



3D GPR průzkum při diagnostice mostů

Mgr. Jakub Široký

INSET s.r.o., Divize geofyziky a geologie, Praha



TESTOVACÍ MĚŘENÍ

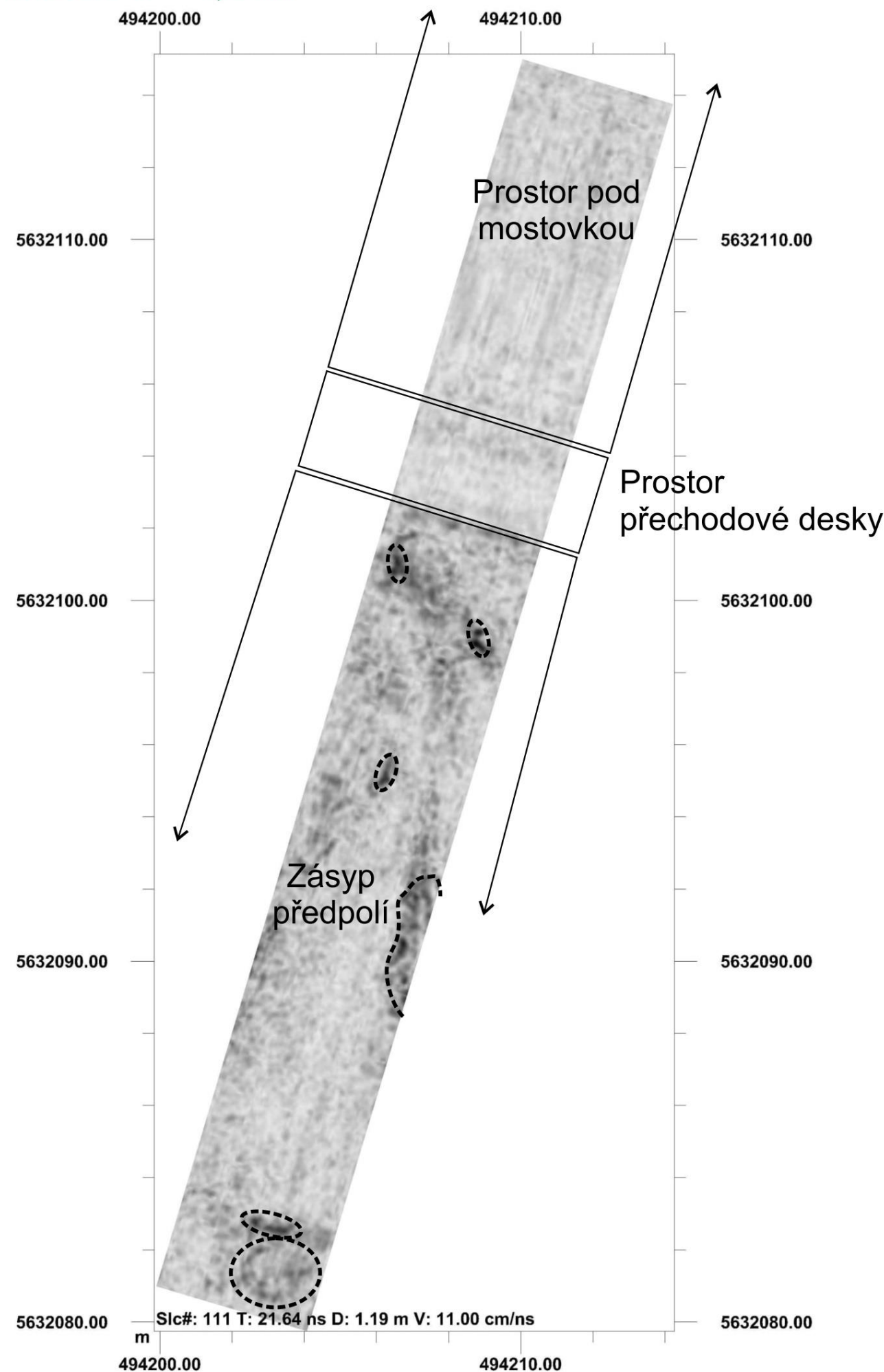
- most MO 2712-1 na silnici 2172 přes silnici D35 mezi Bílým Kostelem a Václavicemi (okolí Hrádku nad Nisou)
- MALÁ MIRA HDR (500 MHz, 6,5 cm vzdál. mezi kanály)
- sumované horizontální řezy
- vertikální řezy změřené a interpolované



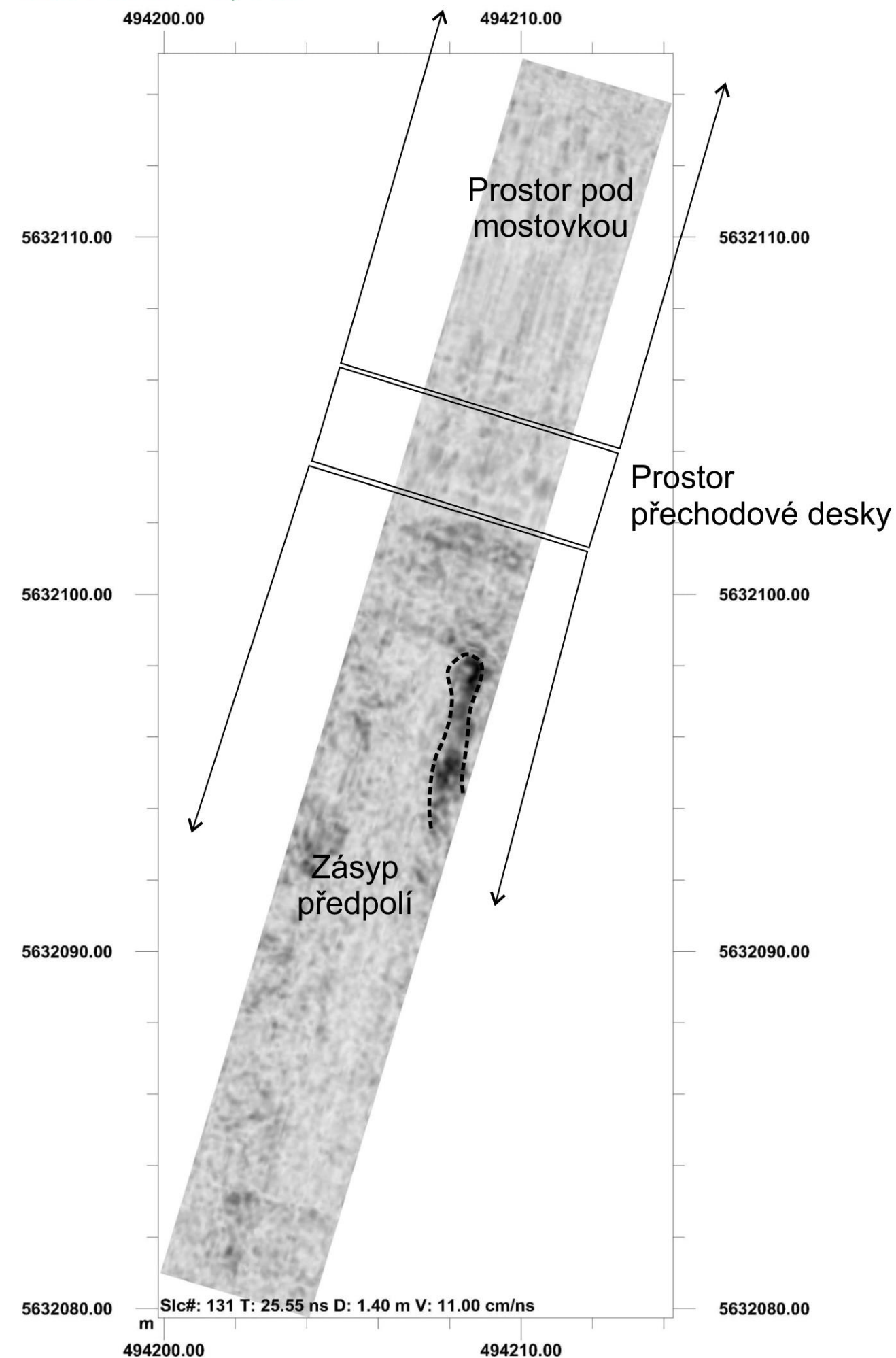
TESTOVACÍ MĚŘENÍ

- skvělé na vizualizaci rovinných struktur
 - horizontální konstrukční prvky, výztuž, kotvy
 - praskliny povrchů
 - nehomogenity zásypu
- komplikovanější na vizualizaci vyšších a ukloněných struktur
 - přechodové desky, vertikální konstrukční prvky

