

Príkladové štúdie použitia metód archeo-geofyzikálneho výskumu

GEORADAR, GPR (*Ground Penetrating Radar*)

Základné informácie

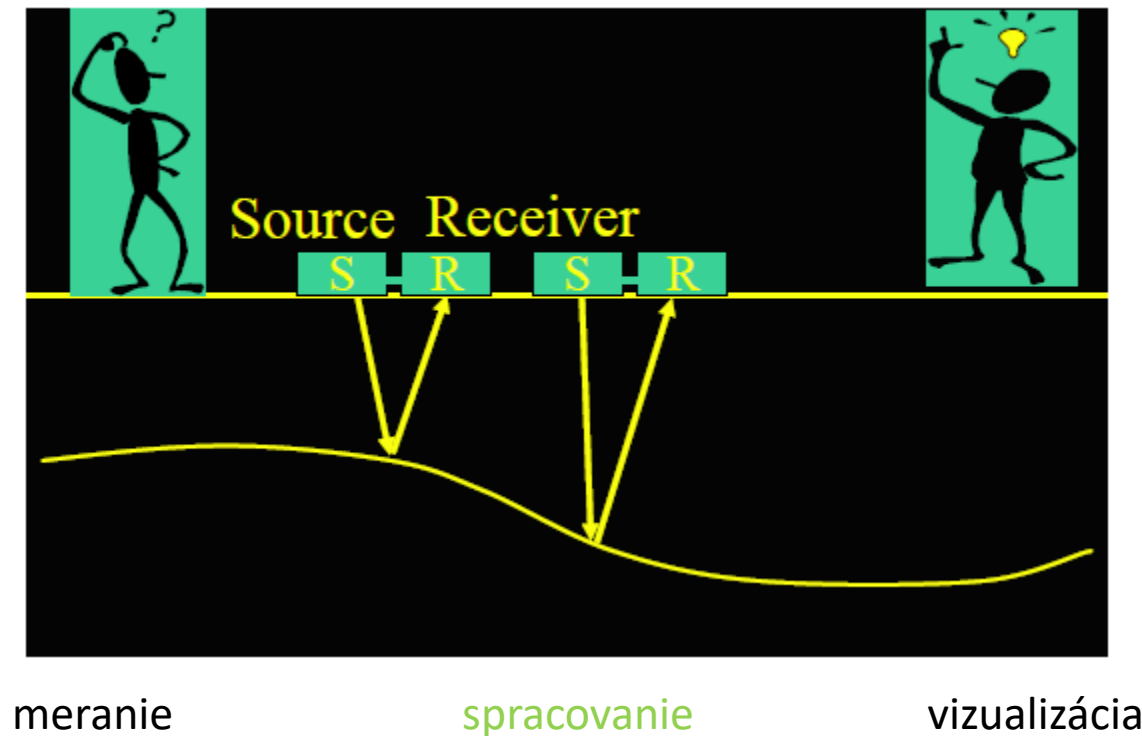
- terminológia - dôležité pojmy
- základy spracovania GPR údajov
- vertikálne a horizontálne GPR rezy

Popis potrebného prístrojového vybavenia

- zber údajov v teréne
- demonštračné video merania s GPR

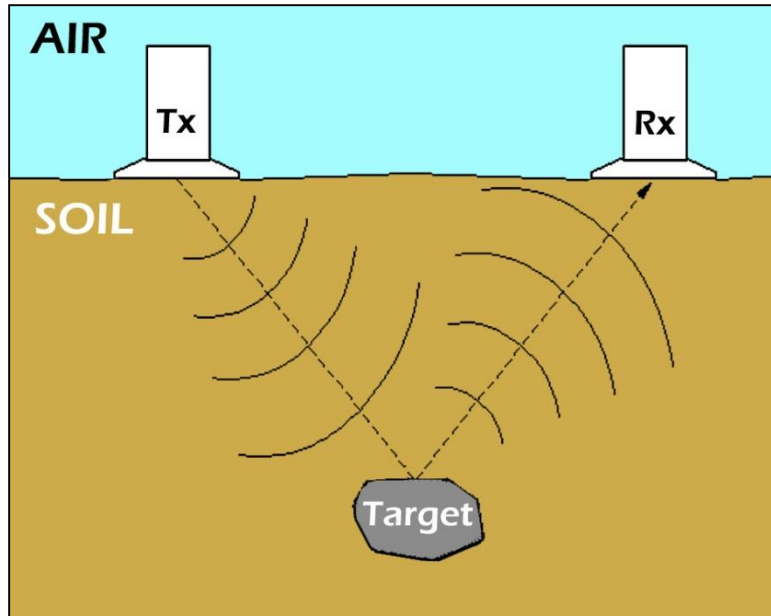
príklady získaných výsledkov z meraní GPR

nastroj na získanie obrazu – informácii pod povrchom



mapovanie a detekcia objektov

GEORADAR, GPR (*Ground-penetrating radar*)



Georadar využíva vysokofrekvenčné elektro-magnetické vlny (rádiové impulzy) v rozsahu 10 - 2000 MHz pre získanie informácií o vlastnostiach a polohe štruktúr a objektov uložených pod povrchom zeme

EM vlnenie je generované vysielacou anténou (vysielač Tx) a prijímané prijímacou anténou GPR (prijímač Rx)

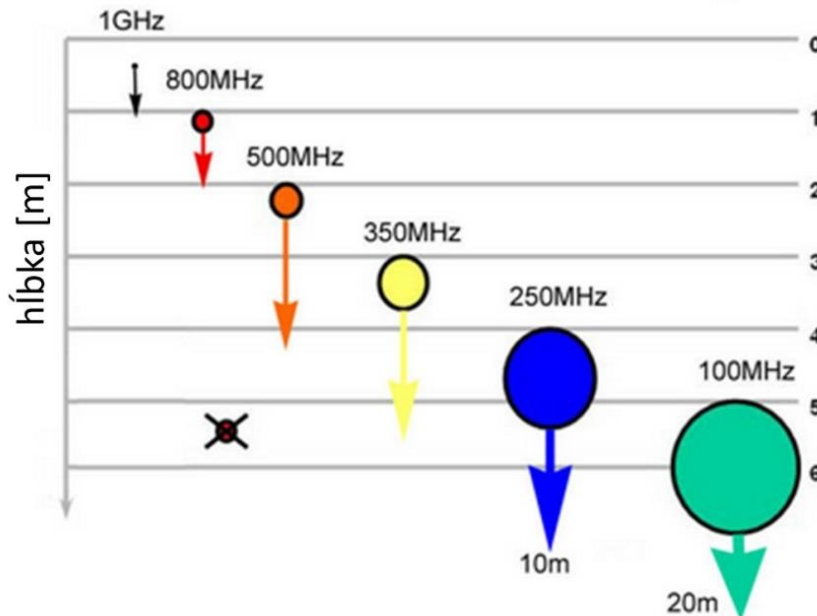
Šírenie GPR impulzu (*elektro-magnetickej vlny*) v horninovom prostredí (pôde) závisí hlavne na jeho elektrických vlastnostiach, ktoré sú definované:

- *dielektrickou permitivitou ϵ*
- *magnetickou permeabilitou μ*
- *elektrickou vodivosťou σ*

Typické hodnoty rýchlosti EM vln v pôdach sú **0,1 m/ns = 10 cm/ns** (vo vzduchu 30 cm/ns, v ľade 16 cm/ns).

GPR, frekvencia (vyššia hodnota => menšia hĺbka prieniku, ale detailnejší záznam)

- georadary využívajú zvyčajne frekvencie elektromagnetických/rádiových (EM) vln **v intervale od 10 MHz do 2.6 GHz**,
- od použitej frekvencie závisí:
 - a) **hĺbka prieniku** (čím vyššia frekvencia, tým plytší prienik),
 - b) **rozlíšiteľnosť** (čím vyššia frekvencia, tým detailnejší záznam),
- napr. 2 GHz cca 50-80 cm, 400 MHz cca 2-4 m, 100 MHz cca 10-20 m,
- hĺbkový prienik závisí veľmi od elektrických vlastností pôd a hornín v podloží.



GPR, frekvencia (vyššia hodnota => menšia hĺbka prieniku, ale detailnejší záznam)

1600 MHz



3,8x10x16,5cm dosah 0.5 m

400 MHz



30x30x17cm dosah 4 m

100 MHz



50x100x20cm dosah 10 m

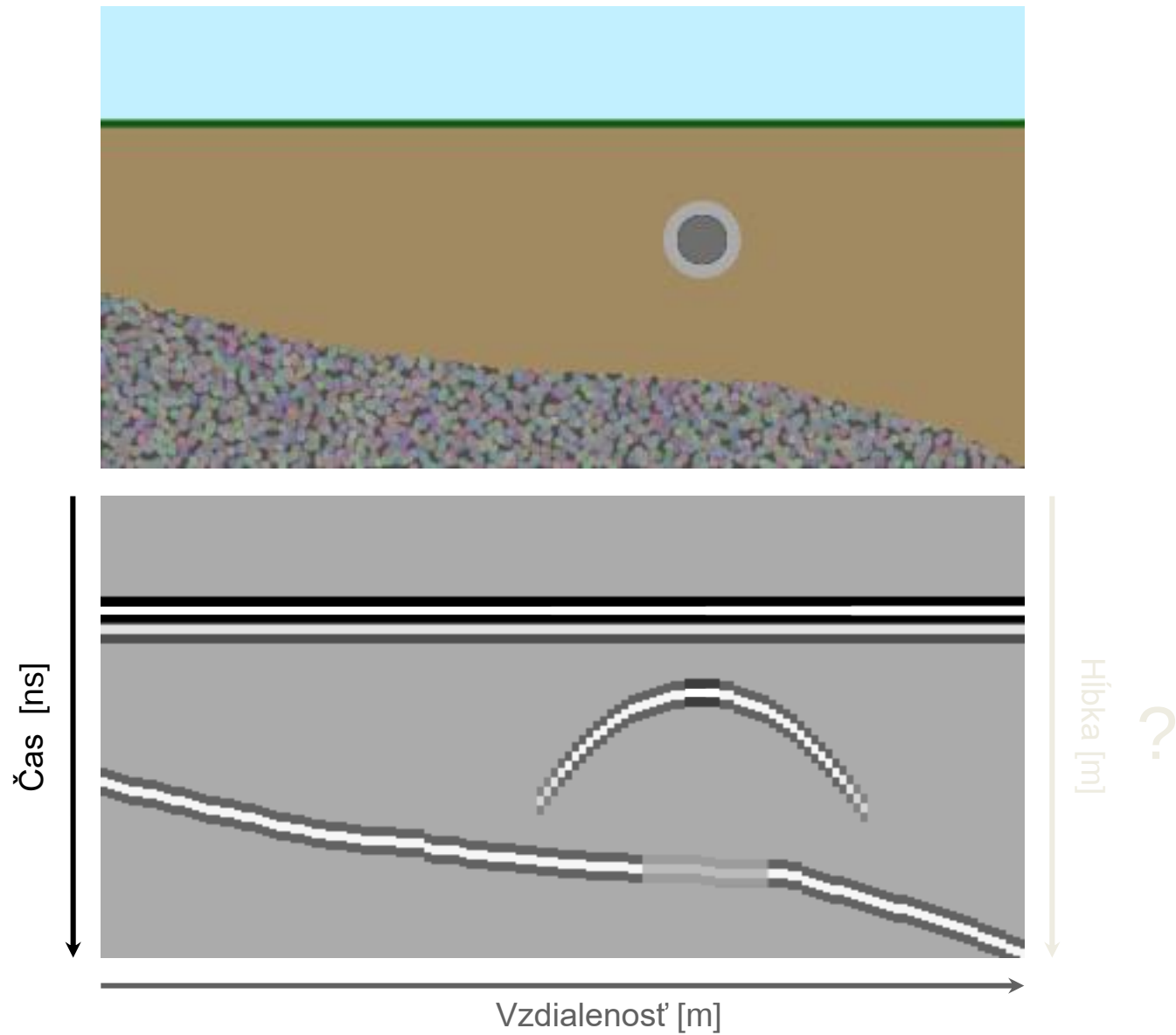
400MHz, 16 kanálový systém Mira (MALA)

