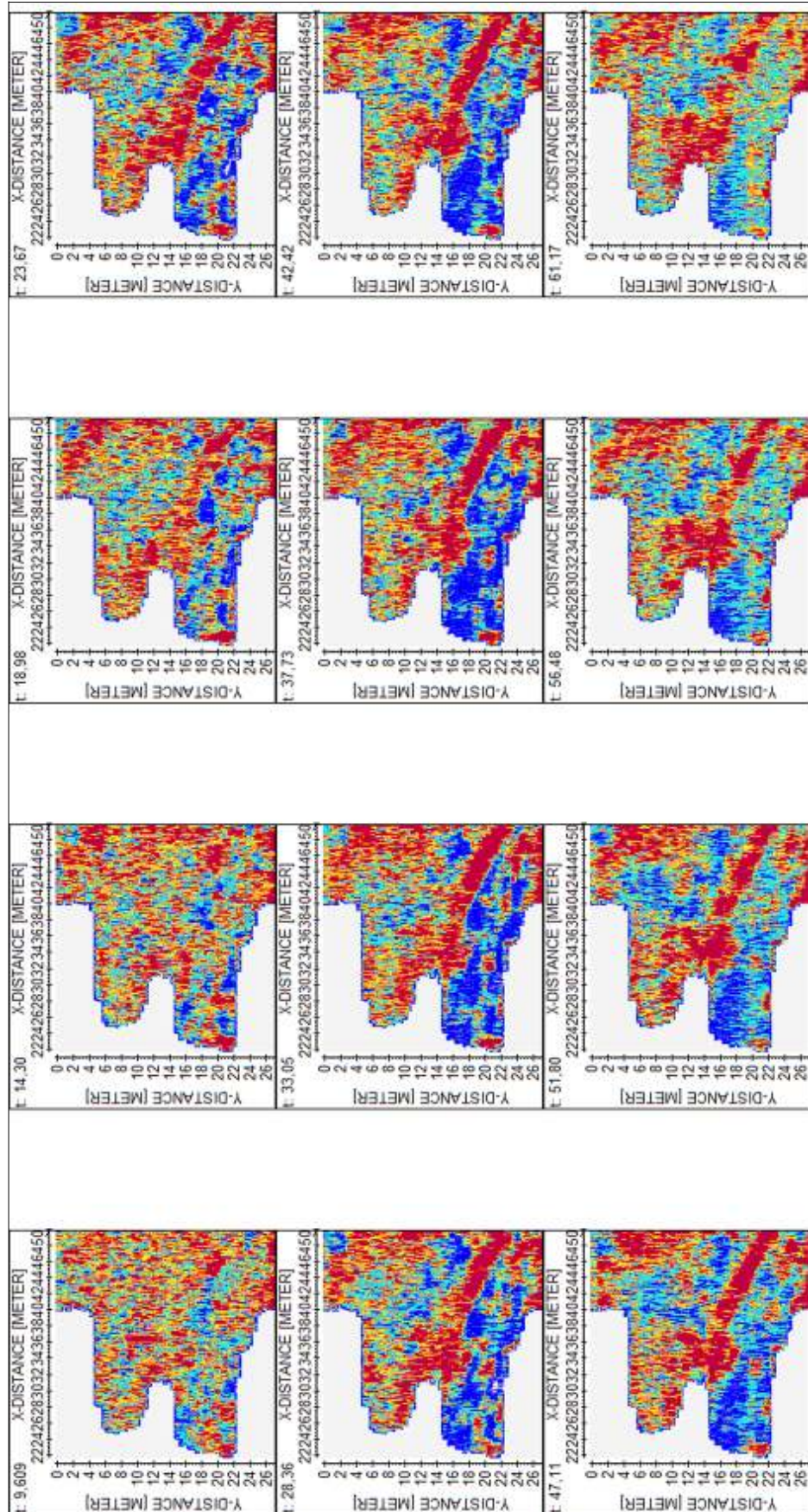
PRILOGA 6 - C. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_6.