Řez 3: h = 1,2 m

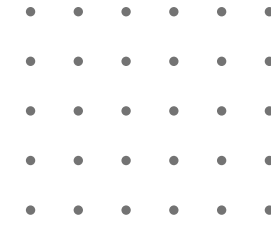


Řez 4: h = 1,4 m

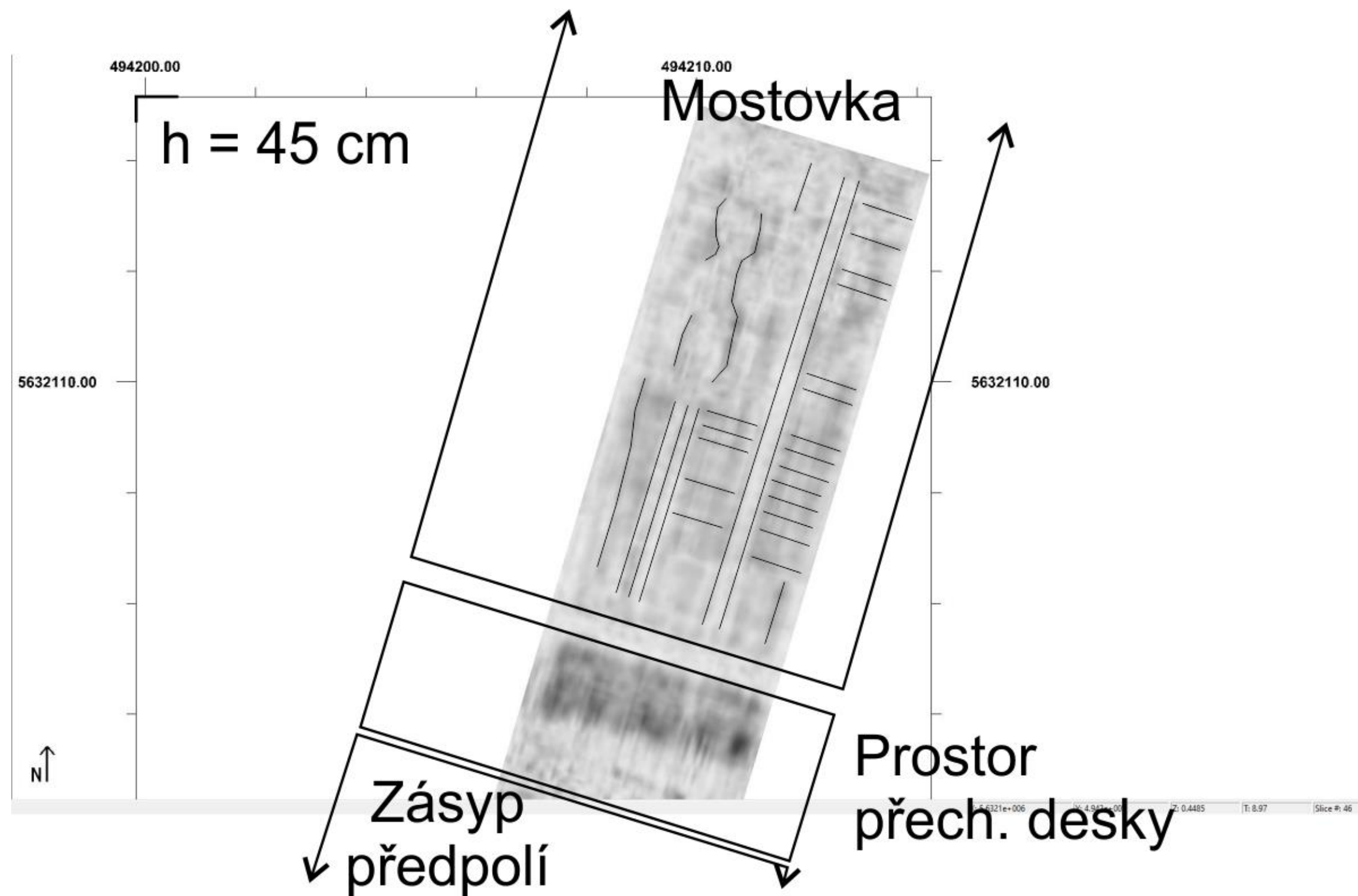


○ Indikované nehomogenity

TESTOVACÍ MĚŘENÍ



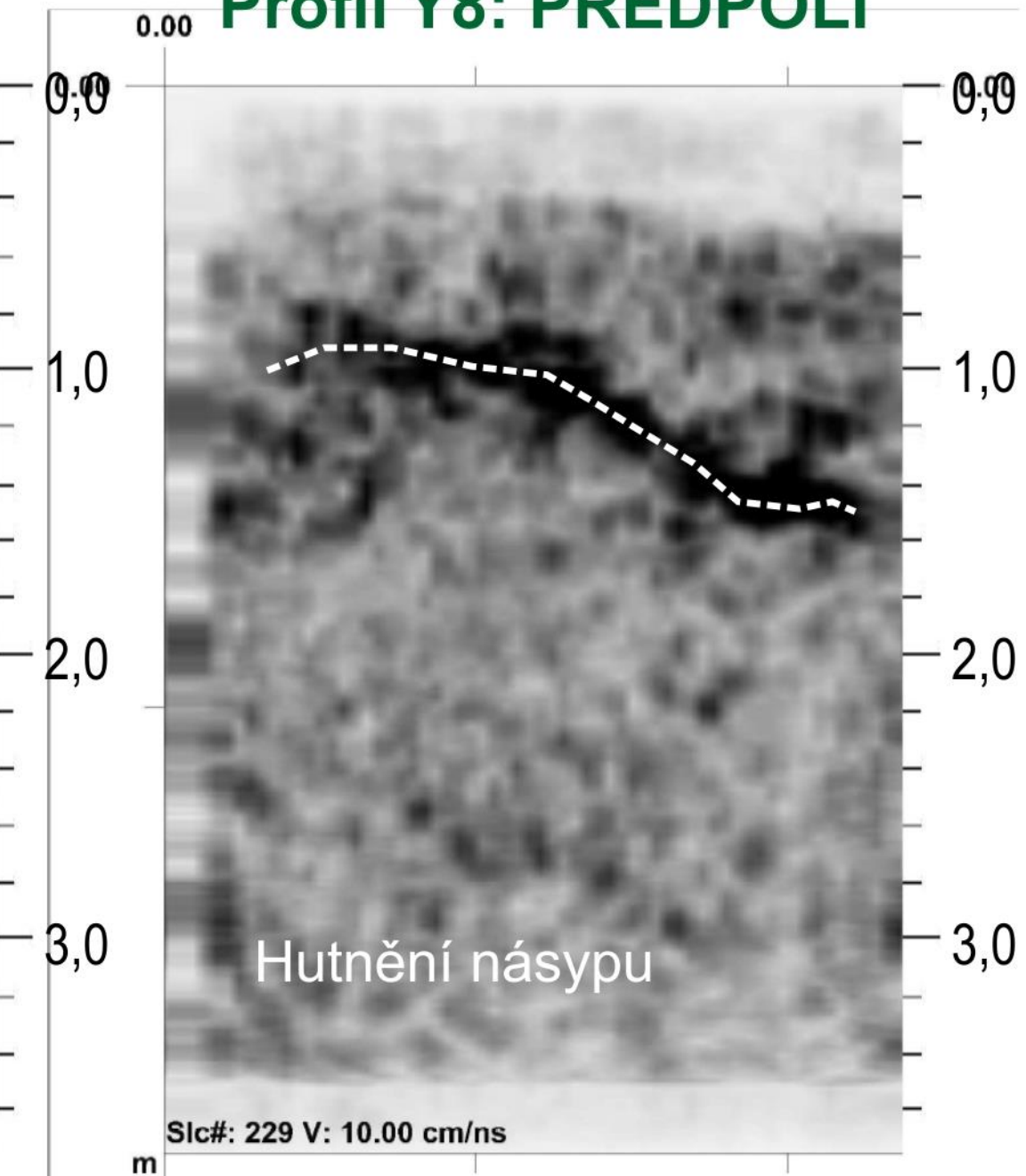
- identifikace konstrukčních prvků mostovky



TESTOVACÍ MĚŘENÍ

- zůstávají výhody 2D vertikálních profilů změřených
- interpoluje do 2D profilů nezměřených (příčných na směr sběru dat)

Profil Y8: PŘEDPOLÍ



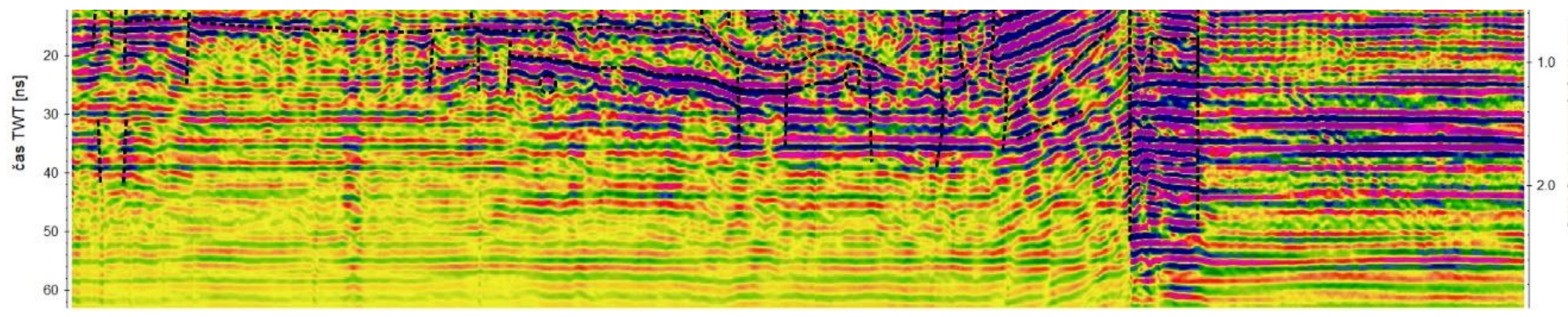
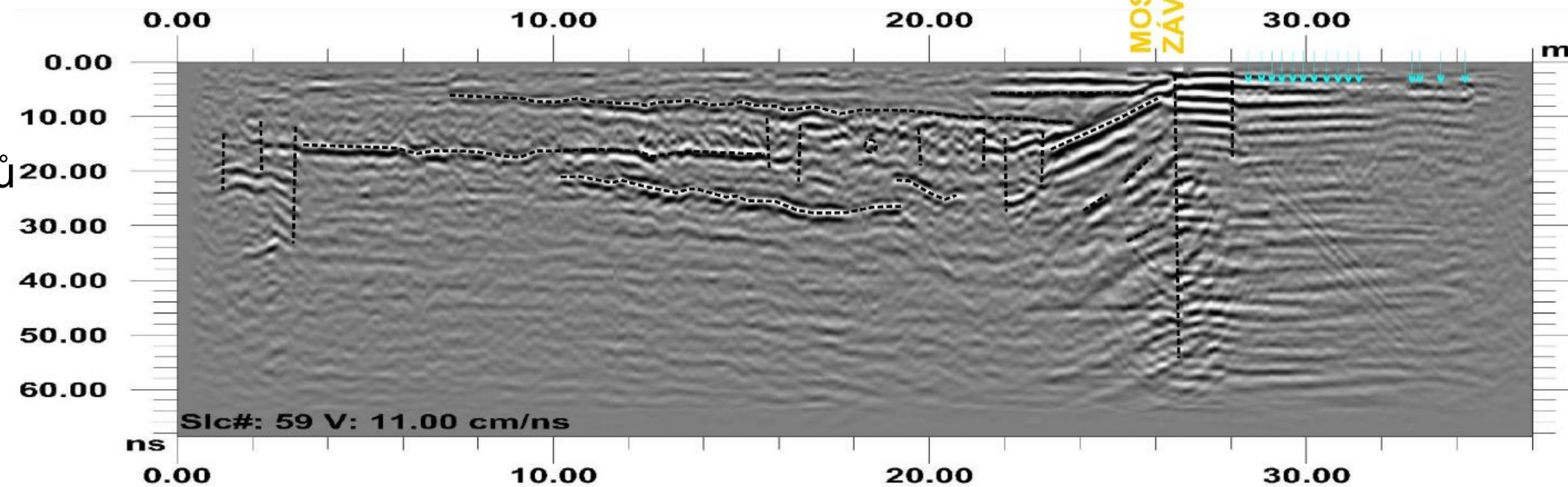
Profil X1: PRAVÝ OKRAJ MOSTU (BLÍZKO PRAVÉ KRAJNICE) - VARIANTY ZPRACOVÁNÍ

rSlicer: migrované vysčítané radargramy

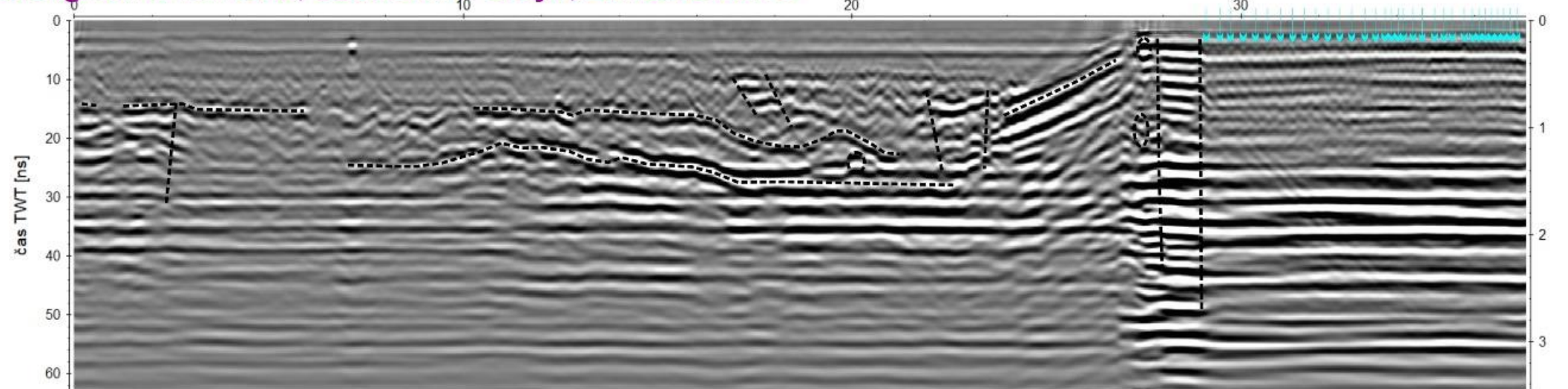
PŘEDPOLÍ + PŘECHODOVÁ ZÓNA

MOST.
ZÁVĚR

MOSTOVKA



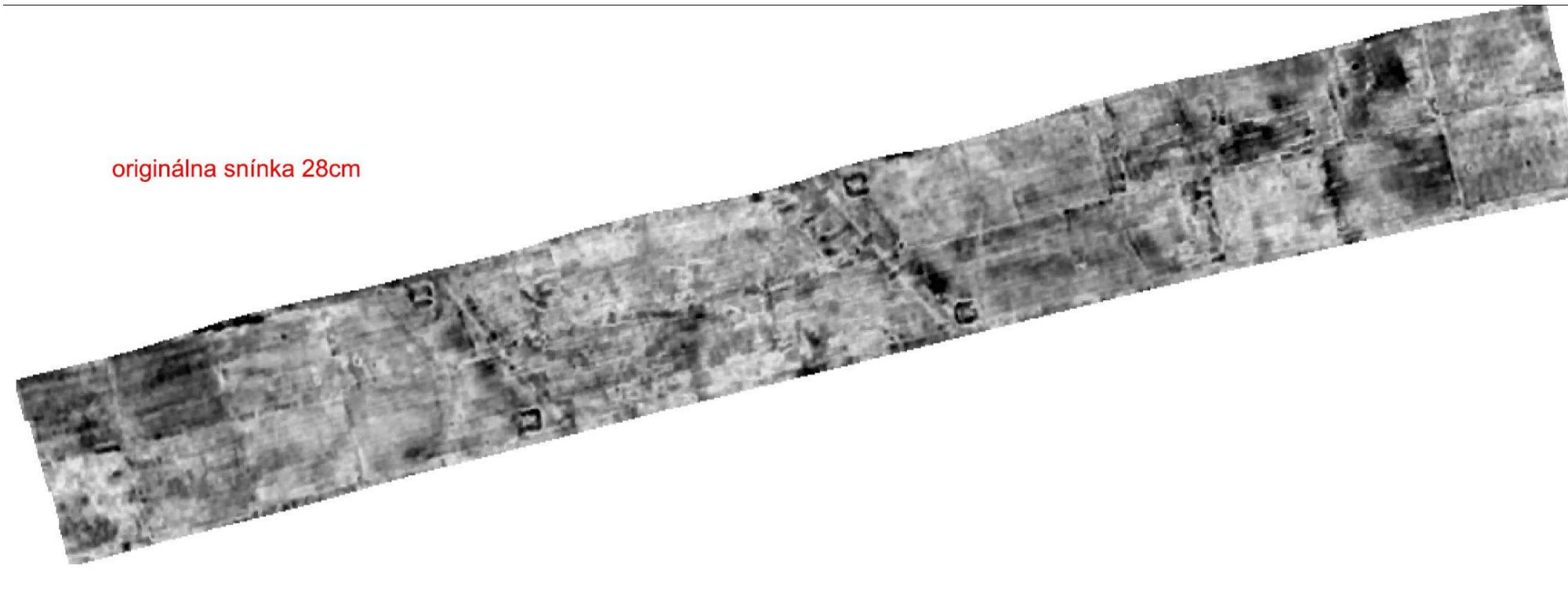
reflex: background removal; šedá škála Grey1; ZMIGROVÁNO