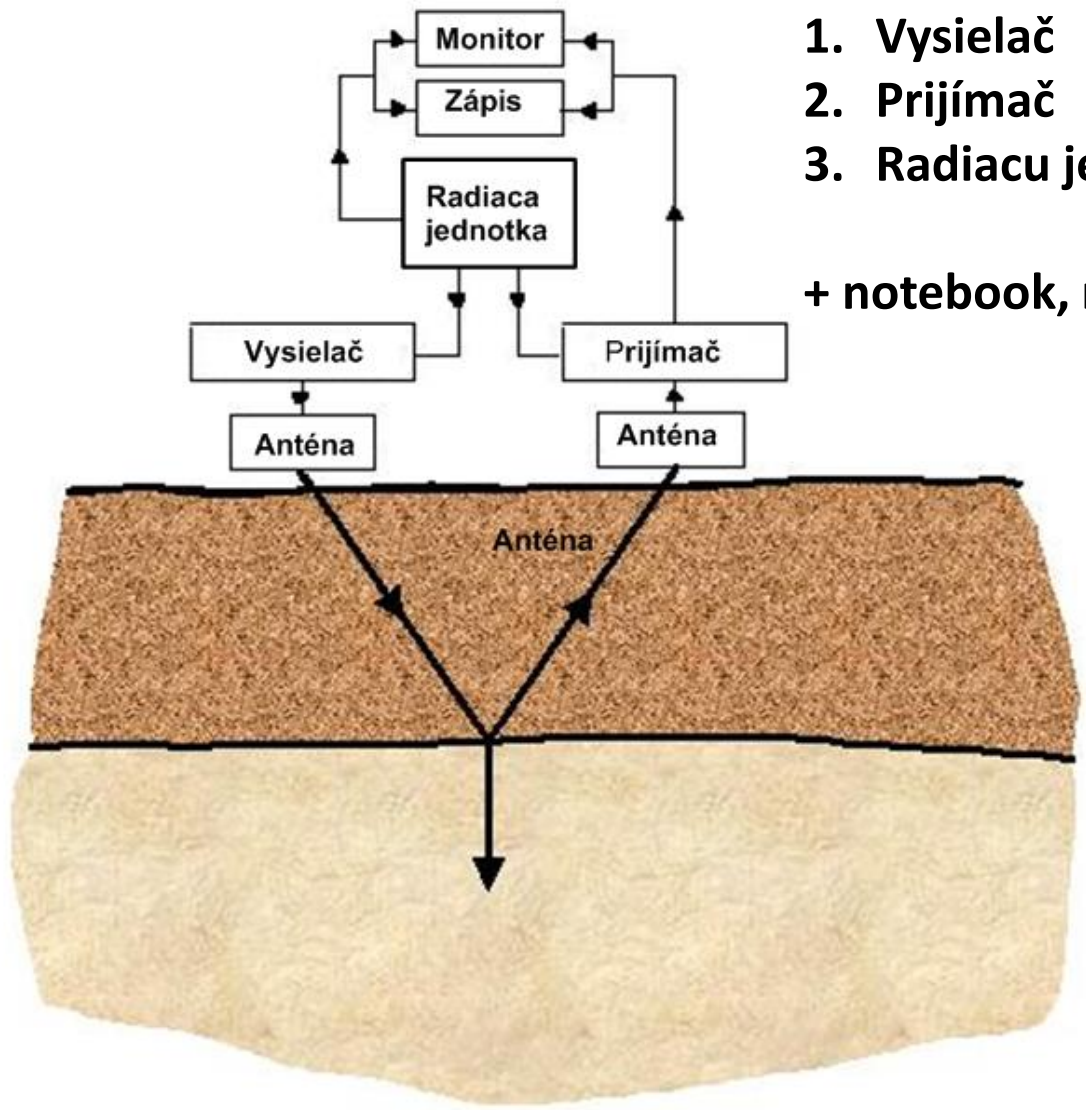


hustota merania 8x8cm

plocha 100x100m pomeraná za necelú hodinu

GEORADAR, GPR (*Ground-penetrating radar*)



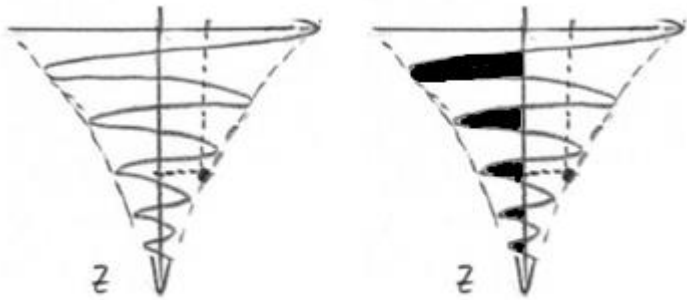


Typický GPR systém obsahuje tri komponenty:

- 1. Vysielač
- 2. Prijímač
- 3. Radiacu jednotku

+ notebook, monitor, dataloger

typický tvar GPR záznamu
(jedna stopa = trace):



**Typický GPR systém obsahuje tri komponenty:
vysielač, prijímač, radiacu jednotku**



**Typický GPR systém obsahuje tri komponenty:
vysielač, prijímač, radiacu jednotku**

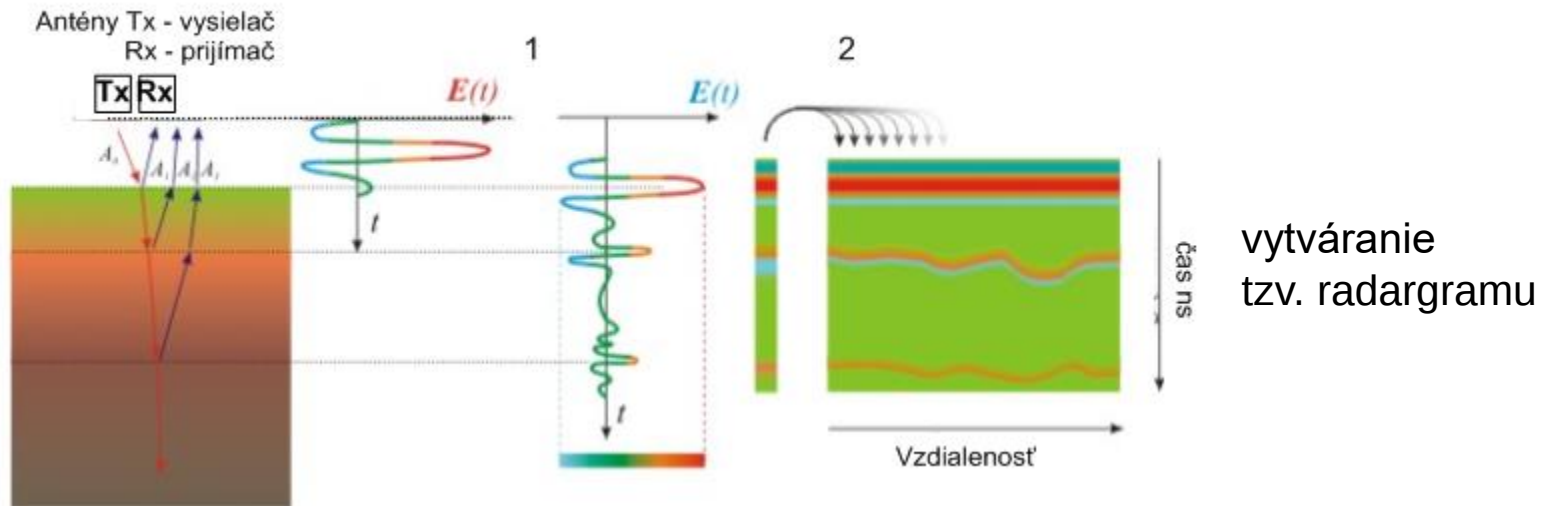
ďalší príklad:



GPR, príklad merania v teréne

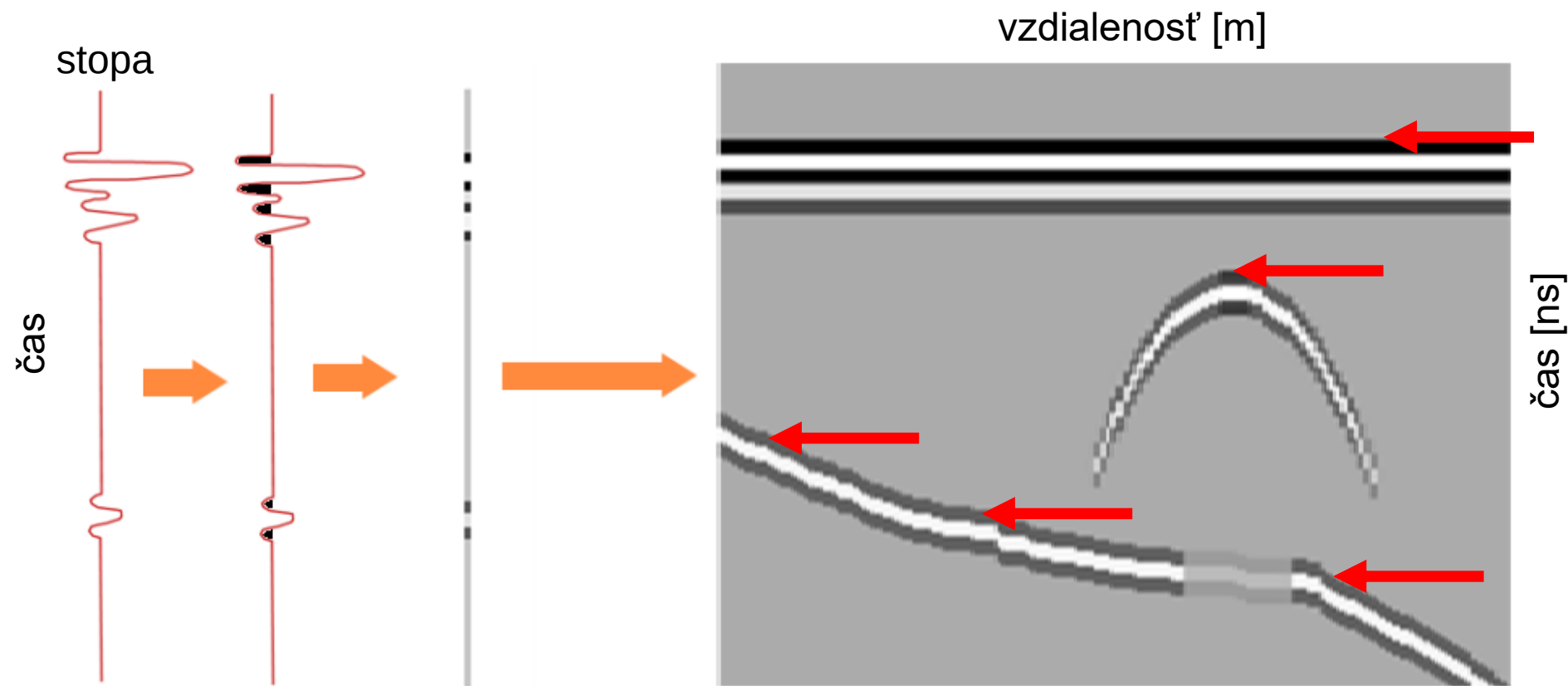


GPR, radarový záznam = radargram



1. po vyslaní a prijíme jedného impulzu sa po digitalizácii vytvorí jeden záznam tzv. stopa (táto v sebe obsahuje tzv. priamu vlnu a potom odrazené vlny)
2. pri pohybe antén po povrchu sa postupne spúšťajú ďalšie merania a spracované stopy sa radia na displeji jedna vedľa druhej vzniká tak súvislý záznam merania tzv. radarový záznam (radargram), ktorý predstavuje 2D rez odrazených vln od podpovrchových objektov a vrstiev.
ku záznamu je priradená:
horizontálna os = vzdialenosť
vertikálna os = čas (dvojnásobný) alebo hĺbka (po prepočte)

GPR, radarový záznam = radargram

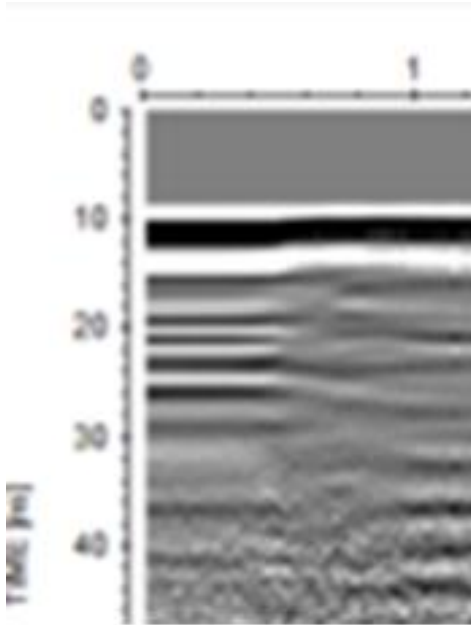


Pri zobrazení jednotlivých stôp s amplitúdami vln sa vyfarbia (často čiernou farbou) iba miesta s extrémnymi hodnotami. Potom sa zobrazia za sebou – ako boli nasnímané. Takýmto spôsobom vzniká radargram.

Pozor! – Uvedený čas je tzv. dvojnásobný čas (TWT – two way time).
 $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ [s]}$

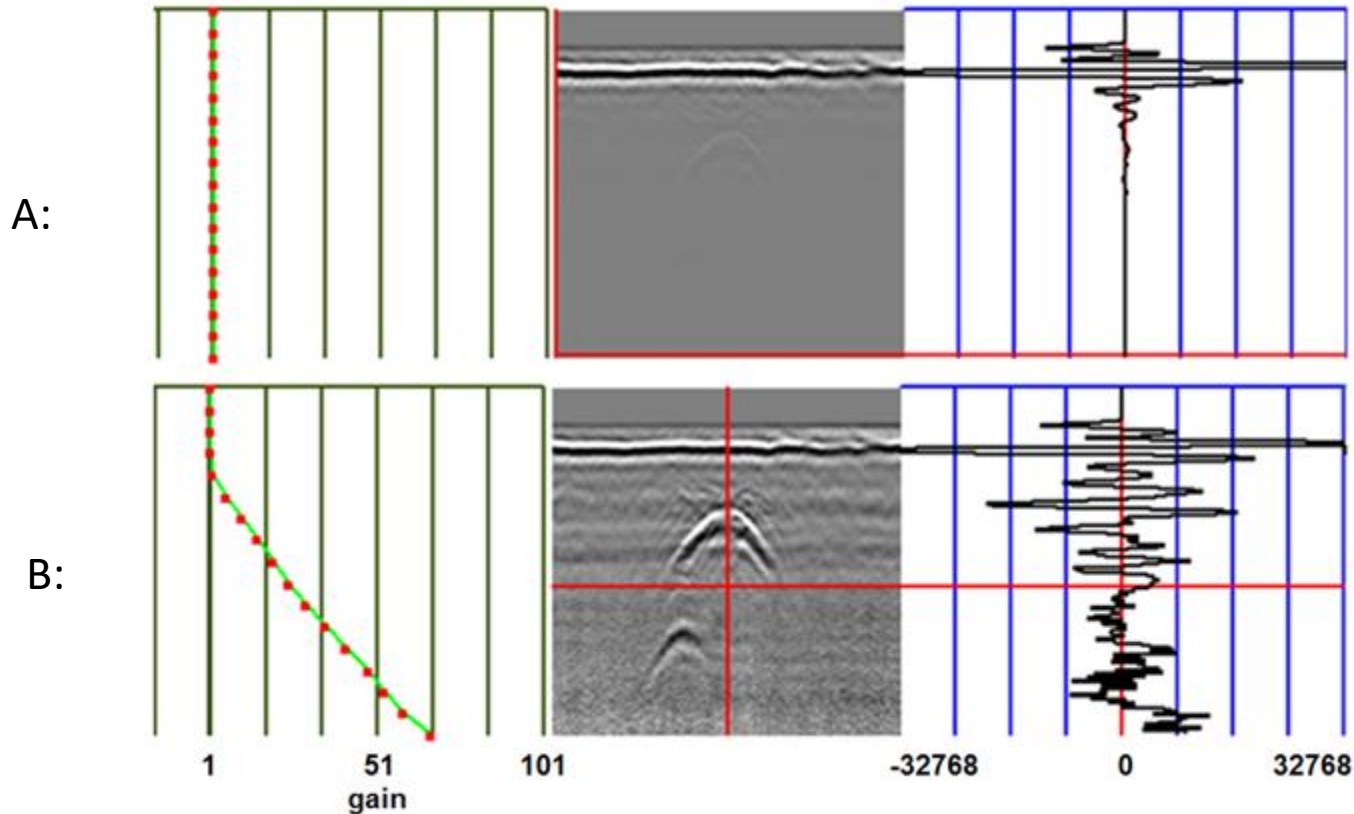
vytváranie tzv. radargramu

- dominantný odraz od zemského povrchu



začiatok záznamu je “hluchý”,
neobsahuje žiadne prichádzajúce
vlny – je potrebné túto časť záznamu
odstrániť v procese spracovania
(tzv. zero-time removal),