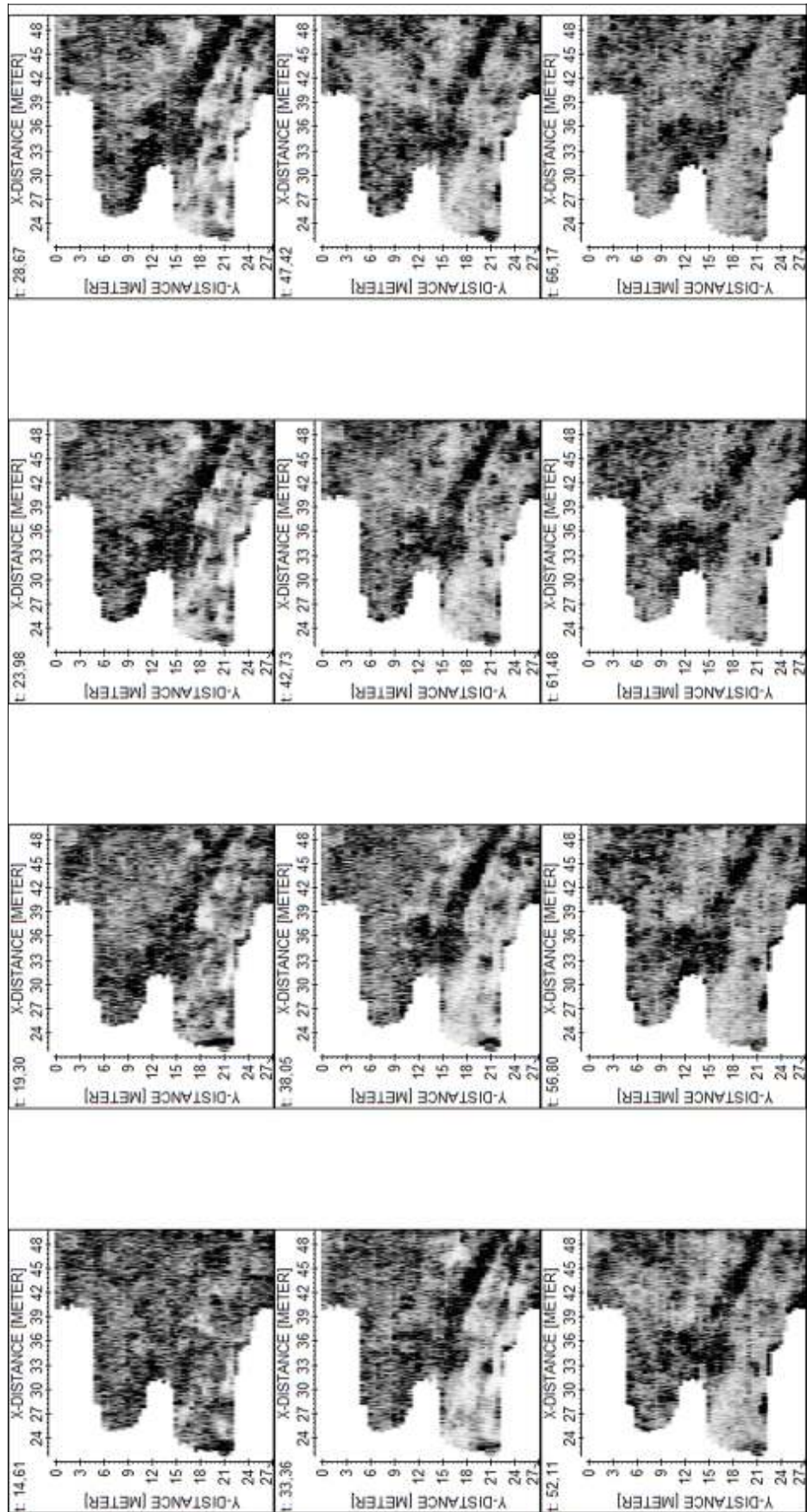
PRILOGA 6 - D. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_6.