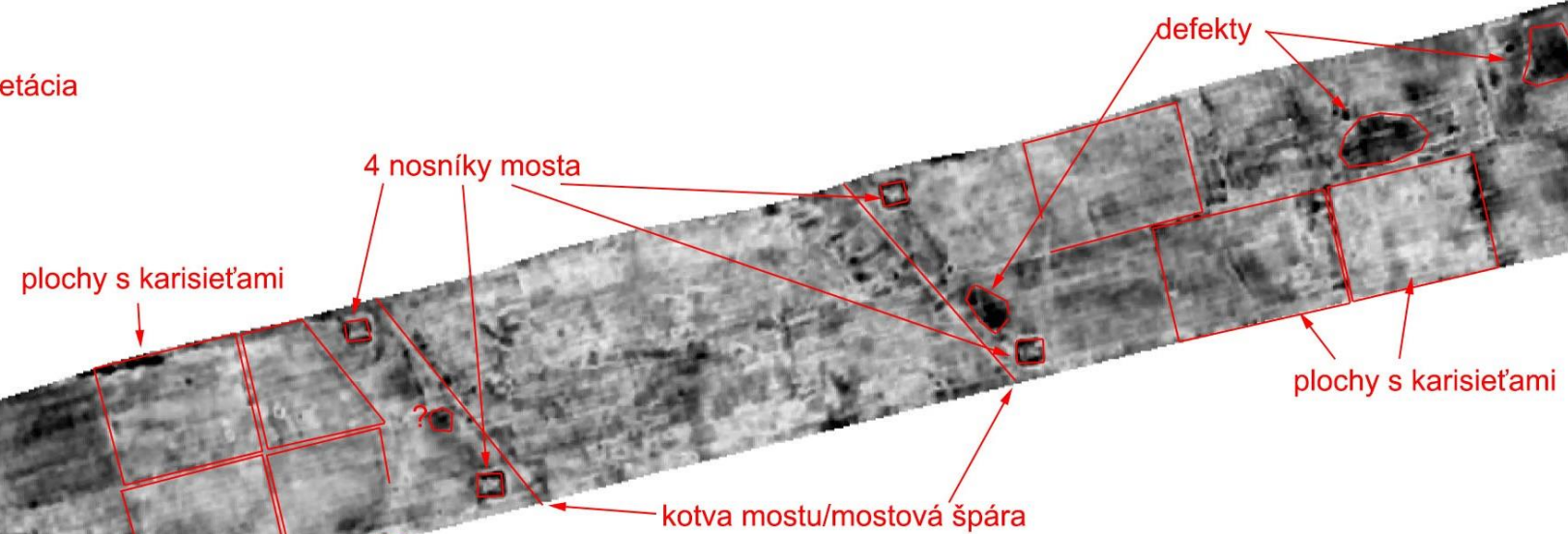
DEMO MĚŘENÍ

- most na silnici I. třídy, Slovensko

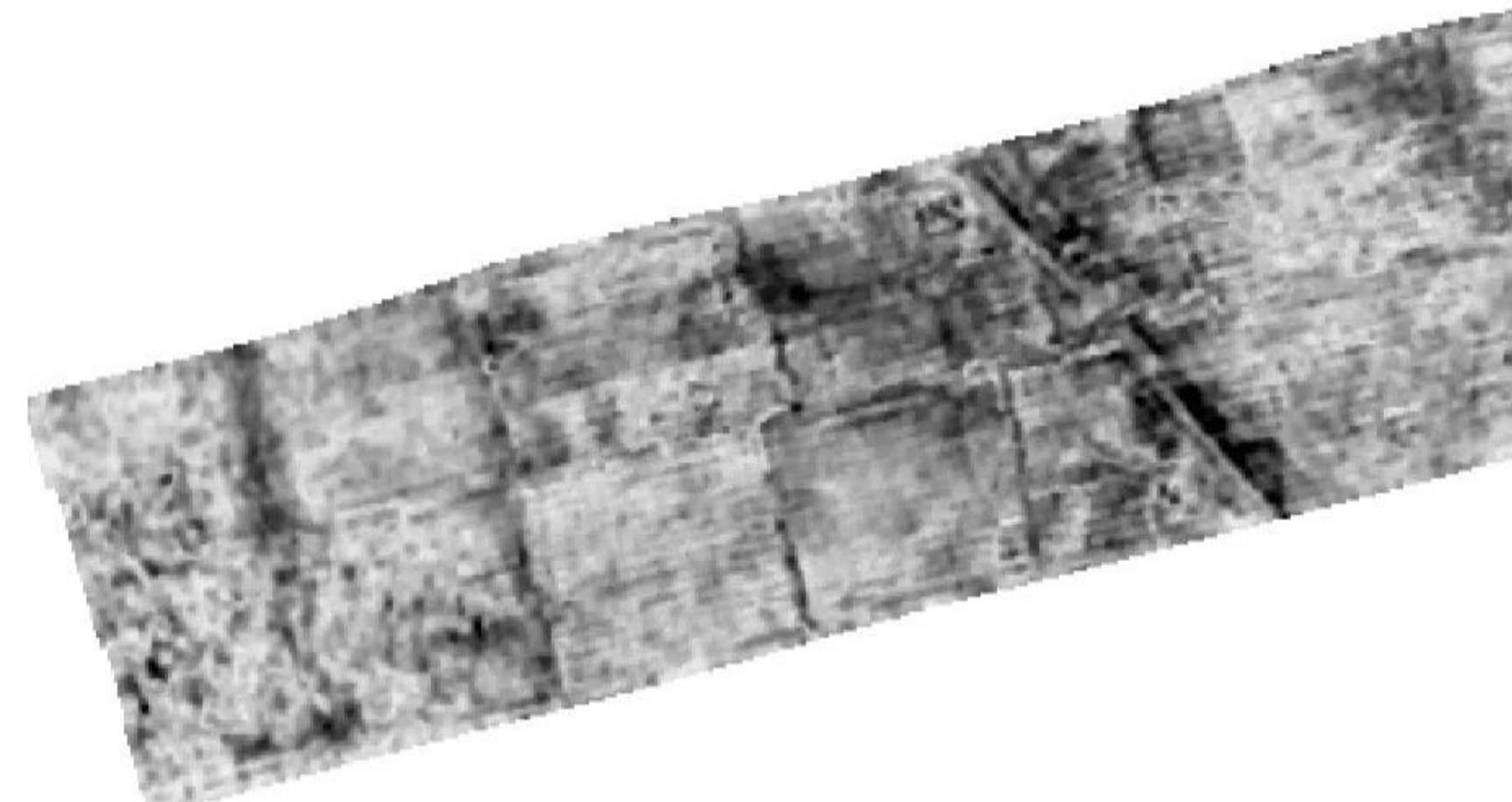
originálna snímka 28cm



interpretácia

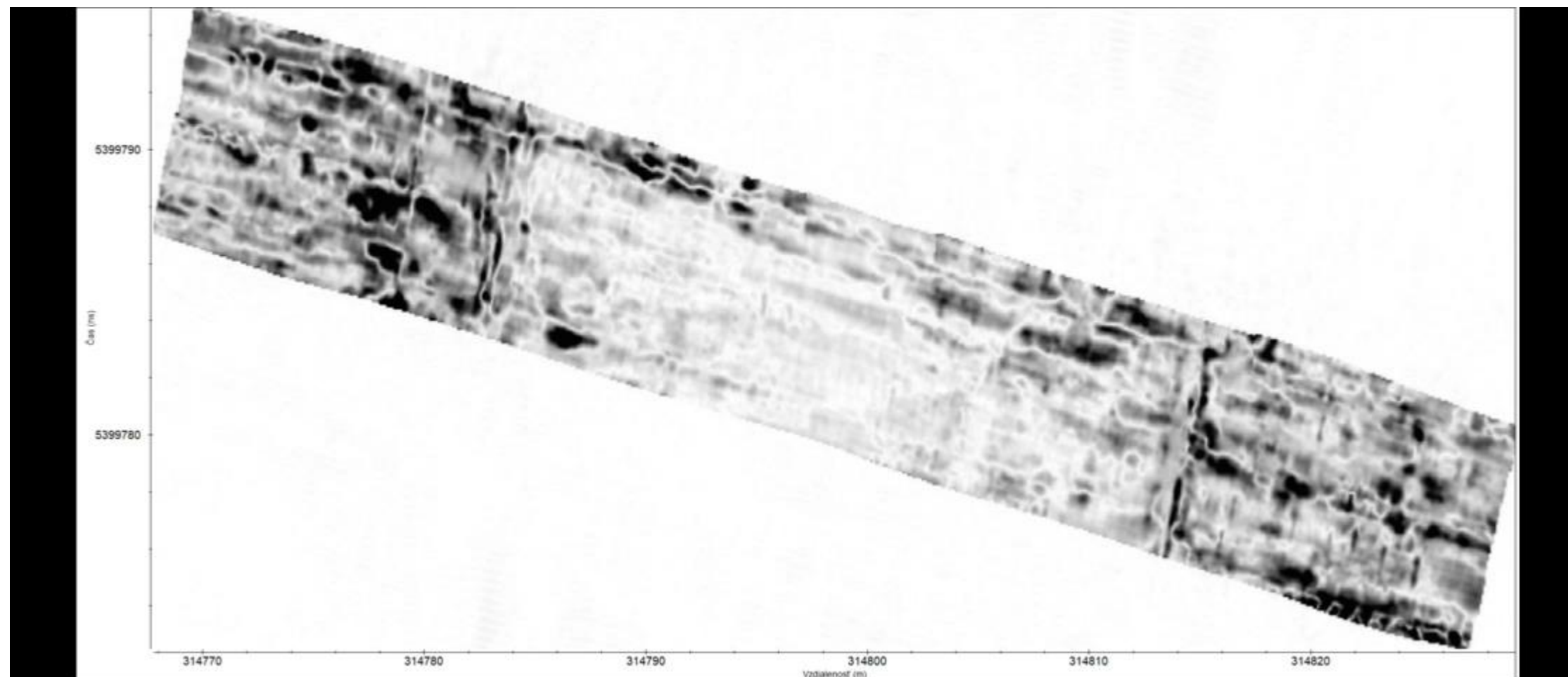


originálna snímka 46cm



ZAKÁZKOVÉ MĚŘENÍ

- MALÁ MIRA HDR (500 MHz, 6,5 cm vzdál. mezi kanály)
- most na silnici I. třídy, Slovensko, řez z hloubky 10 cm (rozhraní asphalt-beton:
 - vyšší útlum v míst dilatací mostu - přítomnost vody (zvýšená vlhkost), nebo mírné změny tloušťky vrstev?

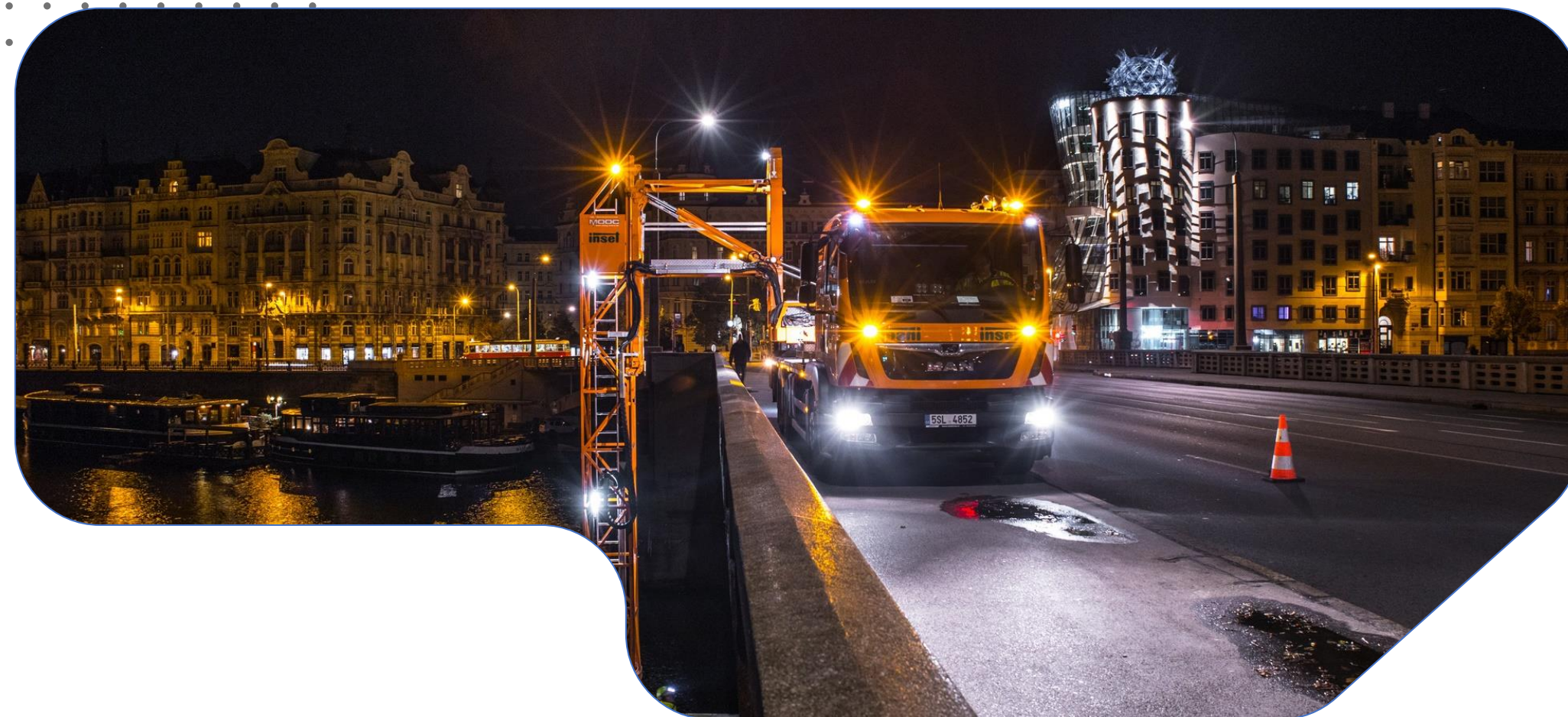


INSET s.r.o.

Praha, Brno, Ostrava, Žilina
Liberec, Valašské Meziříčí

OBORY ČINNOSTÍ

- Geotechnika a monitoring
- Geologický a geofyzikální průzkum
- Hydrogeologie
- Pyrotechnický průzkum
- Diagnostika a monitoring stavebních konstrukcí
- Diagnostika a monitoring životního prostředí
- Geodetické práce
- Servis trhacích prací
- Inženýrská činnost



CÍLOVÉ OBLASTI

- Dopravní stavby
- Podzemní stavby a zakládání staveb
- Inženýrské stavby
- Vodohospodářské stavby
- Pozemní stavby
- Životní prostředí
- Hornictví a těžba
- Energetika



inset



INSET s.r.o.
Lucemburská 1170/7,
130 00 Praha 3 - Vinohrady
IČO: 03579727, DIČ: CZ03579727



Jakub Široký
siroky.jakub@inset.com



+420 607 073 735



www.inset.com



Detekce volných prostor pomocí 3D georadarových měření

RNDr. Jakub Štainbruch, Ph.D.

stainbruch.jakub@inset.com

+420 602 281 076

INSET s.r.o.