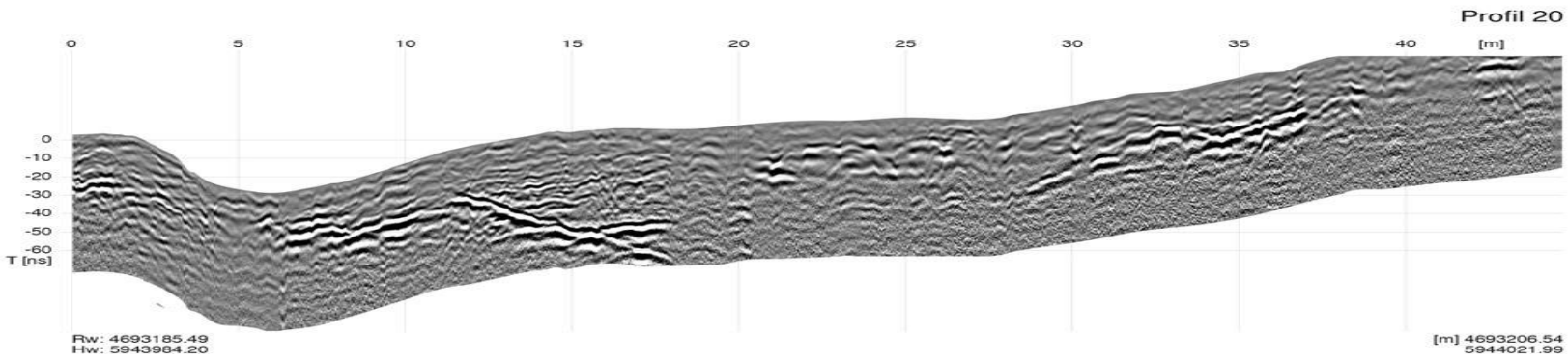
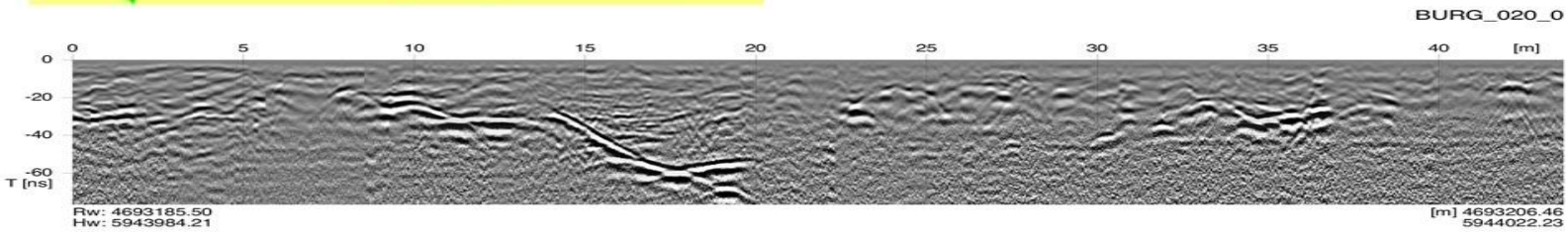
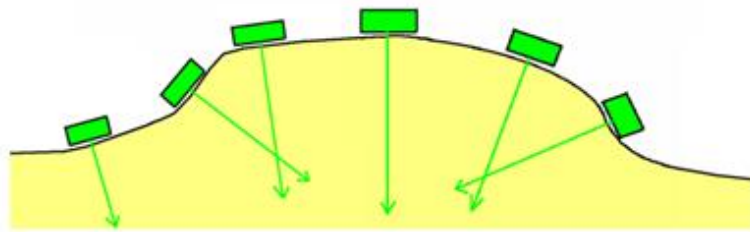
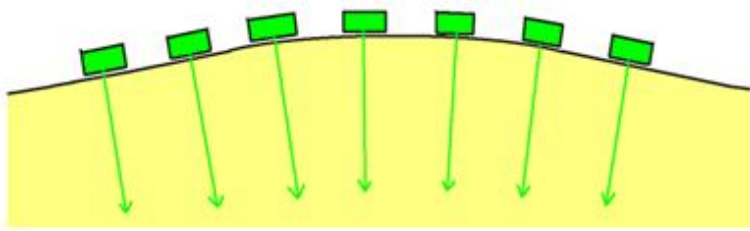
Na tomto prvom odraze sa často minie
veľký podiel energie EM vln (najmä keď
je zemský povrch mokrá alebo inak vodivý).



A: radargram zobrazený bez zosilnenia (gainu)

B: radargram po zosilnení signálu

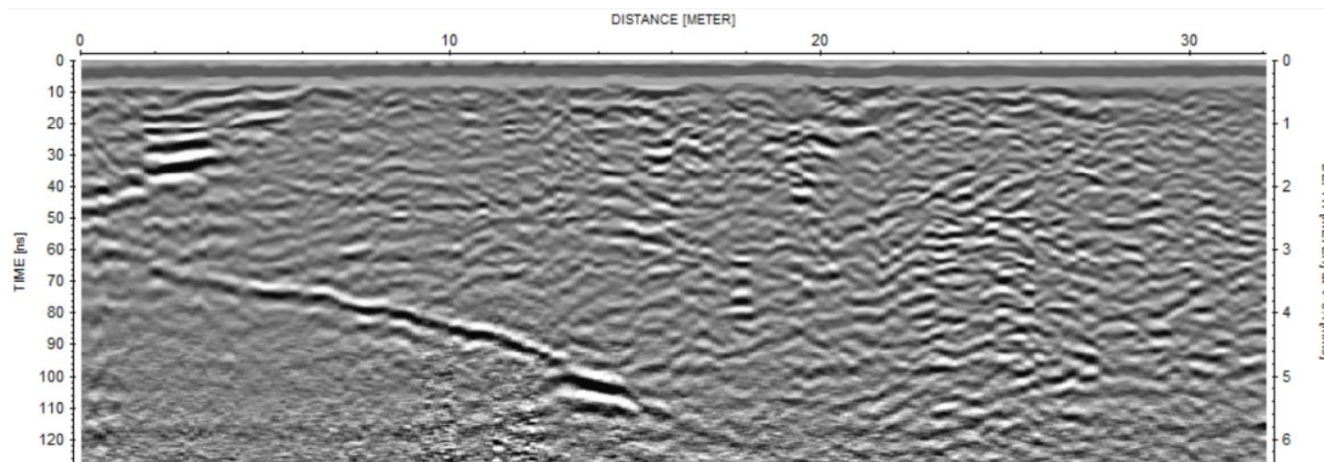
GPR, oprava o topografii



GPR, oprava o topografiu

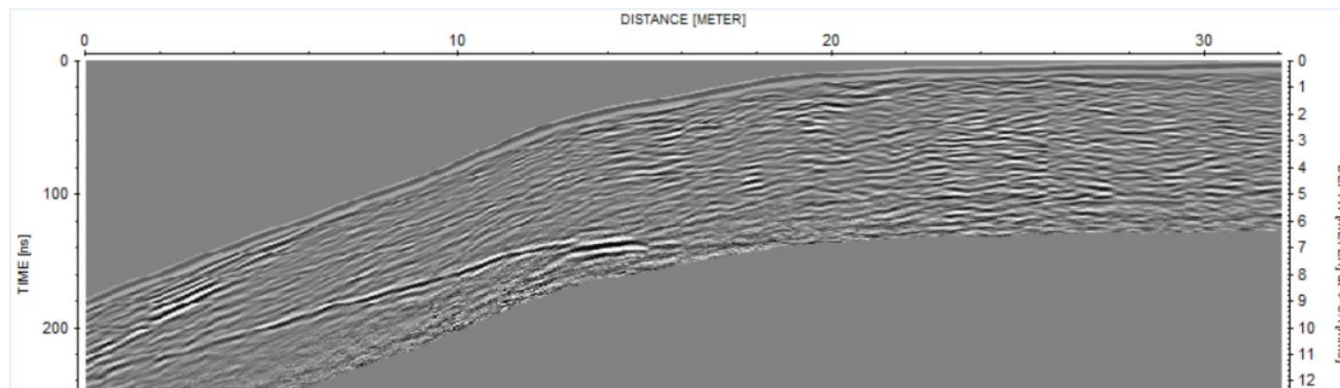


pôvodný radargram



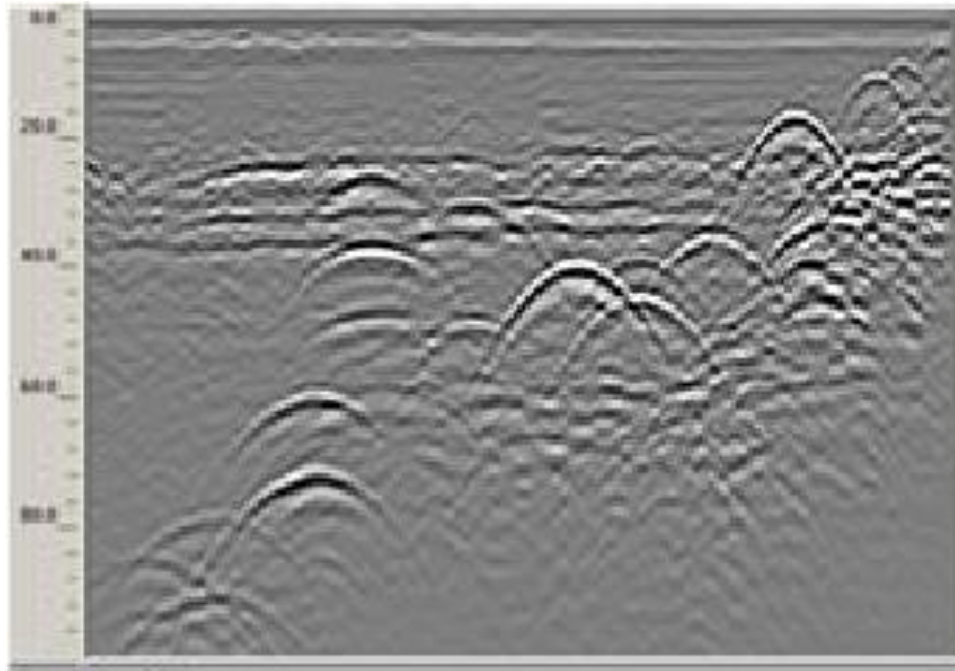
neolitická mohyla
Newgrange (Írsko)

so zavedením opráv o topografiu



Dôležité!