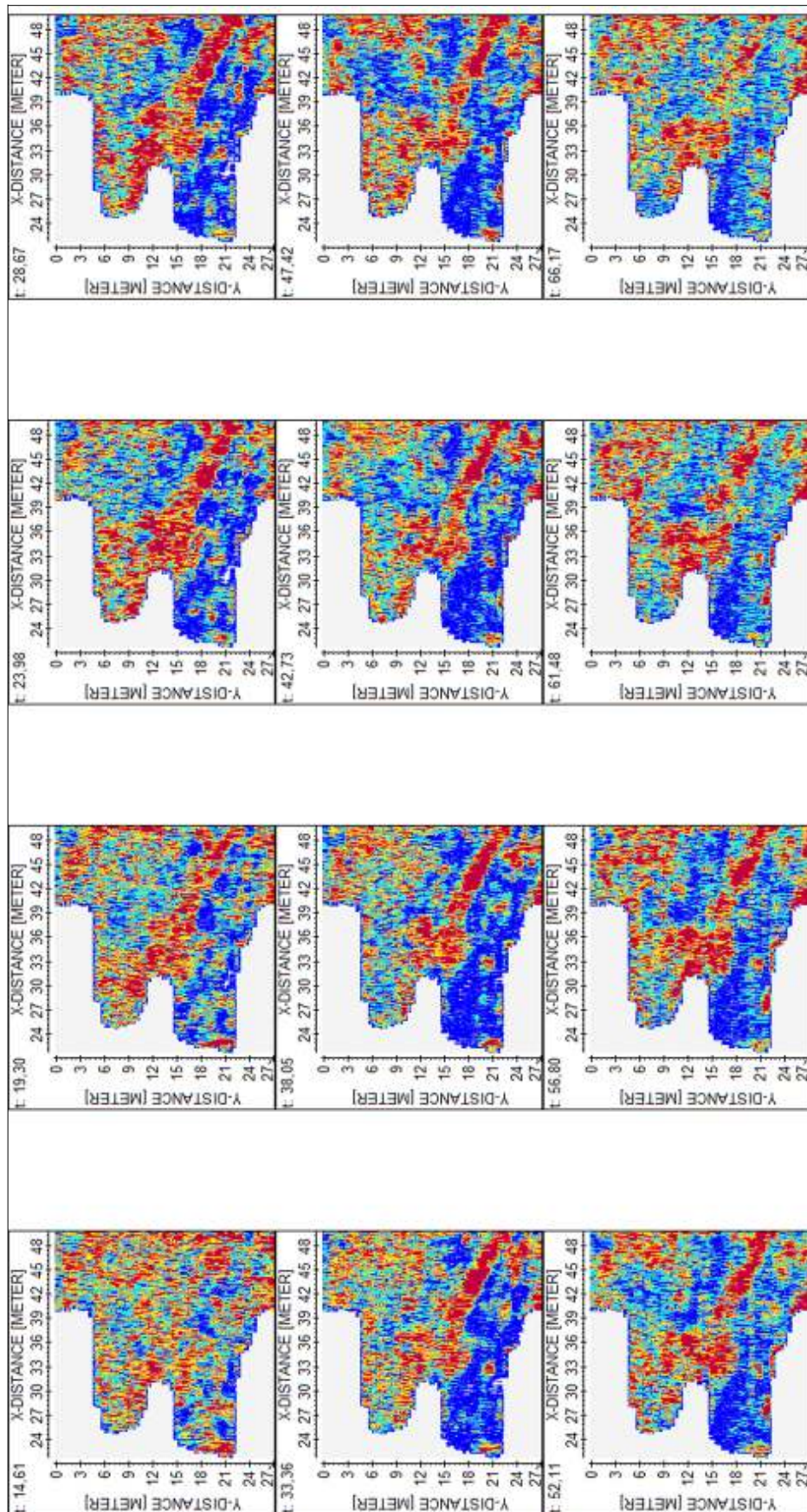
PRILOGA 7 - A. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_7.



PRILOGA 7 - B. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_7.



PRILOGA 7 - C. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_7.



PRILOGA 7 - D. Horizontalni rezi radarskih odbojev na območju Kv_7.