3D georadarová měření

Měření pomocí jedнокanálového (2D) georadaru v síti profilů

Výhody: Menší finanční nároky na měřicí zařízení

Lze použít antény s nižší vysílací frekvencí - zlepšení hloubkového dosahu měření

Vhodné i pro menší plochy

Nevýhody: Rozdílná hustota měřených bodů ve směru x a y (1:10)

Obtížná detekce lineárních anomálií protažených ve směru profilů (nutné skenovat ve dvou kolmých směrech)

Pro dosažení kvalitního pokrytí plochy velká časová náročnost (nevhodné pro velké plochy)



3D georadarová měření

Měření pomocí mnohakanálového (3D) georadaru

Výhody: Měřená plocha je pokryta hustou sítí bodů v x i y směru
– detailnější plošný obraz skenované plochy

Lze skenovat i nepravidelné plochy

Stačí skenovat v 1 směru – schopnost detekce lineárních anomálií i paralelních k směru profilů

Čím více kanálů – tím větší šíře skenovaného pruhu
(profily jsou vzdálené více od sebe)

Výrazná úspora času při skenování velkých ploch

Nevýhody: Technické problémy s umístěním antén s nižšími frekvencemi (omezený hloubkový dosah)

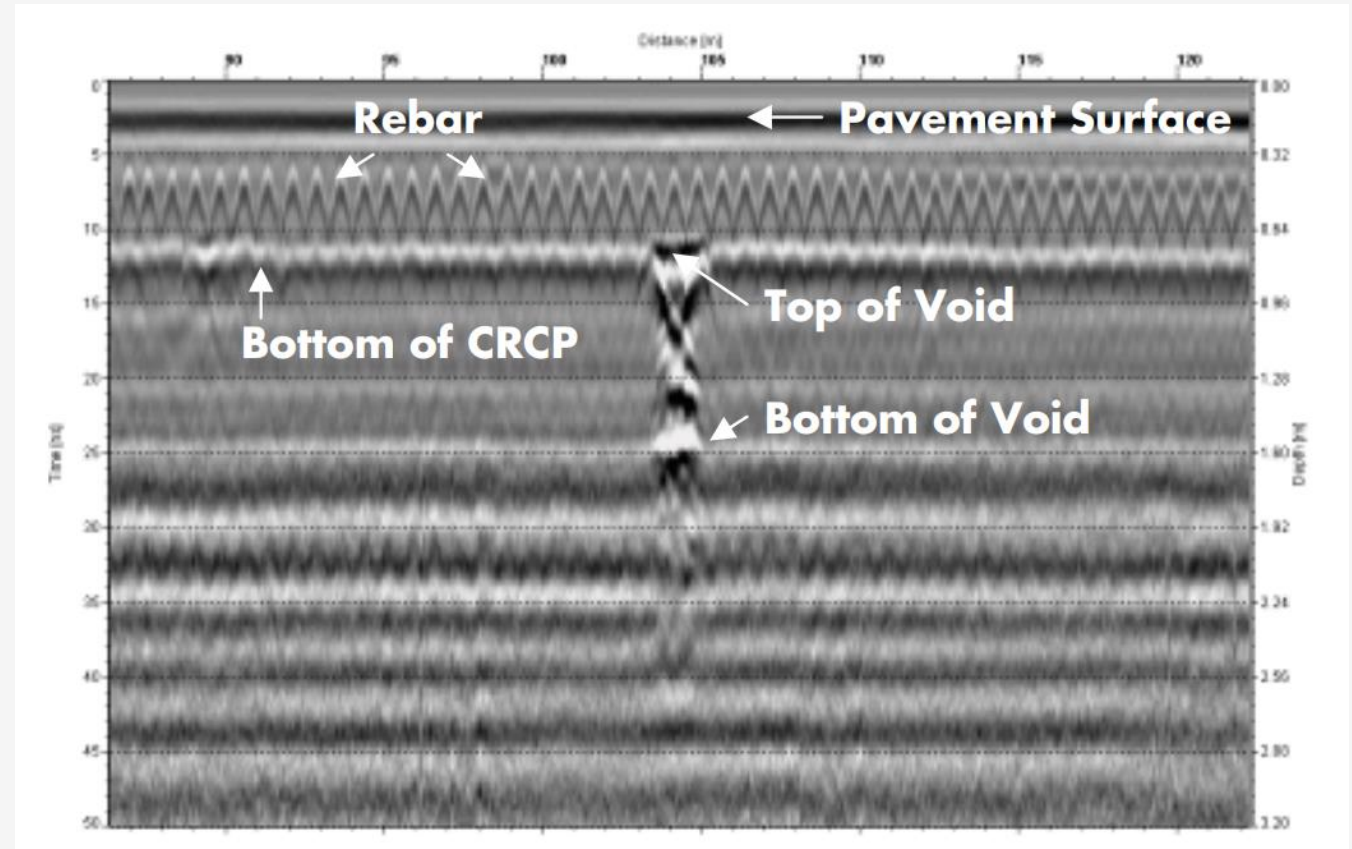
Vysoká pořizovací cena

Nepraktické pro malé plochy



Projev dutiny

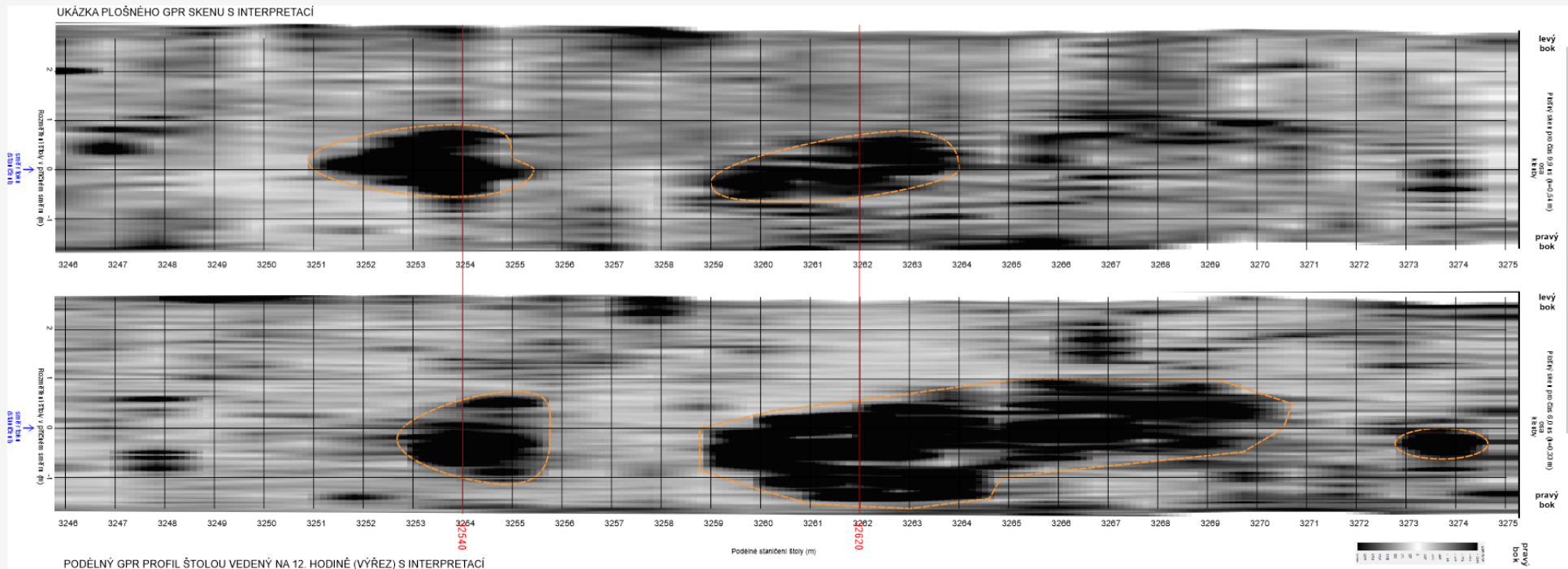
Volná prostora – vysoká reflexivita, změna fáze
- Ukázka projevu dutiny ve 2D profilovém řezu



Převzato z: Chen, D. H. 2010. Using Ground Coupled Radar Techniques to Detect Concealed Subsurface Voids. Texas Dptm. Of Transportation

Projev dutiny

Volná prostora – Ukázka projevu dutiny ve 3D hloubkovém řezu – amplitudová mapa



Ukázka výsledků plošných měření GPR 750 MHz stěny a stropu vodovodní štoly – detekce porušení horninového masívu. Amplitudové mapy konstruované pro hloubkové úrovně 30 a 50 cm od líce.

Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 2D georadaru

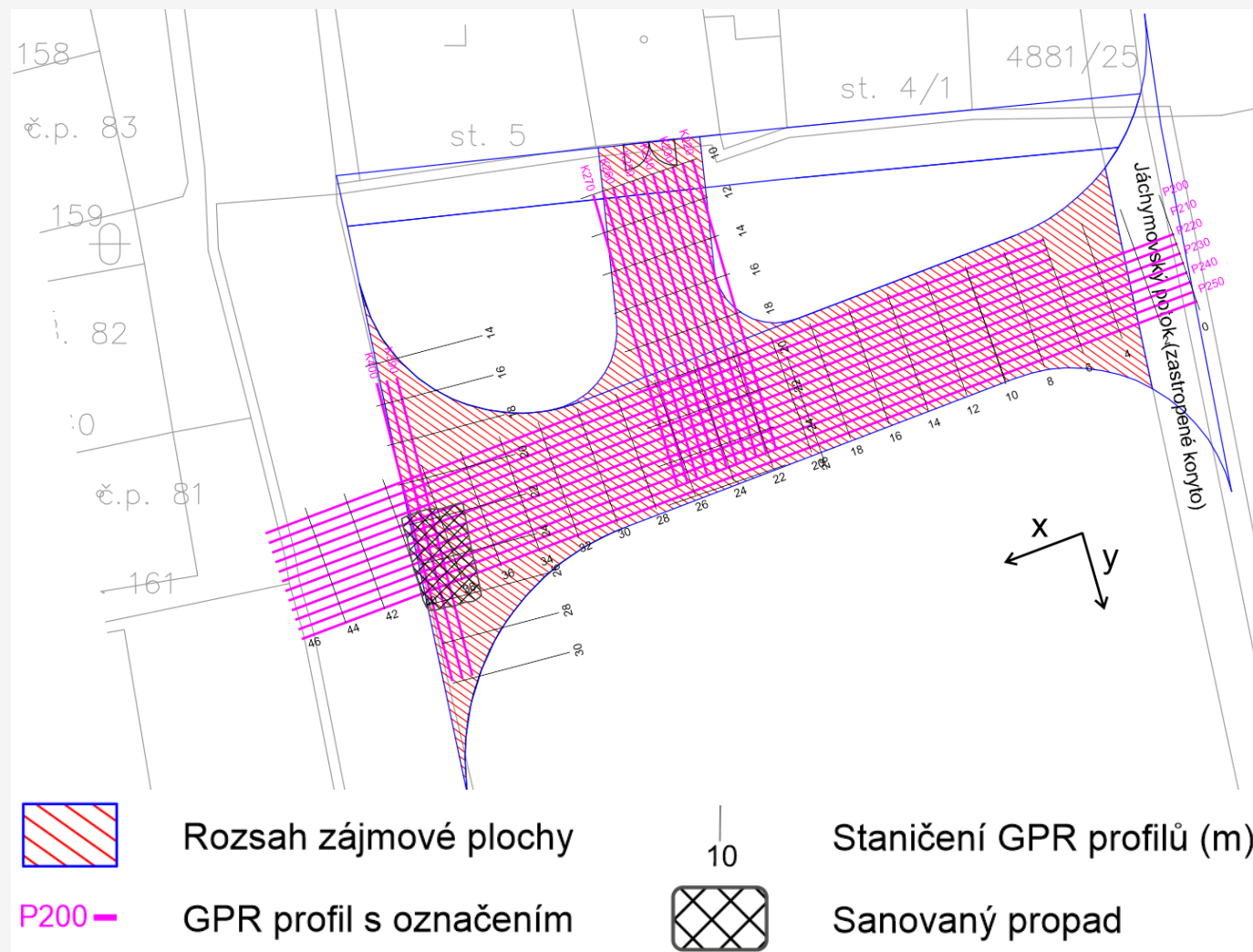
Jáchymov – propad vozovky v důsledku poddolování (r. 2020)



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 2D georadaru

Jáchymov – propad vozovky v důsledku poddolování (r. 2020)