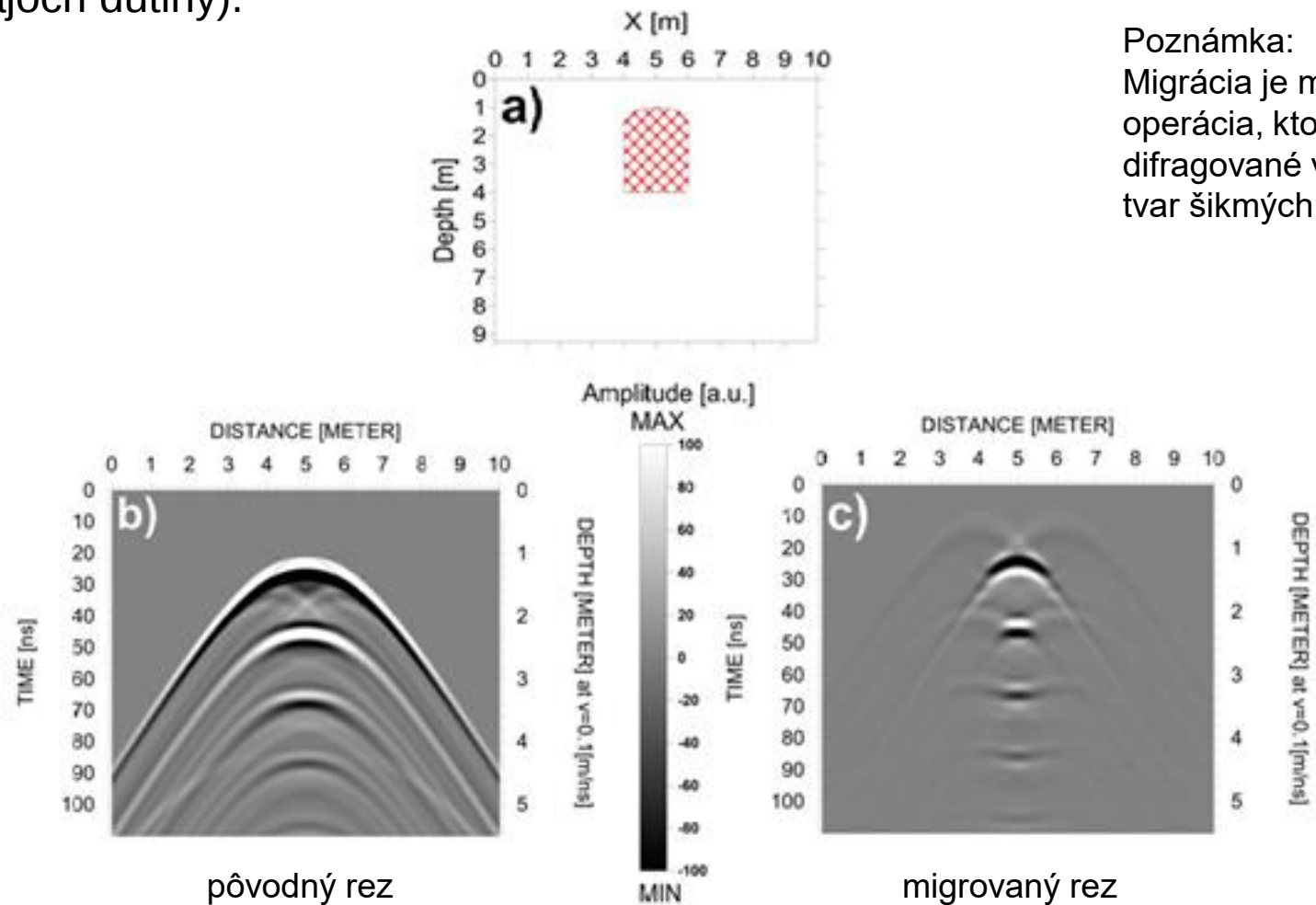
Registrovaná odrazená vlna oblúkového tvaru (hyperbolického) sa nazýva ako **tzv. difragovaná vlna** a vzniká prítomnosťou izolovaného odrážajúceho objektu v reze – neznamená, že daný objekt má takýto tvar!



príklad – rez s relatívne veľkým množstvom drobných registrovaných objektov (prejavených cez prítomnosť difragovaných vln)

GPR, radargramy

V prípade dutín sa v radargrame prejavuje tvar ich stropu! (difragované vlny vznikajú na okrajoch dutiny).

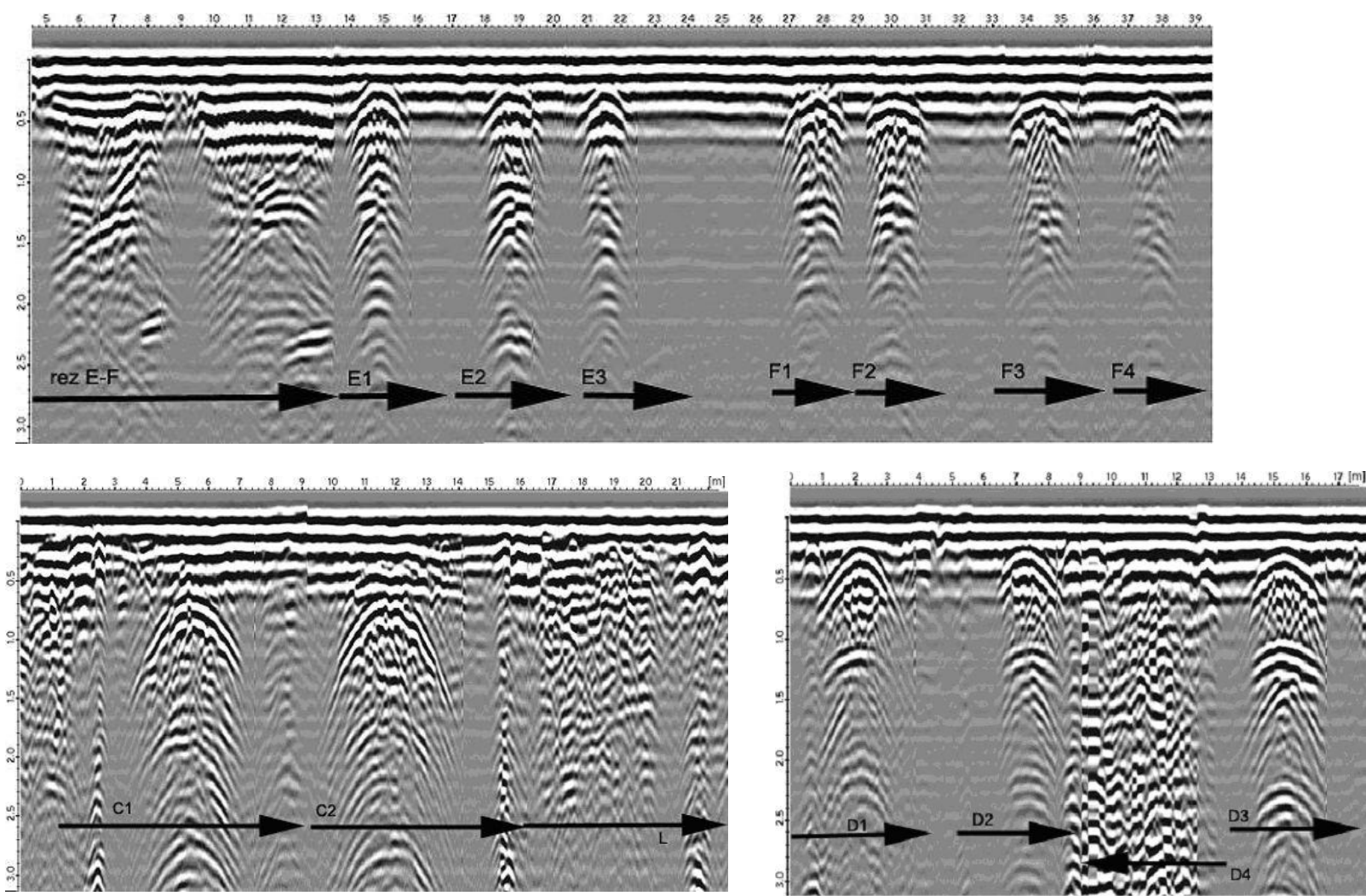


Poznámka:
Migrácia je matematická operácia, ktorá odstraňuje difragované vlny a napráva tvar šikmých rozhraní.

príklad – syntetický rez (vytvorený pomocou špeciálneho programu)

(v uvedených radargramoch sa prejavujú násobné vlny – vznikajúce odrazom v rámci samotnej dutiny)
(tvar spodnej hrany dutiny je silne ovplyvnený tvarom hornej hrany dutiny, migrácia však pomáha aj v tejto veci)

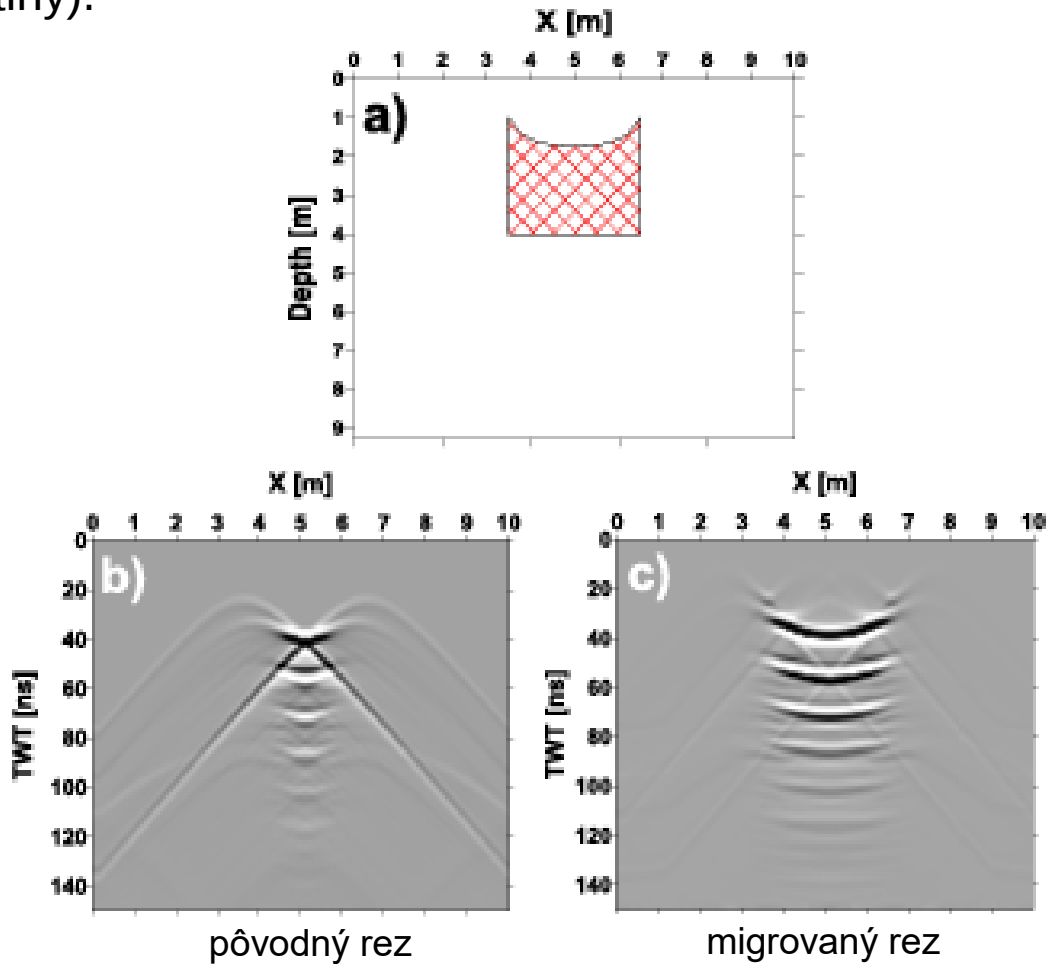
GPR, radargramy



príklad – prieskum krýpt v dóme sv. Mikuláša v Trnave

(v uvedených radargramoch sa prejavujú násobné vlny – vznikajúce odrazom v rámci samotnej dutiny)
(tvar spodnej hrany dutiny je silne ovplyvnený tvarom hornej hrany dutiny, migrácia však pomáha aj v tejto veci)

V prípade dutín sa v radargrame prejavuje tvar ich stropu! (difragované vlny vznikajú na okrajoch dutiny).



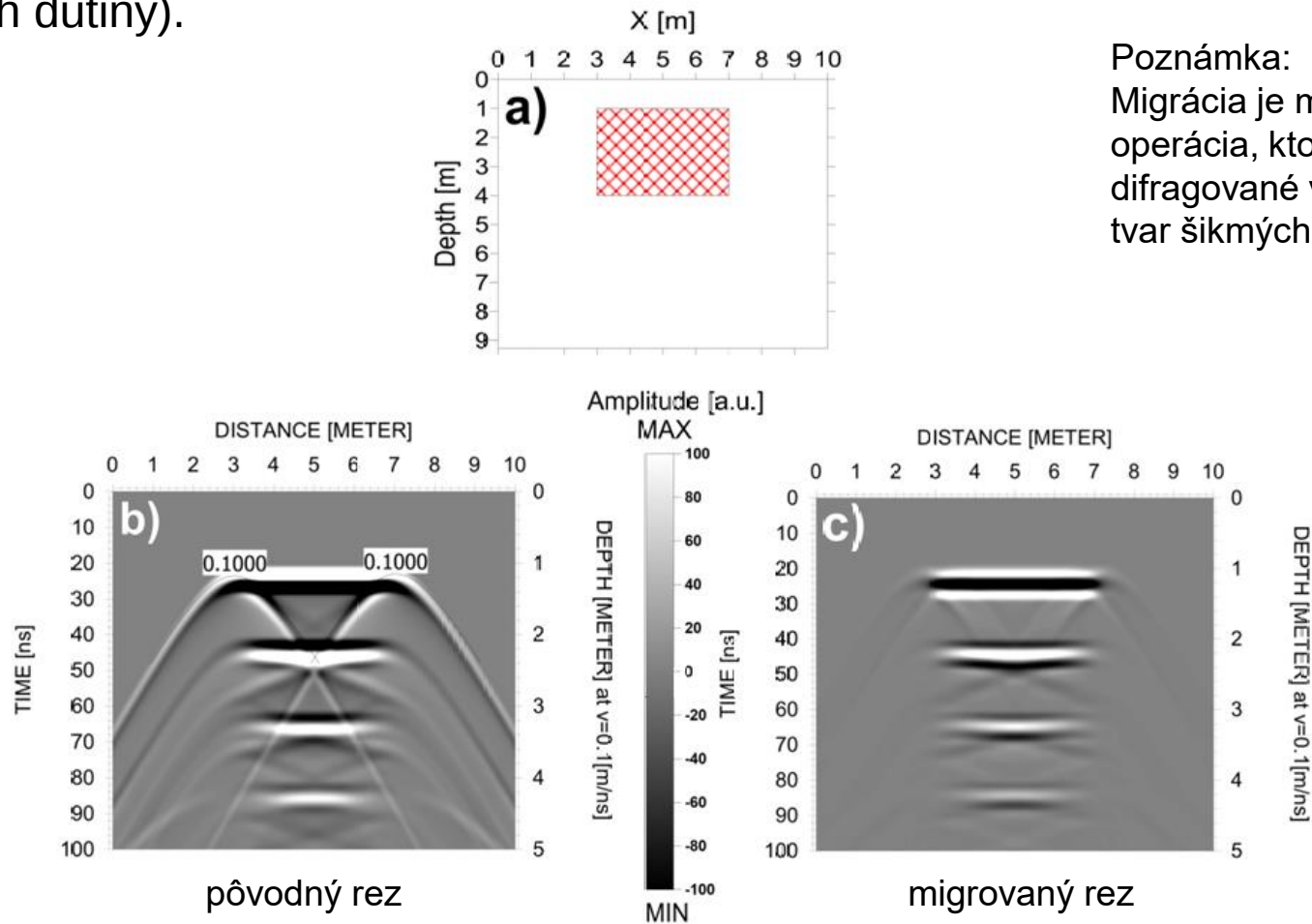
Poznámka:
Migrácia je matematická operácia, ktorá odstraňuje difragované vlny a napráva tvar šikmých rozhraní.

príklad – syntetický rez (vytvorený pomocou špeciálneho programu)

(v uvedených radargramoch sa prejavujú násobné vlny – vznikajúce odrazom v rámci samotnej dutiny)
(tvar spodnej hrany dutiny je silne ovplyvnený tvarom hornej hrany dutiny, migrácia však pomáha aj v tejto veci)

GPR, radargramy

V prípade dutín sa v radargrame prejavuje tvar ich stropu! (difragované vlny vznikajú na okrajoch dutiny).

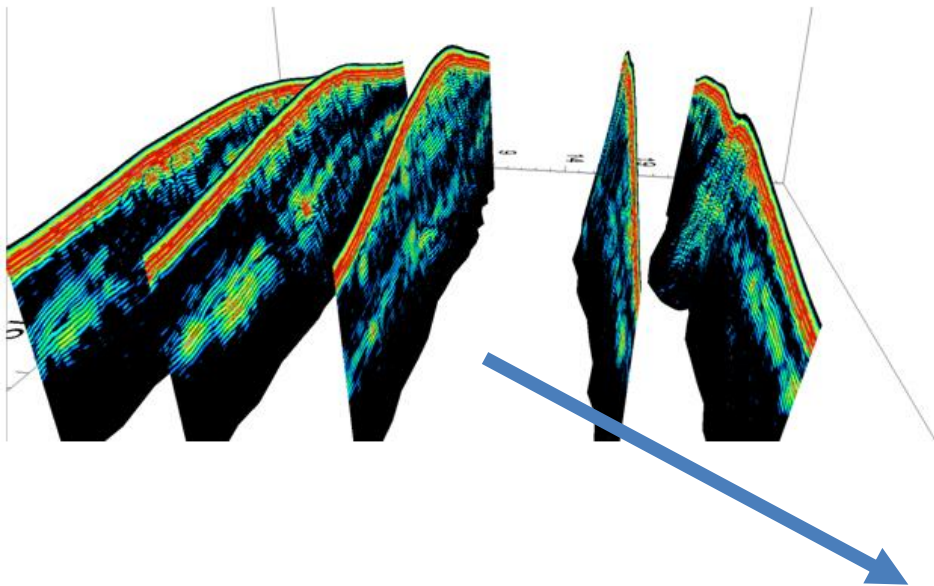


Poznámka:
Migrácia je matematická operácia, ktorá odstraňuje difragované vlny a napráva tvar šikmých rozhraní.

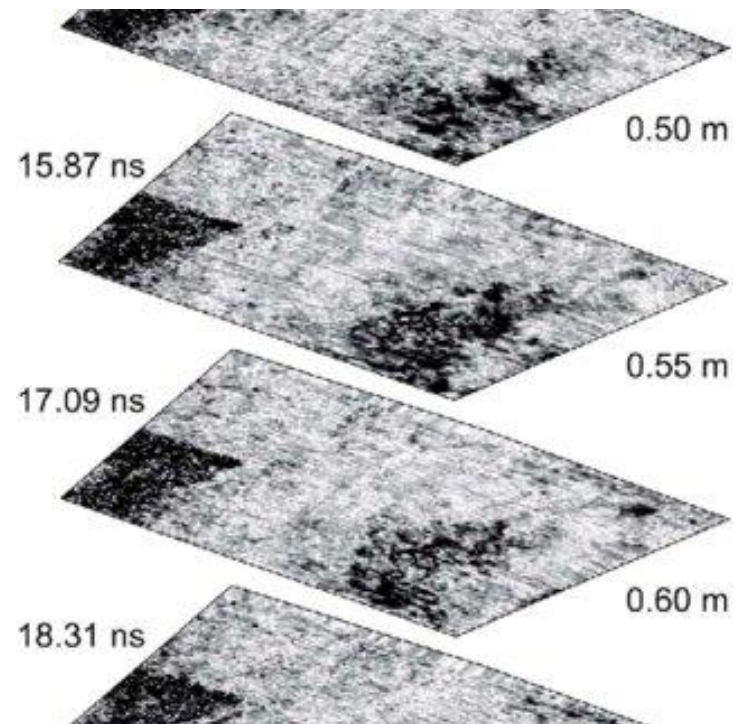
príklad – syntetický rez (vytvorený pomocou špeciálneho programu)

(v uvedených radargramoch sa prejavujú násobné vlny – vznikajúce odrazom v rámci samotnej dutiny)
(tvar spodnej hrany dutiny je silne ovplyvnený tvarom hornej hrany dutiny, migrácia však pomáha aj v tejto veci)

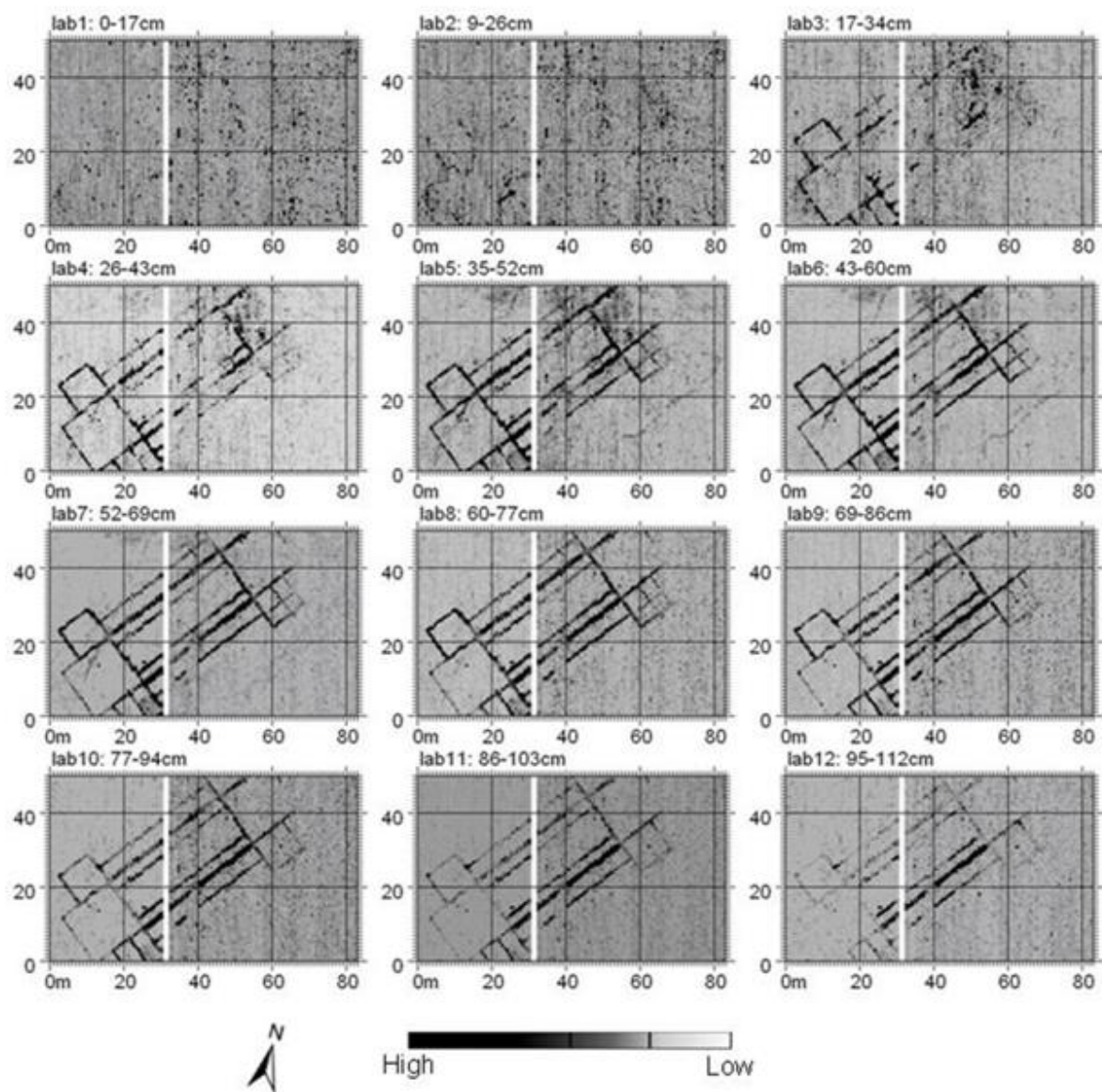
GPR, horizontálne zobrazenie (3D spracovanie)



zo série paralelných vertikálnych
radargramov sú interpolované
horizontálne rezy
(pre rôzne časy/hĺbky)

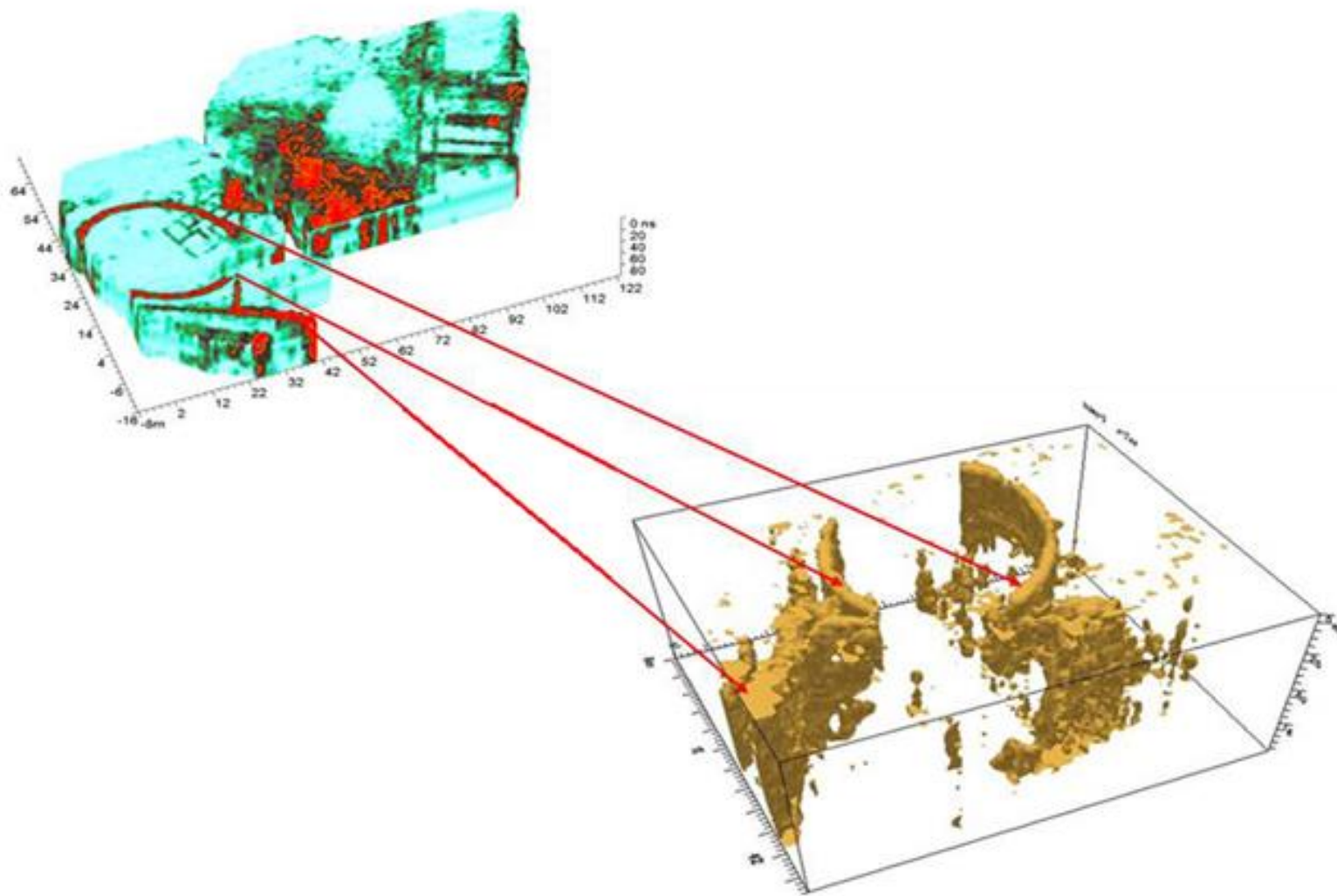


GPR, horizontálne zobrazenie (3D spracovanie)