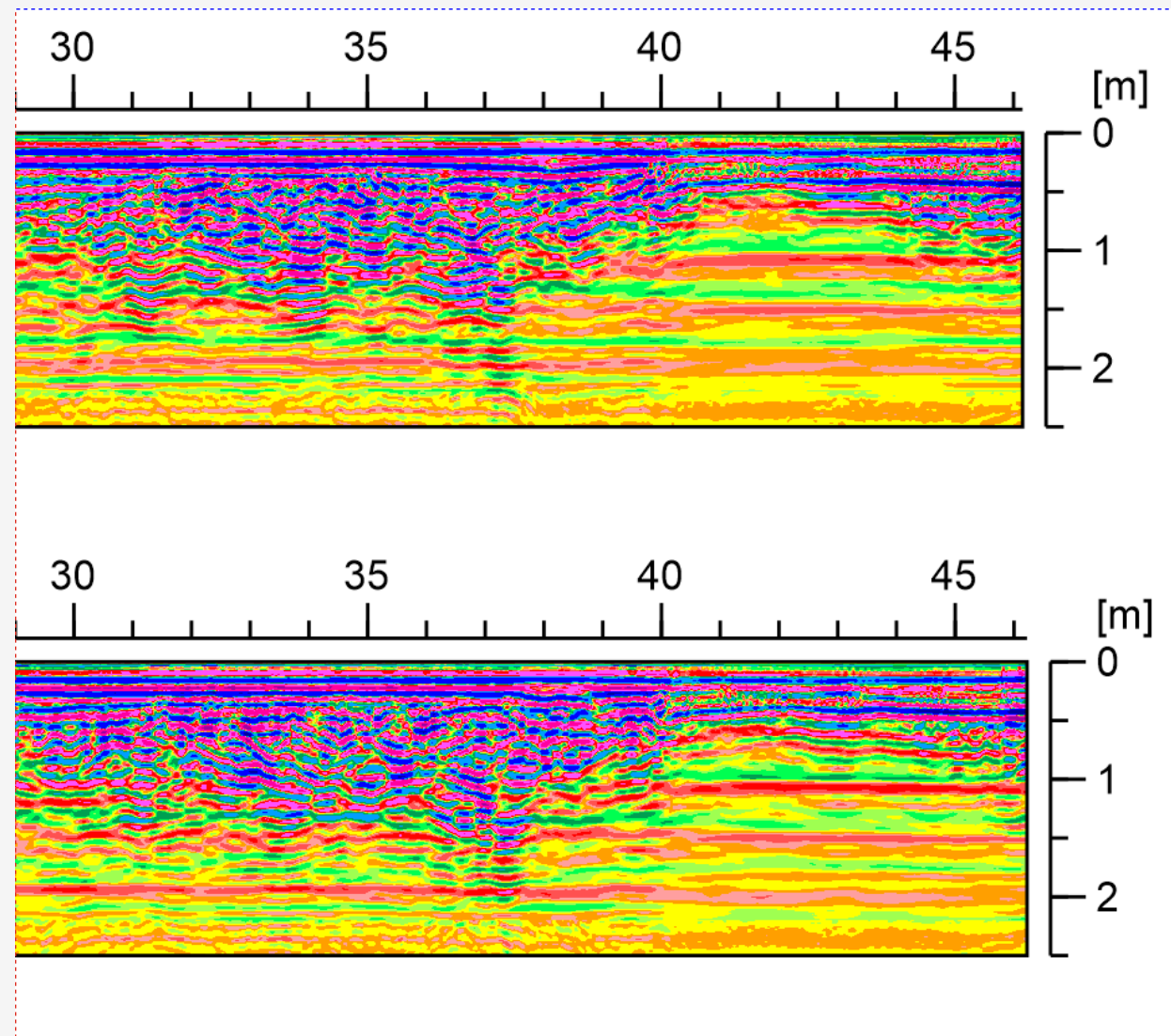
Plošný GPR průzkum 450 a 160 MHz v síti paralelních profilů (P) po 1 m s několika kolmými profily (K).



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 2D georadaru

Jáchymov – propad vozovky v důsledku poddolování (r. 2020)

Plošný GPR průzkum 450 a 160 MHz v síti paralelních profilů (P) po 1 m s několika kolmými profily (K).

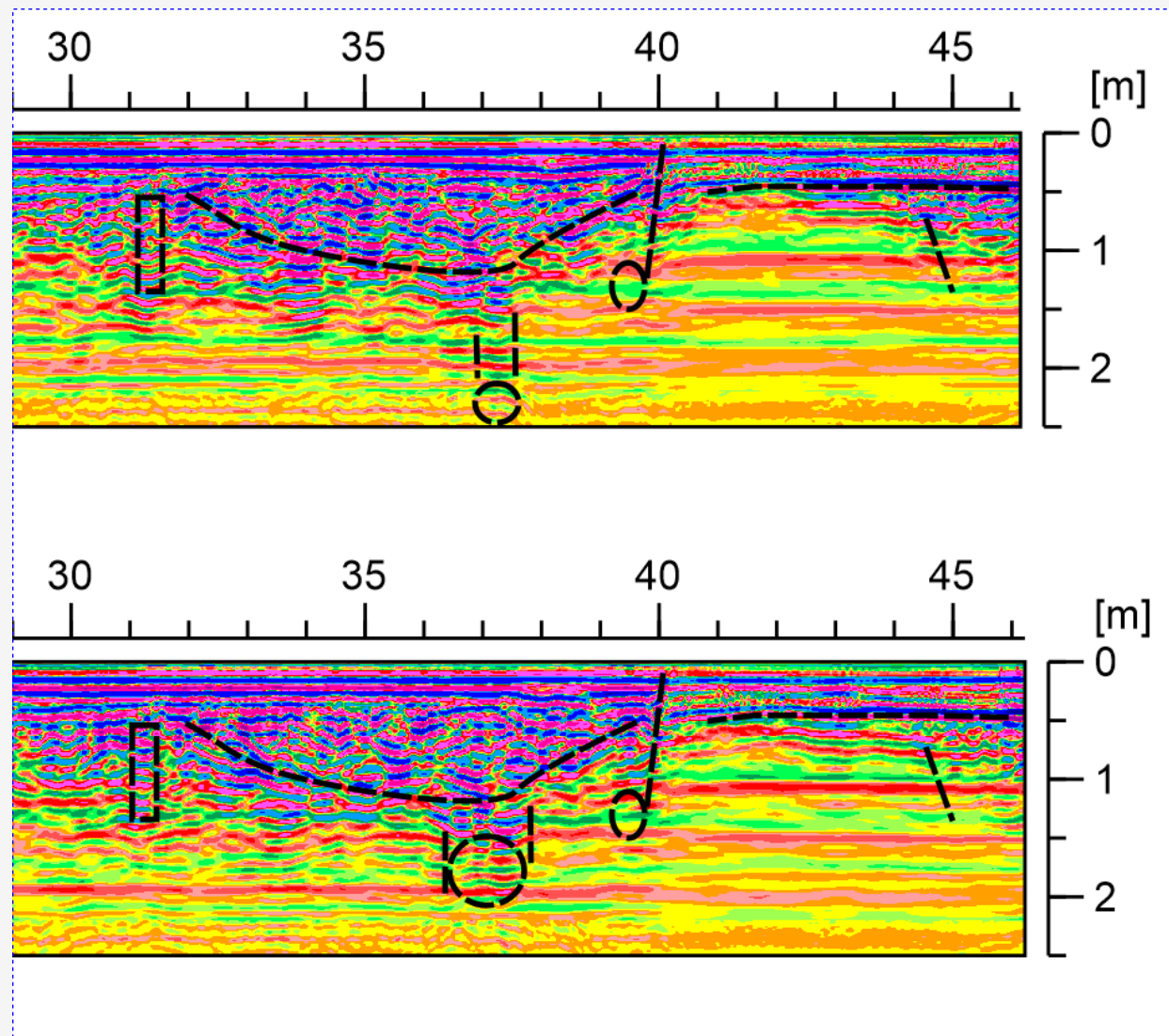


Ukázka výsledků GPR 450 MHz profilových řezů přes anomálii

Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 2D georadaru

Jáchymov – propad vozovky v důsledku poddolování (r. 2020)

Plošný GPR průzkum 450 a 160 MHz v síti paralelních profilů (P) po 1 m s několika kolnými profily (K).



Ukázka výsledků GPR 450 MHz profilových řezů přes anomálii

.... s interpretací

Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 2D georadaru

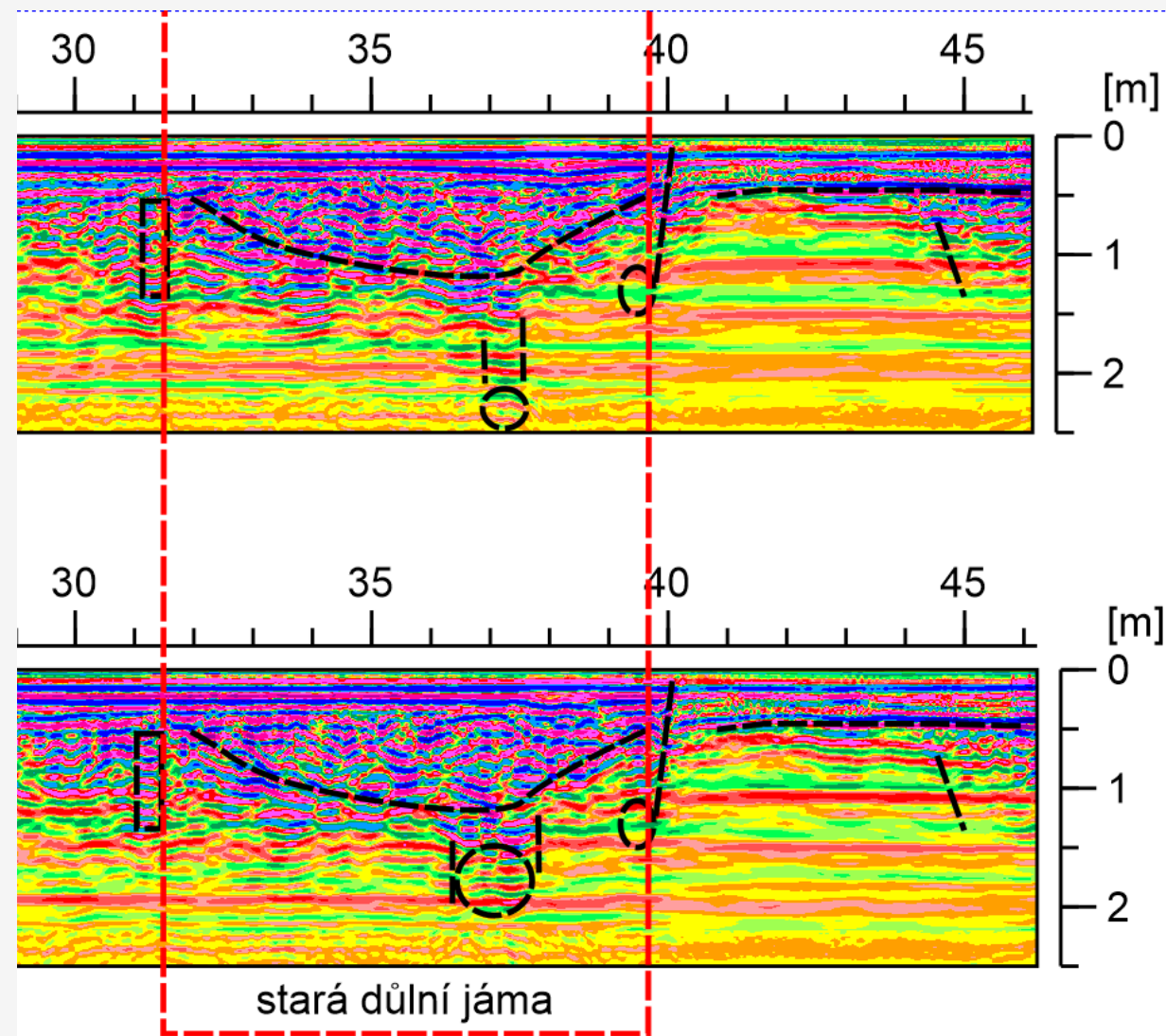
Jáchymov – propad vozovky v důsledku poddolování (r. 2020)

Plošný GPR průzkum 450 a 160 MHz v síti paralelních profilů (P) po 1 m s několika kolmými profily (K).

Ukázka výsledků GPR 450 MHz profilových řezů přes anomálii

.... s interpretací

.... a s vyznačením rozsahu staré důlní jámy

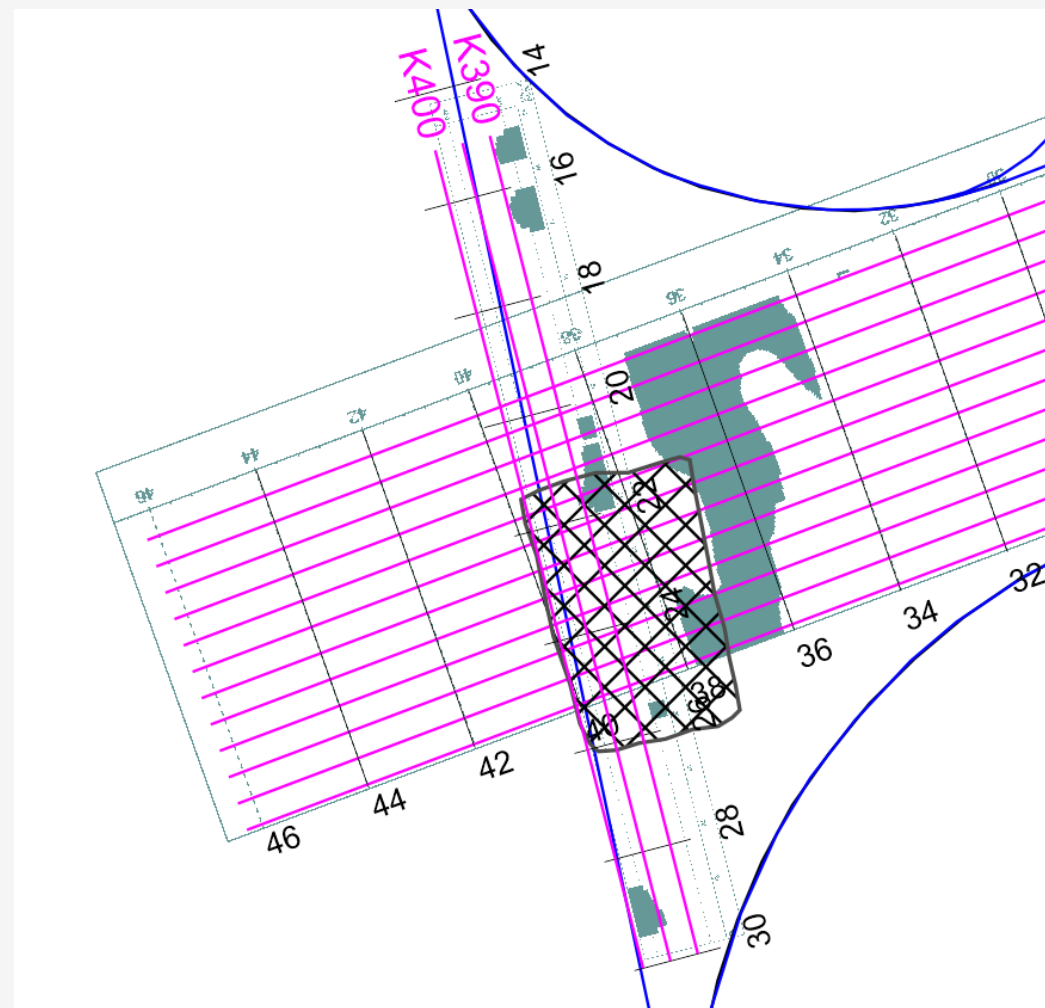


Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 2D georadaru

Jáchymov – propad vozovky v důsledku poddolování (r. 2020)

Plošný GPR průzkum 450 a 160 MHz v síti paralelních profilů (P) po 1 m s několika kolmými profily (K).