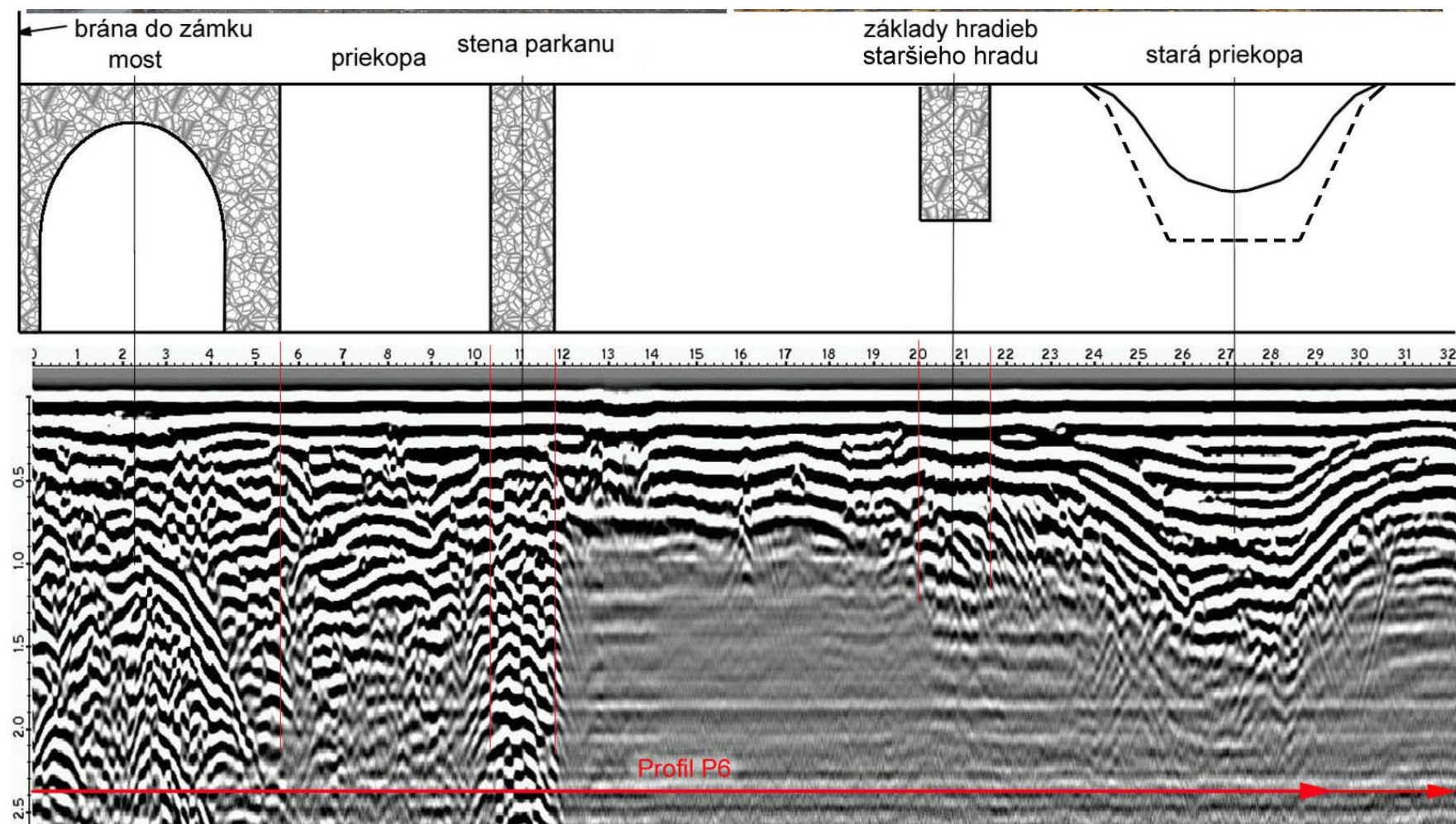
často zobrazované
aj formou videa

GPR, 3D zobrazenie



- 1. vyhľadávanie architektonických prvkov - múrov
(najmä zakrytých zvyškov múrov, celých objektov, ...)**
- 2. detekcia dutín
(krypty, hrobky, pohrebné komory, hroby, jaskyne, ...)**
- 3. identifikácia bývalých priekop, jám, atď.
(vyplnené objekty s hlinou a iným materiálom –
využíva sa tu kontrast s podložnými horninami)**

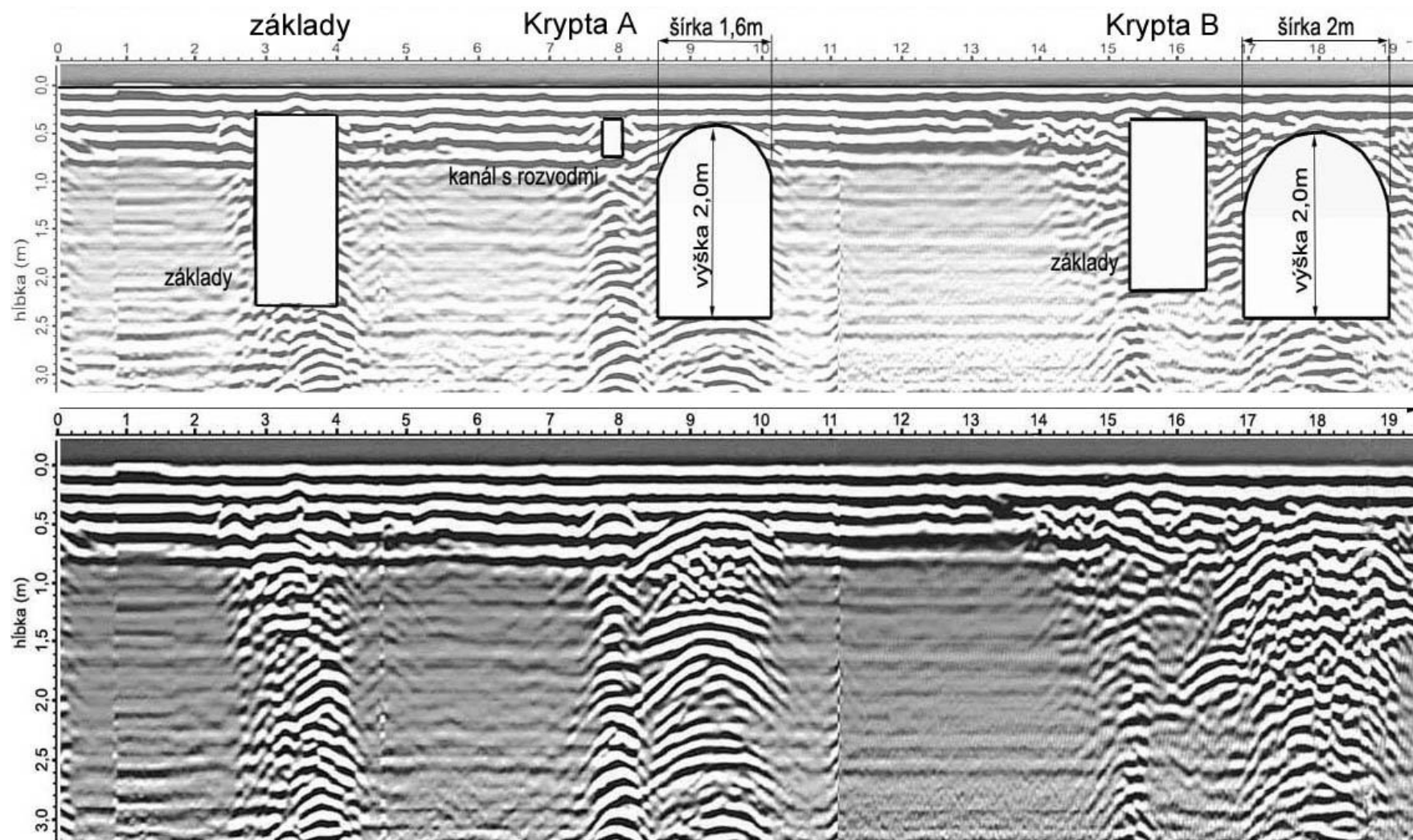
GPR, v archeológii



príklady – prejavy rôznych druhov architektúry na vertikálnych rezoch

použité podklady sú od slovenskej firmy TERRA s.r.o.

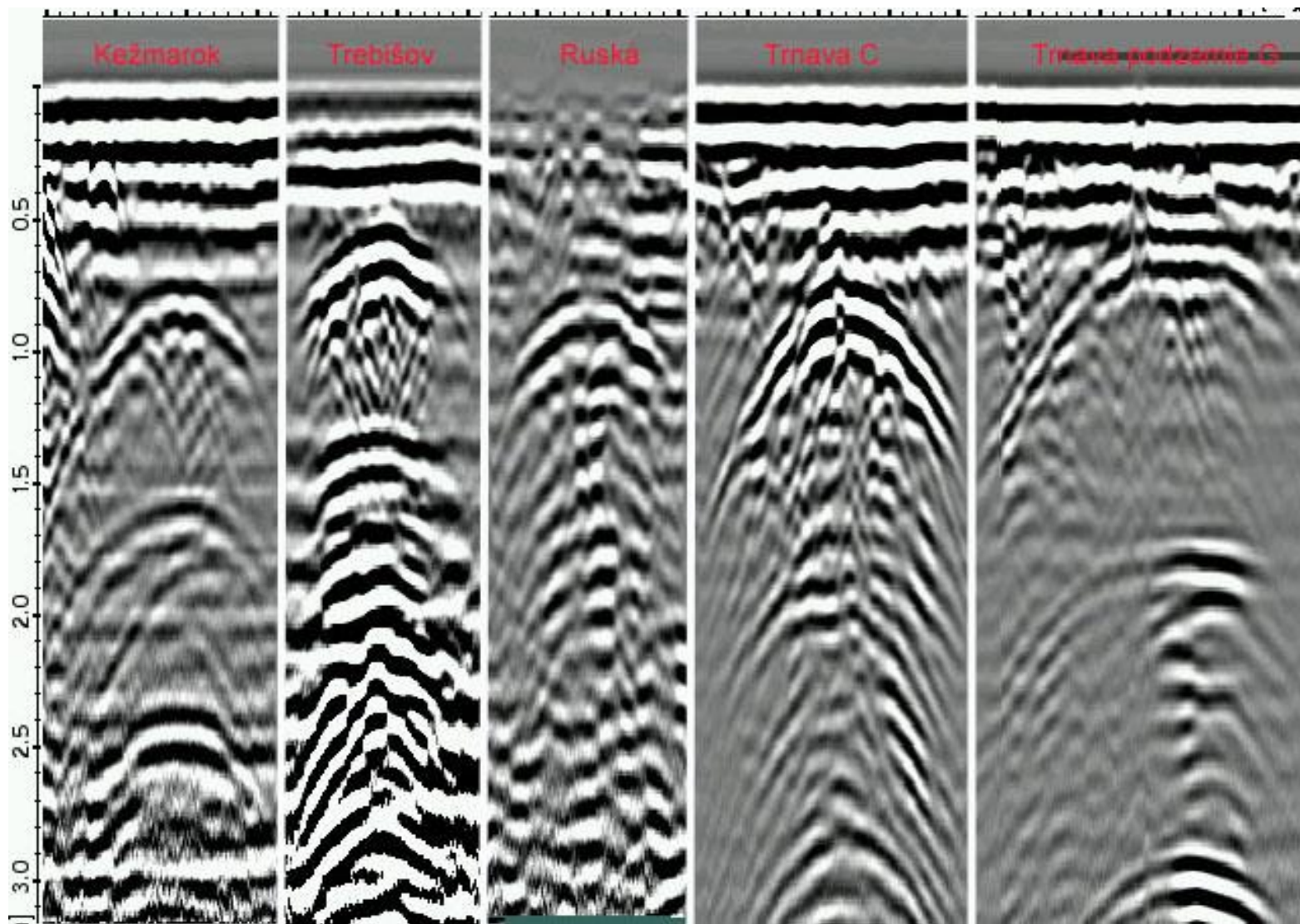
GPR, v archeológii



príklady – prejavy rôznych druhov dutín a architektúry na vertikálnych rezoch

použité podklady sú od slovenskej firmy TERRA s.r.o.

GPR, v archeológii (detekcia krýpt)



príklady – prejavy rôznych krýpt na vertikálnych rezoch

použité podklady sú od slovenskej firmy TERRA s.r.o.

**príklad – kostol sv.
Kataríny, Banská Štiavnica**
(Hamkehani and Pašteka, 2025,
Contrib. To Geophysics and Geodesy)

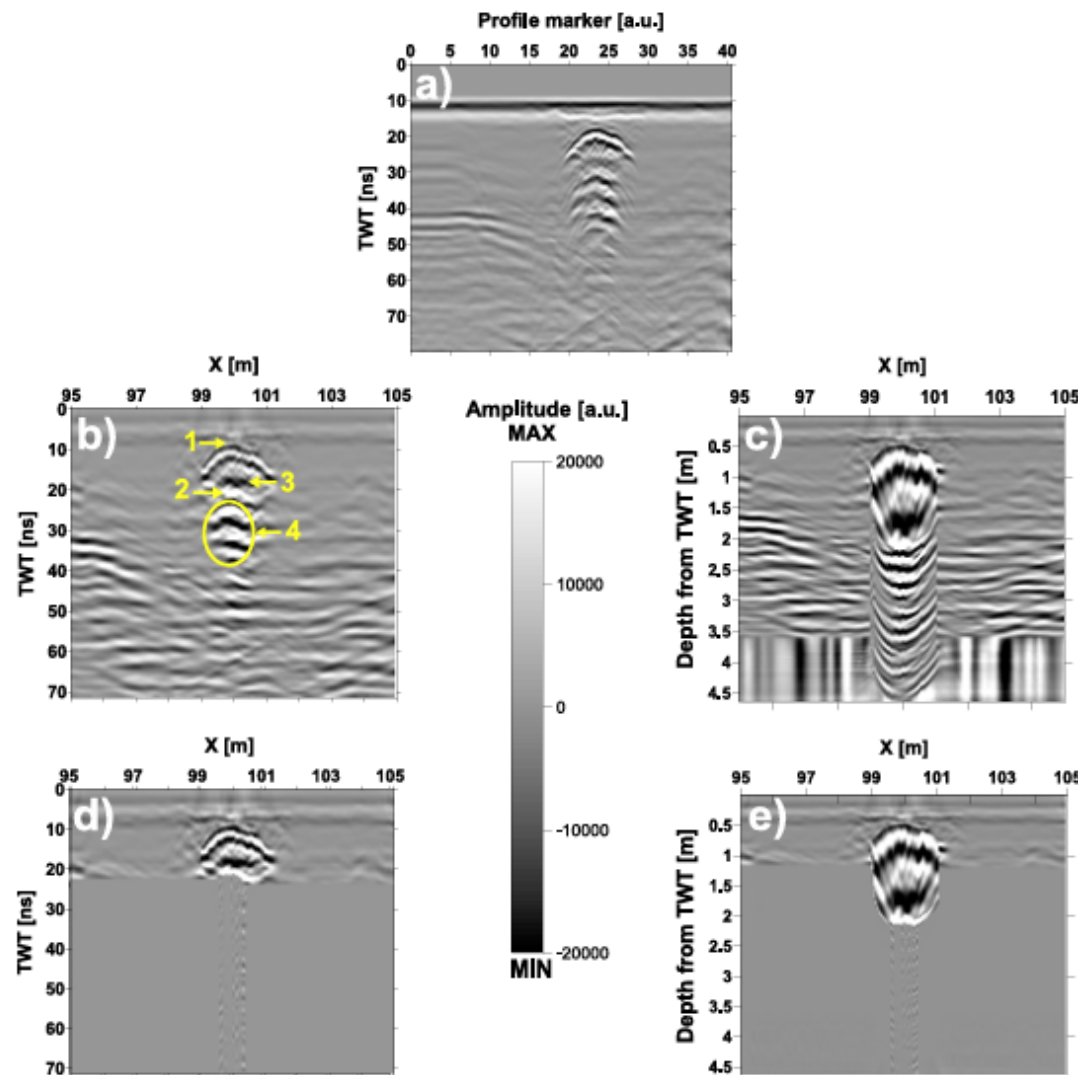
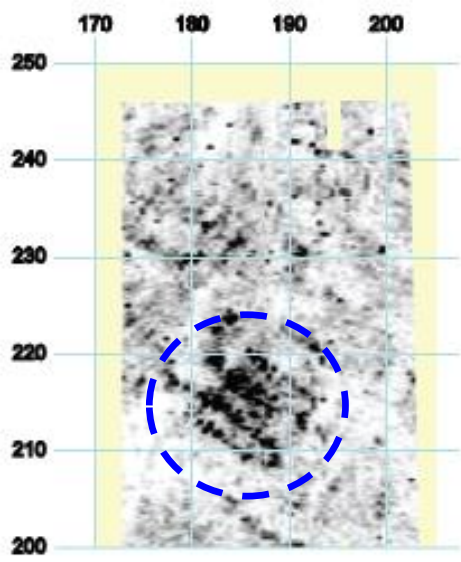
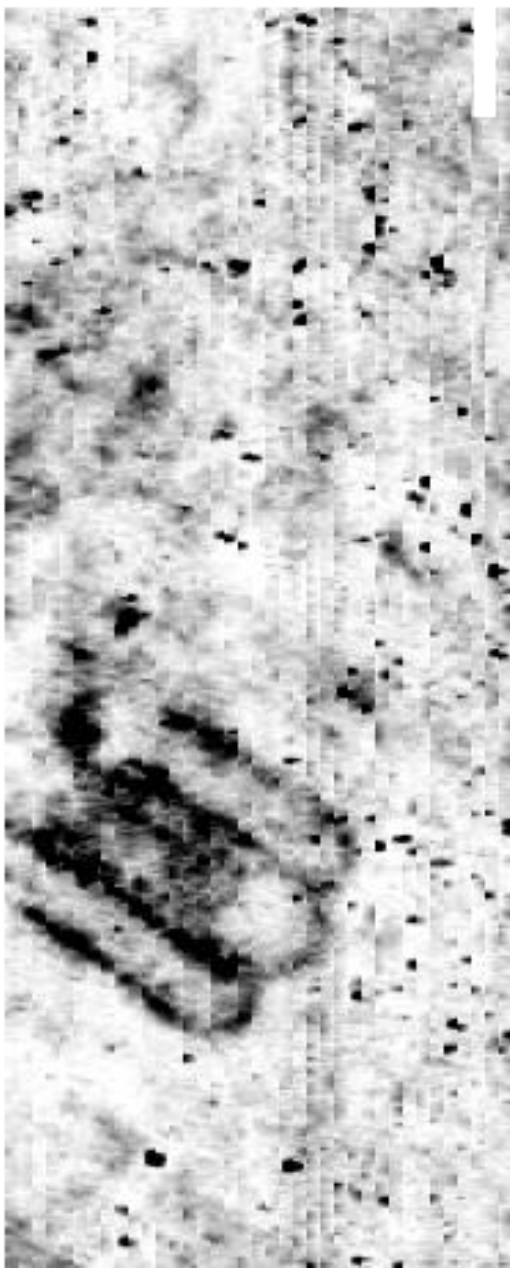


Fig. 12. Practical data example: selected GPR line (GSSI 400 MHz antenna) from the church of St. Catherine's in Banská Štiavnica. Panel a) shows the original acquired radargram (without any processing). Panel b) shows the result after applying dewow, zero-time removal, background removal, gain (energy decay) and migration (find the description of features 1–4 in the main text). Panel c) shows the radargram from b) with applied CTDC transformation. Panel d) shows the radargram from b) with multiples removal, performed with ReflexW. Panel e) shows the radargram in d) with applied CTDC transformation. Processing parameters used: dewow filter length = 4, summation width (applied during migration) = 100, migration velocity = 0.1 m/ns.

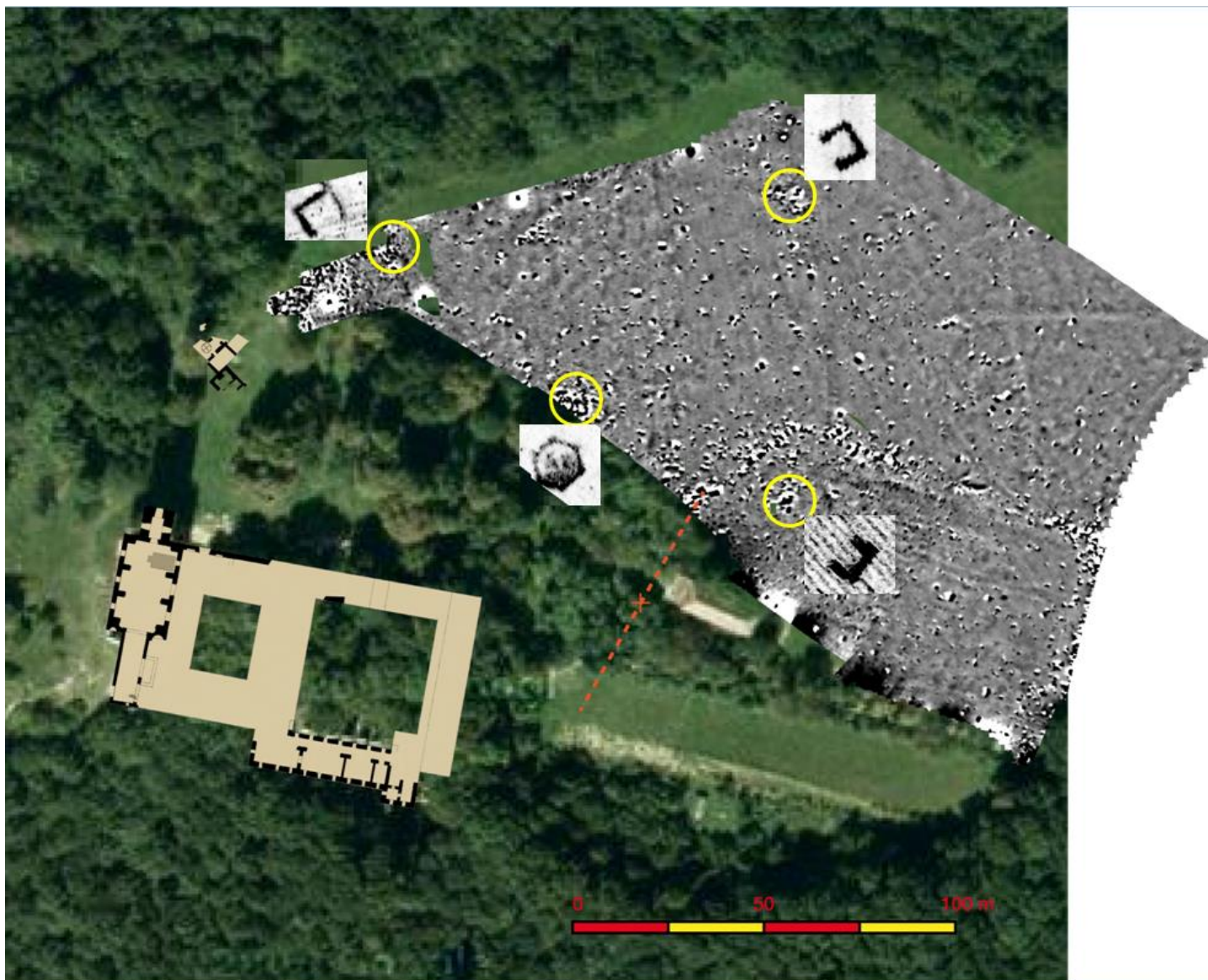
zistené náznaky existencie
základov budovy
(200 MHz anténa)



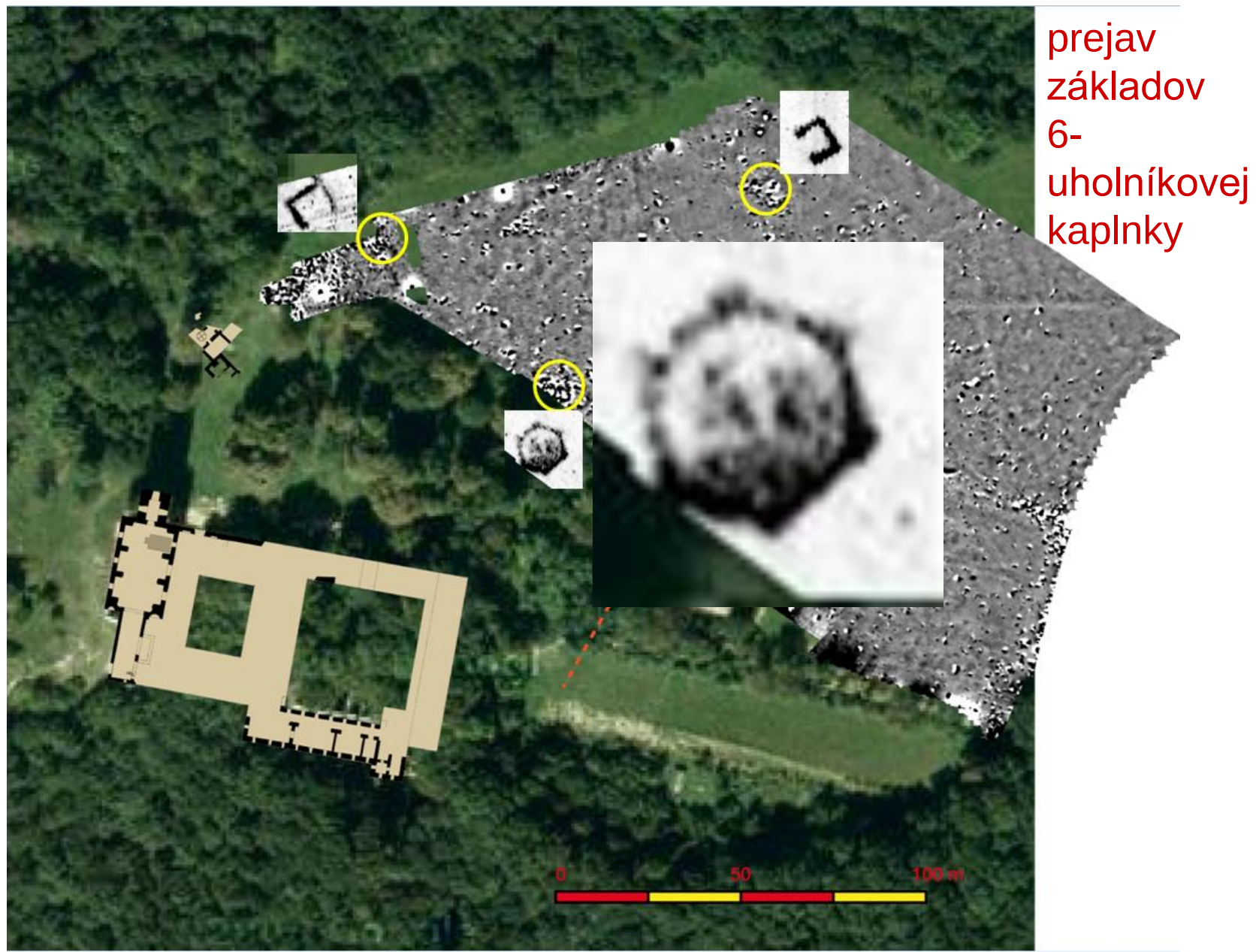
potvrdené použitím
400 MHz antény

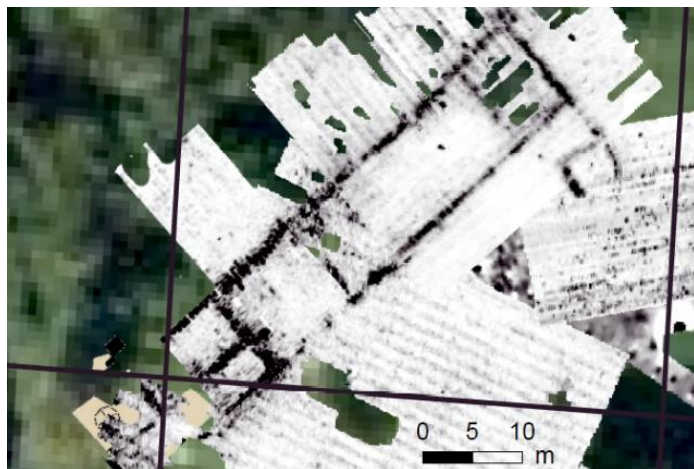


trojlod'ová
ranno-byzantská
bazilika
(je možné, že
bola súčasťou
známeho
1. Níkejského
koncilu)