Ukázka plošného zpracování GPR 160 MHz profilových řezů do **amplitudové mapy** pro hloubkovou úroveň 1,5 m. Šedými tóny zvýrazněna oblast zvýšené reflexivity, indikující zónu rozvolněného materiálu.



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 2D georadaru

Jablonné v Podještědí (r. 2018)

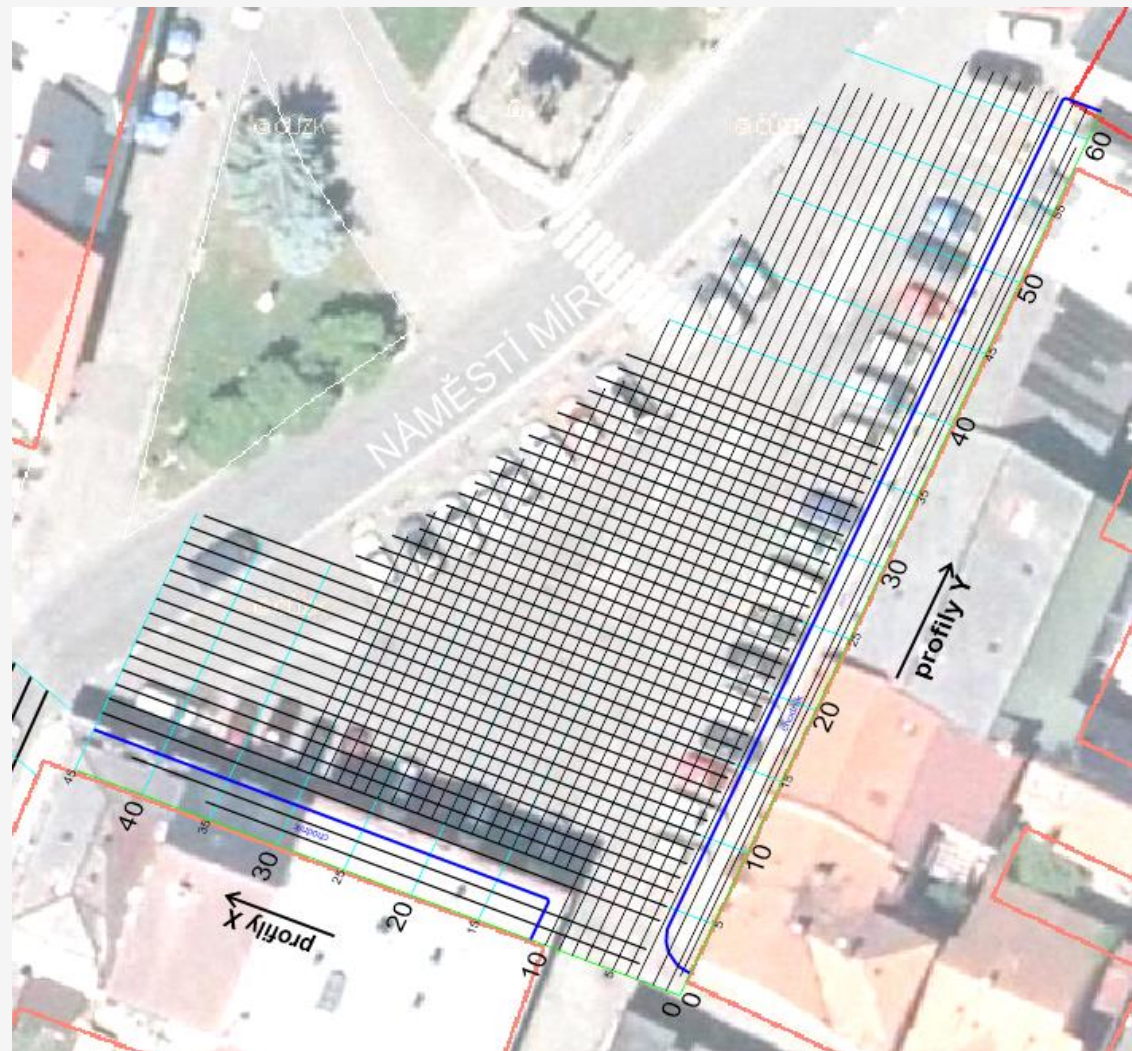
- Plošný 3D GPR průzkum náměstí před zahájením plánované revitalizace
- Cílem bylo vytipovat objekty/zóny s potenciálním archeologickým významem, kde by byl v předstihu před výstavbou naplánován a zrealizován záchranný archeologický výzkum
- Tento postup vede k zpřesnění harmonogramu postupu prací, omezuje „nepředvídané problémy na stavbě“, tj. neplánovaná zdržení a vícenáklady



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 2D georadaru

Jablonné v Podještědí (r. 2018)

- Plošný 3D GPR průzkum náměstí před zahájením plánované revitalizace
- Plošný GPR průzkum 450 a 160 MHz v síti paralelních profilů (P) a kolmých profilů (K) s rozstupem 1 m.

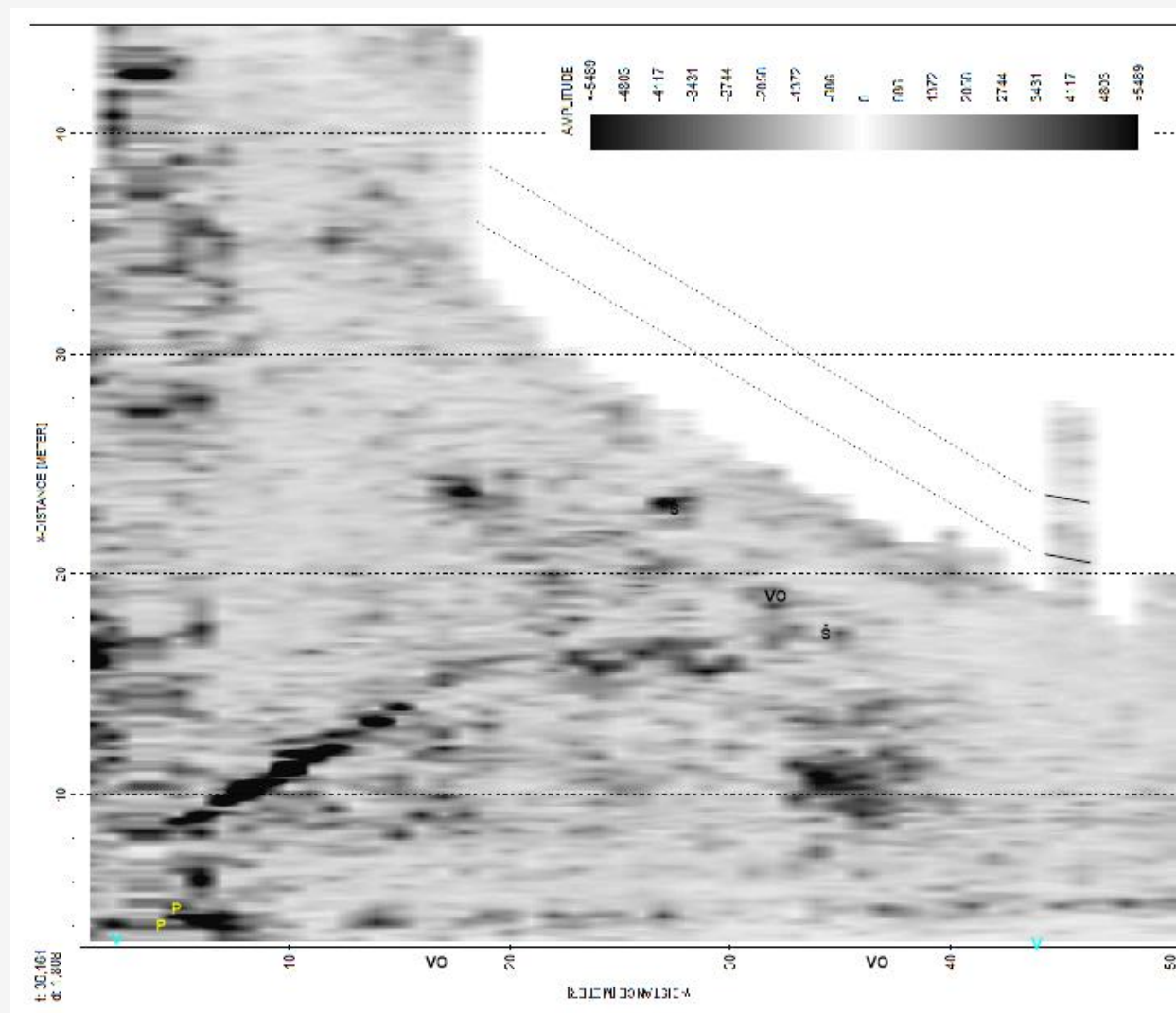


Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 2D georadaru

Jablonné v Podještědí (r. 2018)

- Plošný 3D GPR průzkum náměstí před zahájením plánované revitalizace
- Plošný GPR průzkum 450 a 160 MHz v síti paralelních profilů (Y) a kolmých profilů (X) s rozstupem 1 m.

Amplitudová mapa GPR 160 MHz **Y profilů** pro hloubkovou úroveň 1,5-2 m. Tmavými tóny zvýrazněna oblast zvýšené reflexivity.

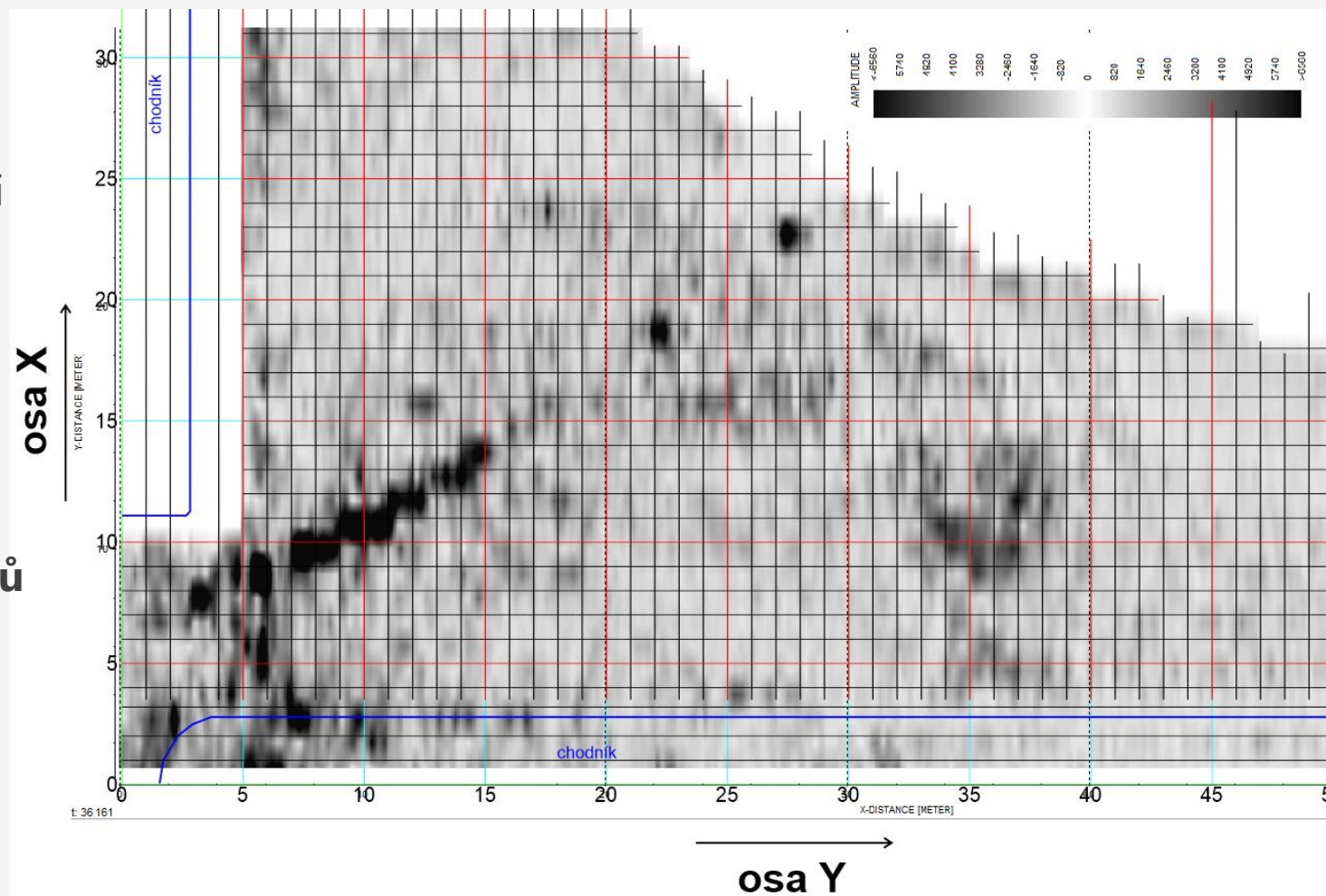


Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 2D georadaru

Jablonné v Podještědí (r. 2018)

- Plošný 3D GPR průzkum náměstí před zahájením plánované revitalizace
- Plošný GPR průzkum 450 a 160 MHz v síti paralelních profilů (Y) a kolmých profilů (X) s rozstupem 1 m.

Amplitudová mapa GPR 160 MHz **X profilů** pro hloubkovou úroveň 1,5-2 m. Tmavými tóny zvýrazněna oblast zvýšené reflexivity.



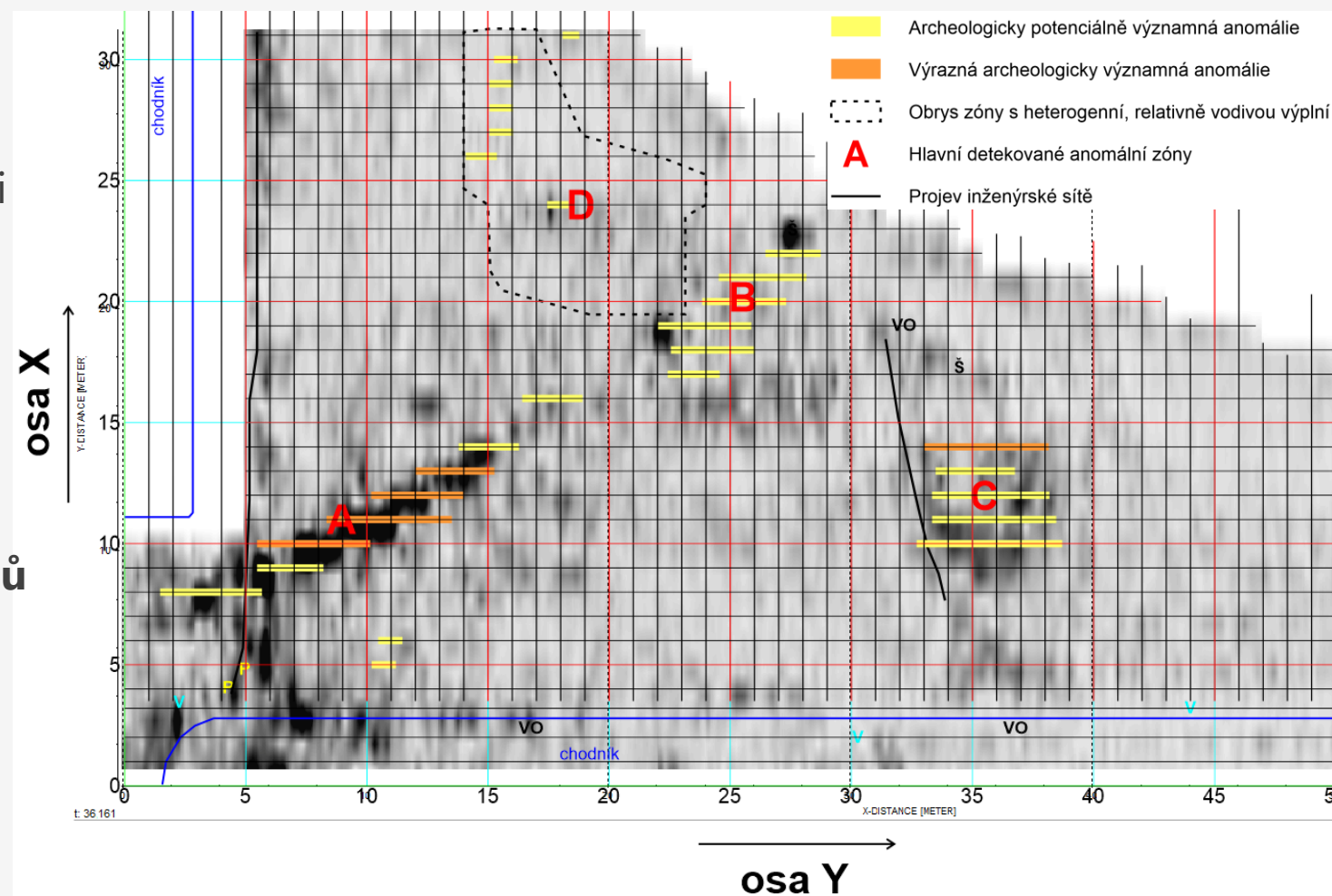
Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 2D georadaru

Jablonné v Podještědí (r. 2018)

- Plošný 3D GPR průzkum náměstí před zahájením plánované revitalizace
- Plošný GPR průzkum 450 a 160 MHz v síti paralelních profilů (Y) a kolmých profilů (X) s rozstupem 1 m.

Amplitudová mapa GPR 160 MHz **X profilů** pro hloubkovou úroveň 1,5-2 m. Tmavými tóny zvýrazněna oblast zvýšené reflexivity.

Interpretace hlavních anomálních zón A-D



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 2D georadaru

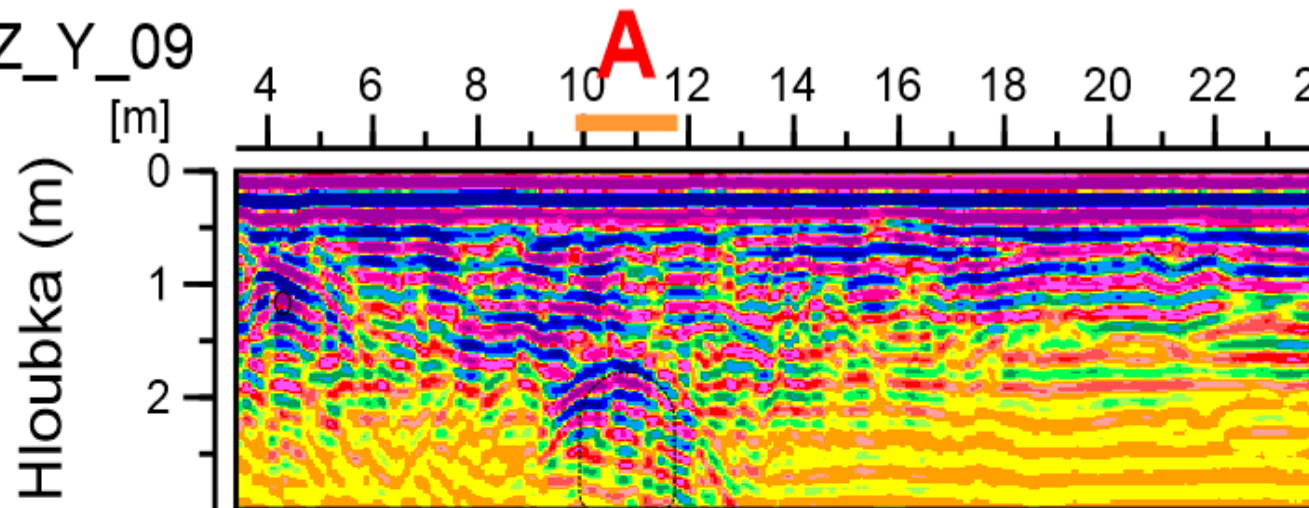
Jablonné v Podještědí (r. 2018)

- Plošný 3D GPR průzkum náměstí před zahájením plánované revitalizace
- Plošný GPR průzkum 450 a 160 MHz v síti paralelních profilů (Y) a kolmých profilů (X) s rozstupem 1 m.

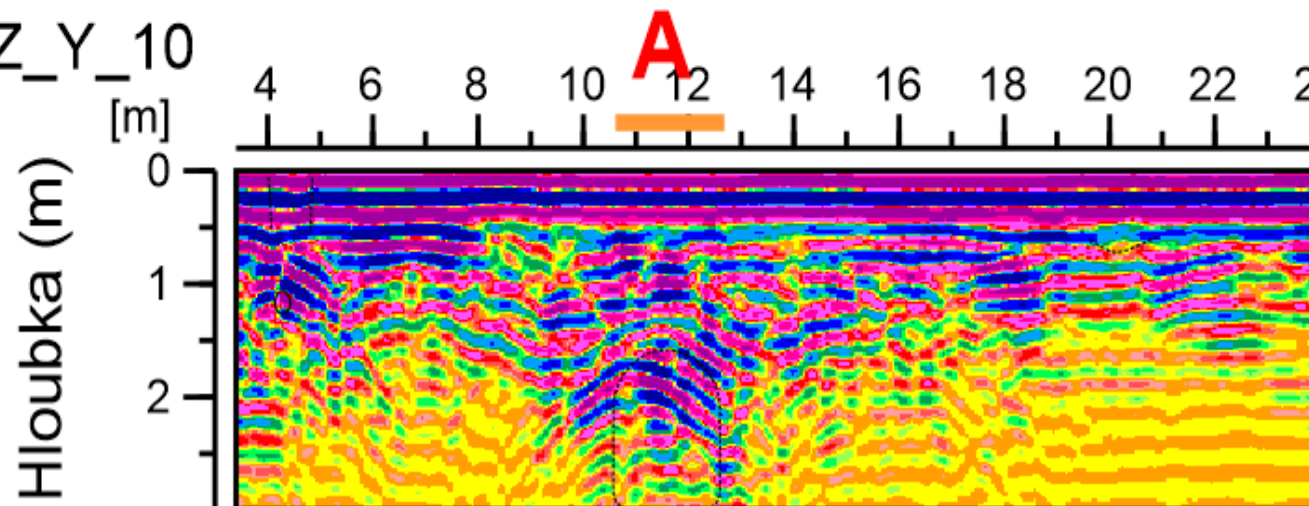
Ukázka 160 MHz profilových řezů Y profilů s interpretovanou anomálií **A**

Následným archeologickým výzkumem byla odhalena vodovodní štola spojující náměstí s objektem býv. kláštera (pivovaru)

160MHZ_Y_09



160MHZ_Y_10



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 3D georadaru

Park Mrtvolky (r. 2023)

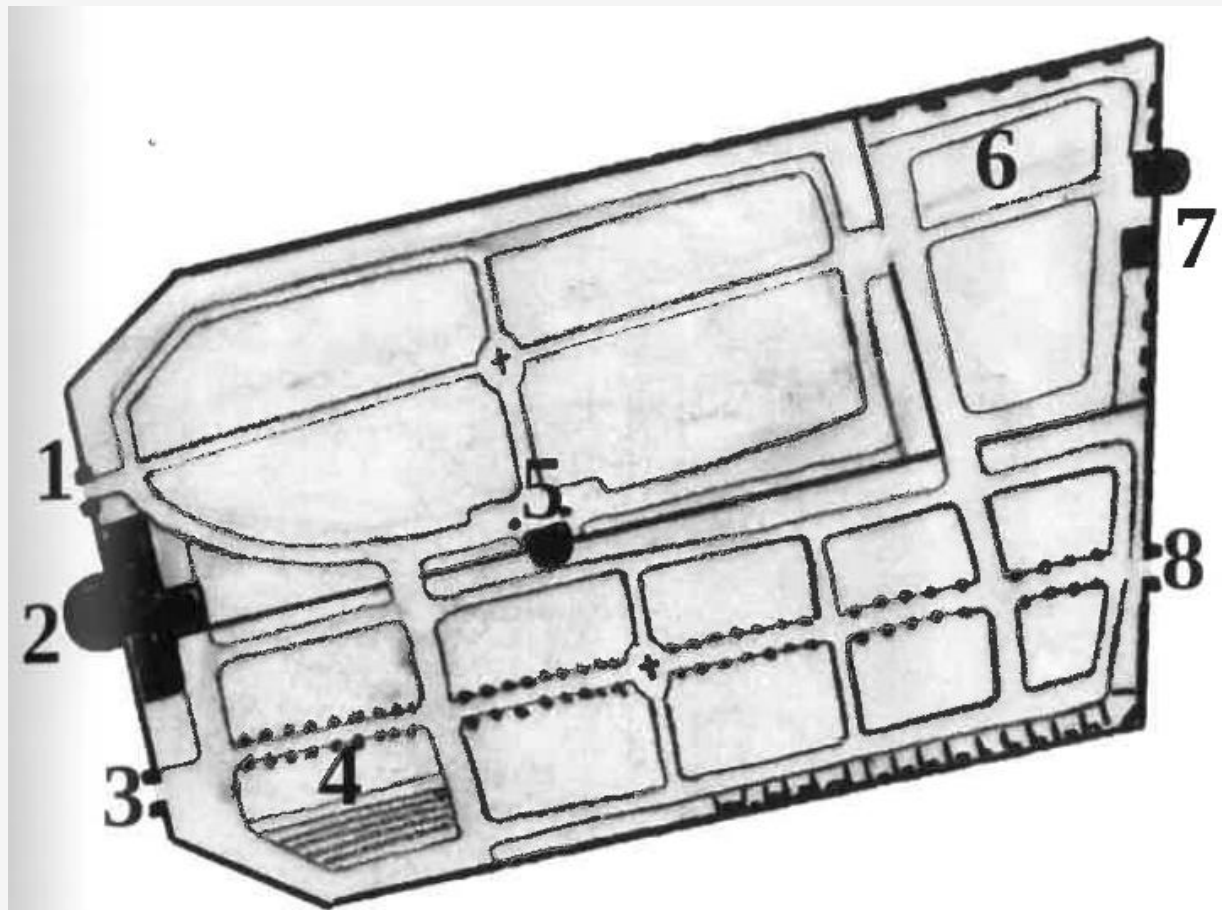
- Bývalý centrální městský hřbitov v Liberci s více než 1700 hroby byl v 70. letech přeměněn na park. Během akce Food festival došlo k propadu kamionu. Archeologický průzkum odkryl volnou prostorou v místě bývalé hrobky. Další propady terénu byly hlášeny i na jiných místech.



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 3D georadaru

Park Mrtvolky (r. 2023)

- Bývalý centrální městský hřbitov v Liberci s více než 1700 hroby byl v 70. letech přeměněn na park. Během akce Food festival došlo k propadu kamionu. Archeologický průzkum odkryl volnou prostor v místě bývalé hrobky. Další propady terénu byly hlášeny i na jiných místech.

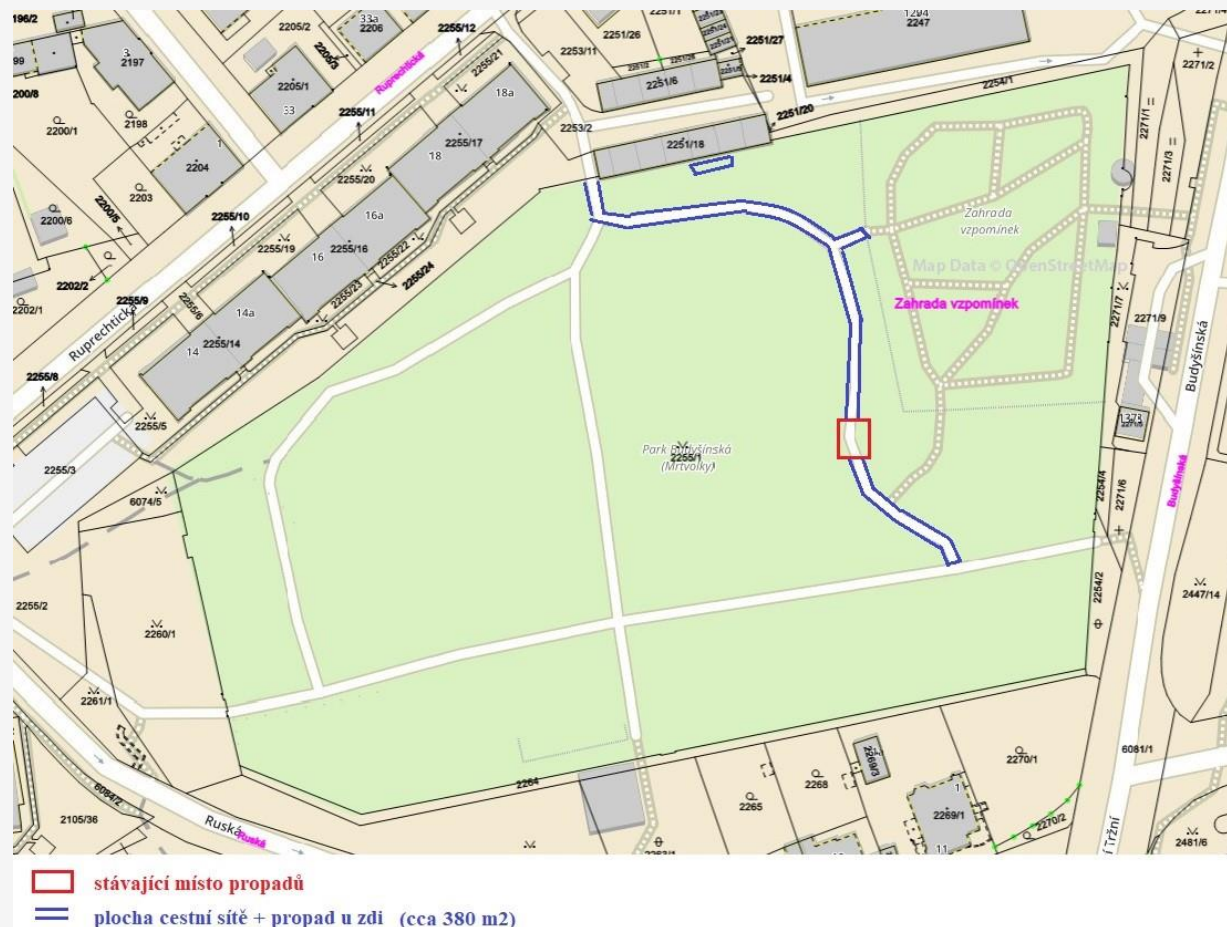


Plán hřbitova ze 40. let 20. století (převzato z Mašík M. 2019. Liberecká pohřebiště. Geoprint. Liberec)

Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 3D georadaru

Park Mrtvolky (r. 2023)

- Bývalý centrální městský hřbitov v Liberci s více než 1700 hroby byl v 70. letech přeměněn na park. Během akce Food festival došlo k propadu kamionu. Archeologický průzkum odkryl volnou prostorou v místě bývalé hrobky. Další propady terénu byly hlášeny i na jiných místech.
- Byl objednáán geofyzikální průzkum cesty v okolí propadu s cílem vytipovat případné další volné prostory.
- V další etapě byl průzkum rozšířen i na zbylé cesty a nakonec i na zelené plochy
- Celková skenovaná plocha byla 1,9 ha.



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 3D georadaru

Park Mrtvolky (r. 2023)

- V rámci 3. etapy (zelené plochy) proběhlo plošné detailní měření 3D GPR systémem **Kontur**
- 20-kanálový systém s proměnlivou vysílací frekvencí 200 MHz – 3 GHz
- Šířka anténního pole 1,5 m
- Měření v síti bodů 7x6 cm.
- Pozice kontrolována pomocí RTS – vysoká přesnost pozice antény (1-4x/s)



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 3D georadaru

Park Mrtvolky (r. 2023)

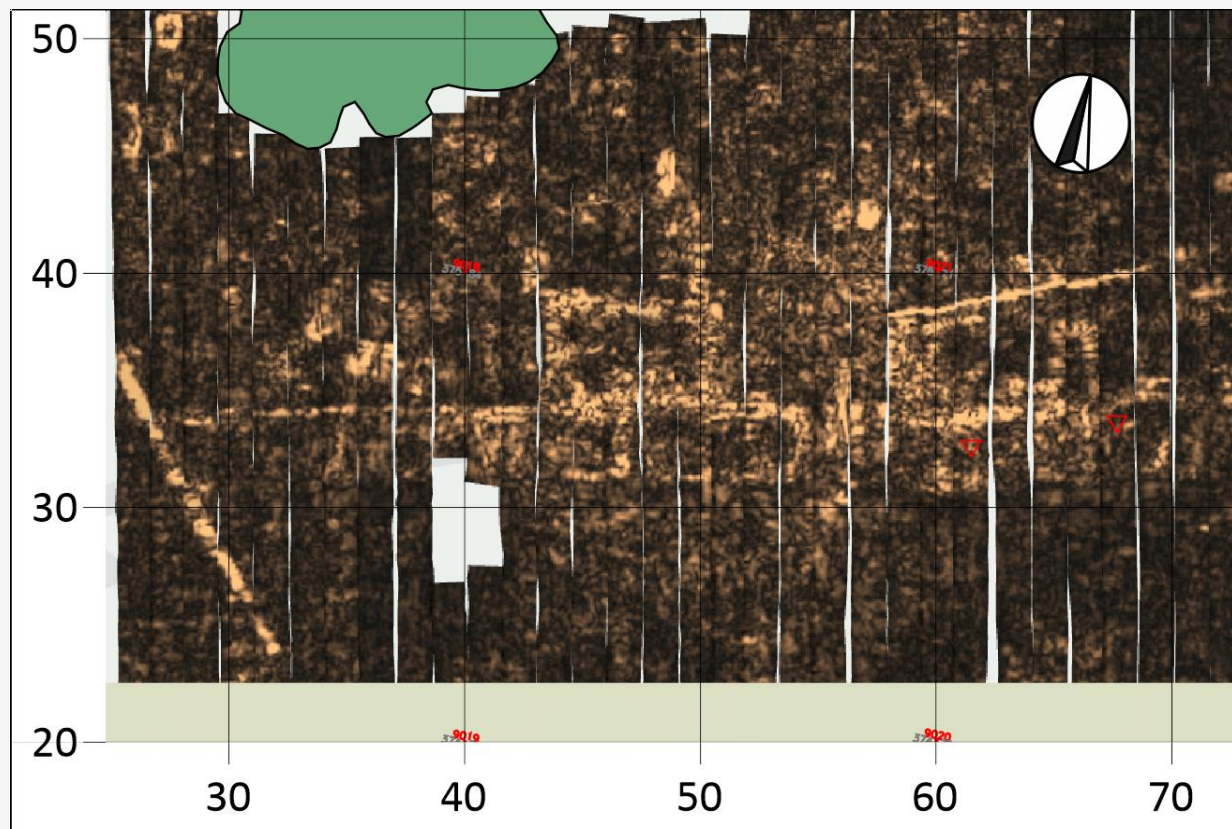
- V rámci 3. etapy (zelené plochy) proběhlo plošné detailní měření 3D GPR systémem **Kontur**
- 20-kanálový systém s proměnlivou vysílací frekvencí 200 MHz – 3 GHz
- Šířka anténního pole 1,5 m
- Měření v síti bodů 7x6 cm.
- Pozice kontrolována pomocí RTS – vysoká přesnost pozice antény (1-4x/s)
- Vyznačená plocha proměřena za 2 pracovní směny (celkem 12 GB dat)



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 3D georadaru

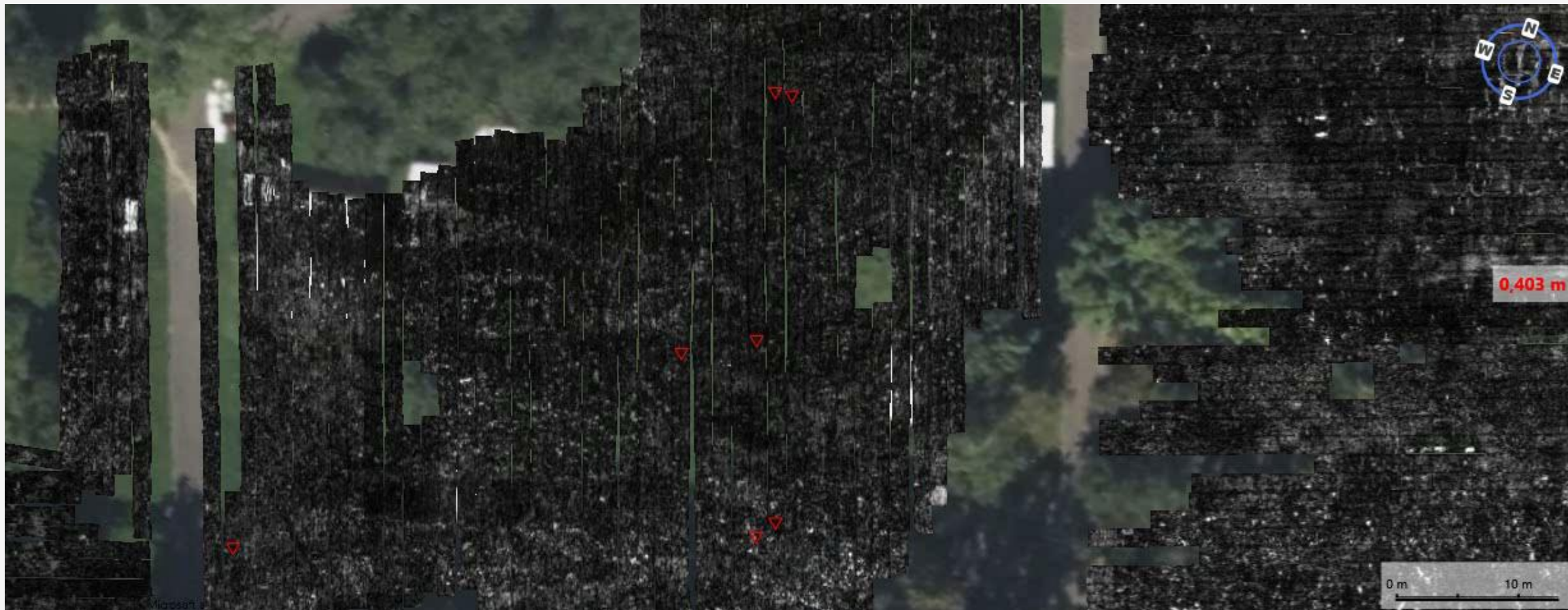
Park Mrtvolky (r. 2023)

- V rámci 3. etapy (zelené plochy) proběhlo plošné detailní měření 3D GPR systémem **Kontur**
- 20-kanálový systém s proměnlivou vysílací frekvencí 200 MHz – 3 GHz
- Šířka anténního pole 1,5 m
- Měření v síti bodů 7x6 cm.
- Pozice kontrolována pomocí RTS – vysoká přesnost pozice antény (1-4x/s)
- Vyznačená plocha proměřena za 2 pracovní směny (celkem 12 GB dat)
- Zpracování v programu Examiner – plošné skeny pro jednotlivé hloubky - videa + přes zvolené anomálie řezy



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 3D georadaru

Park Mrtvolky (r. 2023)



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 3D georadaru

Park Mrtvolky (r. 2023)

- Průzkumem bylo detekováno celkem **47** anomálií charakteru otevřených nebo částečně zasypaných hrobek



Ukázka výsledků indikace rozvolnění/dutiny pomocí 3D georadaru

Park Mrtvolky (r. 2023)

- Průzkumem bylo detekováno celkem **47** anomálií charakteru volných nebo částečně zasypaných hrobek
- Na základě výsledků bylo objednatelem 5 vybraných anomálií ověřeno sondou
- Ve 4 byla zjištěna volná prostora, v 1 byla rakev s kovovým víkem (rovněž vysoká reflexivita).
- Nyní Město řeší otázku jak s nabytými informacemi dále naložit.



3D georadarová měření

Shrnutí:

- 3D GPR měření dávají detailní obraz o prostorovém rozložení anomálií.
- Použití 3D mnohakálových systémů umožňuje skenovat i velké plochy.
- Možnost připojení systému k autu, 4-kolce (denní produkce desítky km silnic, ha ploch)
- Nevyžaduje měření v síti 2 na sebe kolmých směrů profilů.
- V závislosti na šíři anténního pole je rozestup profilů 1-2,5 m.
- Při použití RTS je dosažena vysoká přesnost určení pozice anomálií.
- Nevýhodou je vysoká vstupní investice – nutností je velký objem zkoumaných ploch



3D georadarová měření

Příklady použití 3D systémů :

- Plošná měření pro diagnostiku konstrukcí vozovek, letištních ploch, mostovek
- Archeologické účely - výstavba liniových staveb, rekonstrukce historických jader, průzkumy zámeckých zahrad a parků
- Mapování inženýrských sítí a vyhledávání poruch v jejich okolí. Při vyhledávání sítí je limitující omezený hloubkový dosah testovaných systémů pro hlouběji uložené sítě (např. pro detekci vodovodních řadů a kanalizačních stok)



BUDOUCNOST PATŘÍ 3D GEORADARU!

Děkuji za pozornost