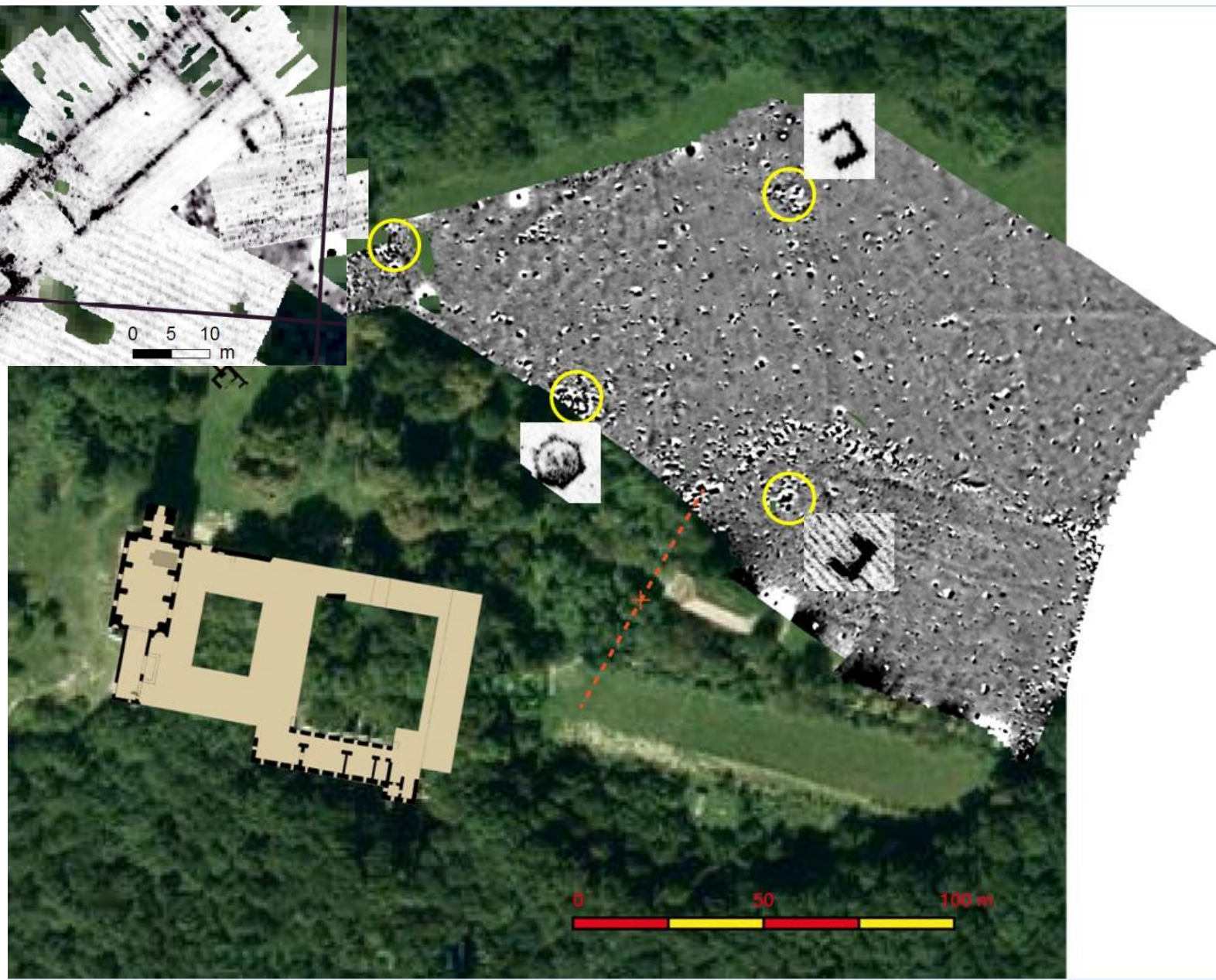


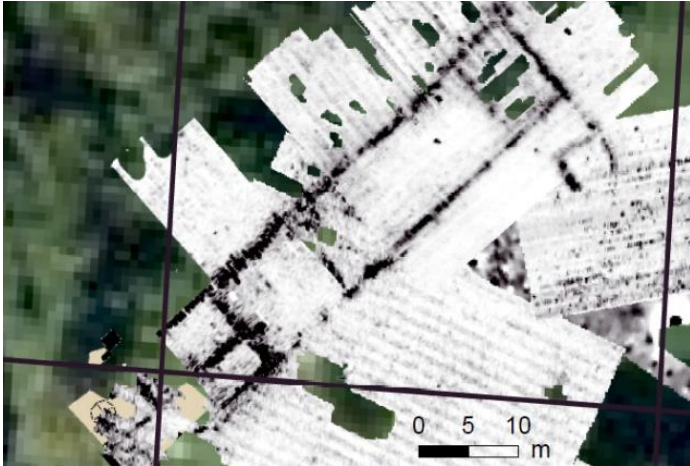
ukážka použitia magnetometrie a radaru pri detekcii zvyškov múrov



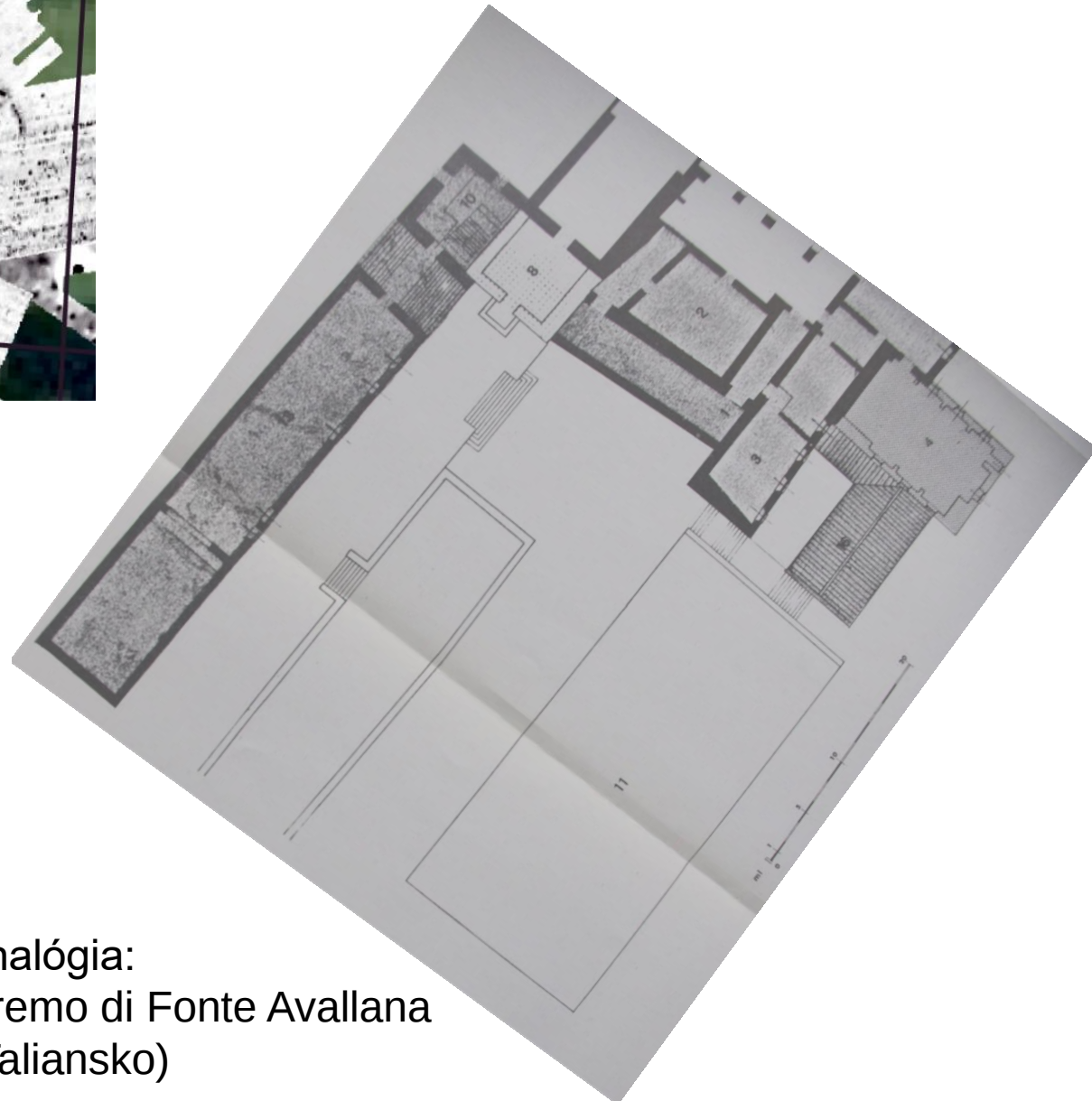


... a základov
hospicu
(xenodochium)





... a základov
hospicu
(xenodochium)



analógia:
Eremo di Fonte Avallana
(Taliansko)

georadarový prieskum „Spišský Štiavnik (východné Slovensko)“

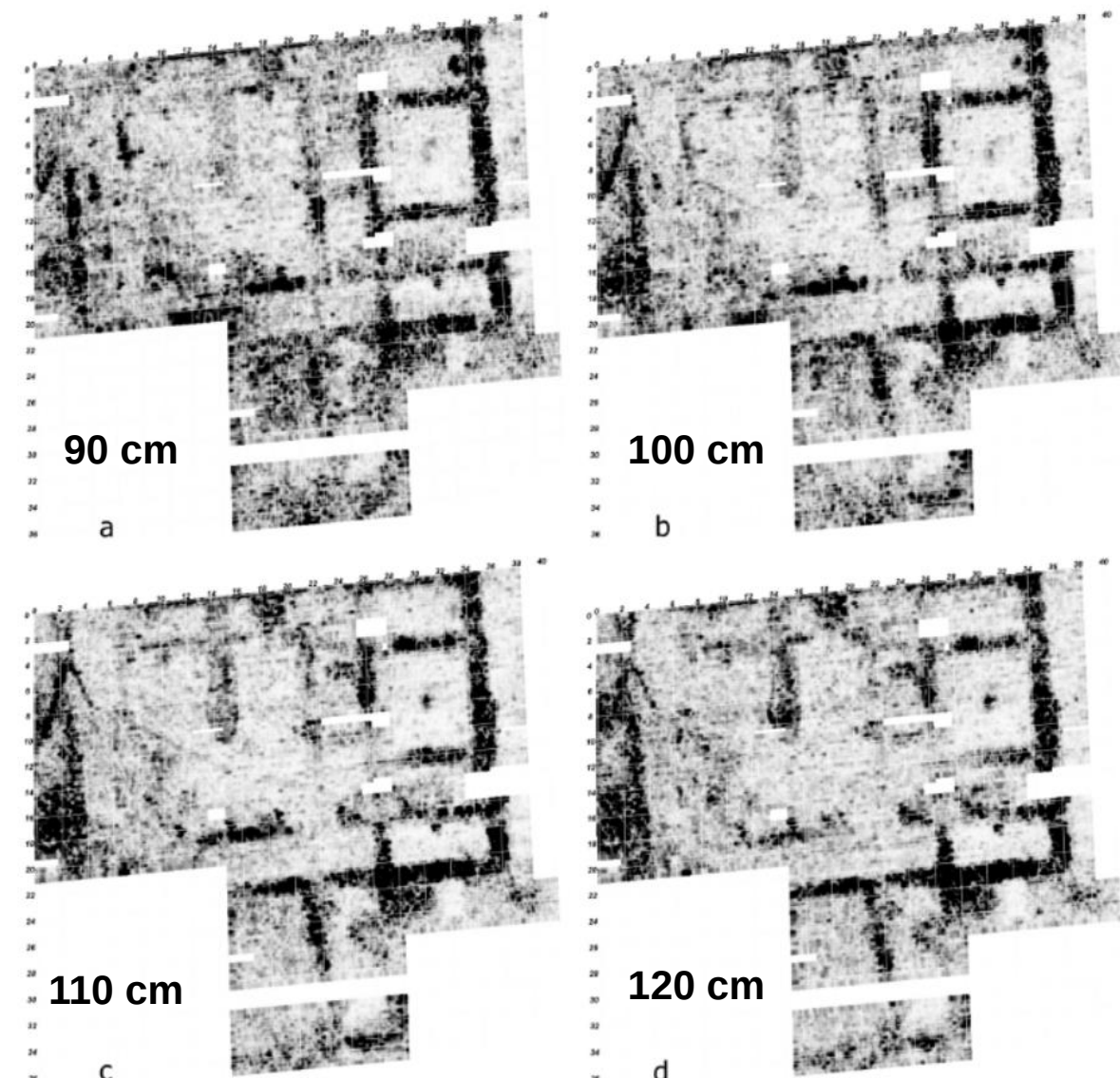
lokalita: Spišský Štiavnik, základy cisterciackého kláštora



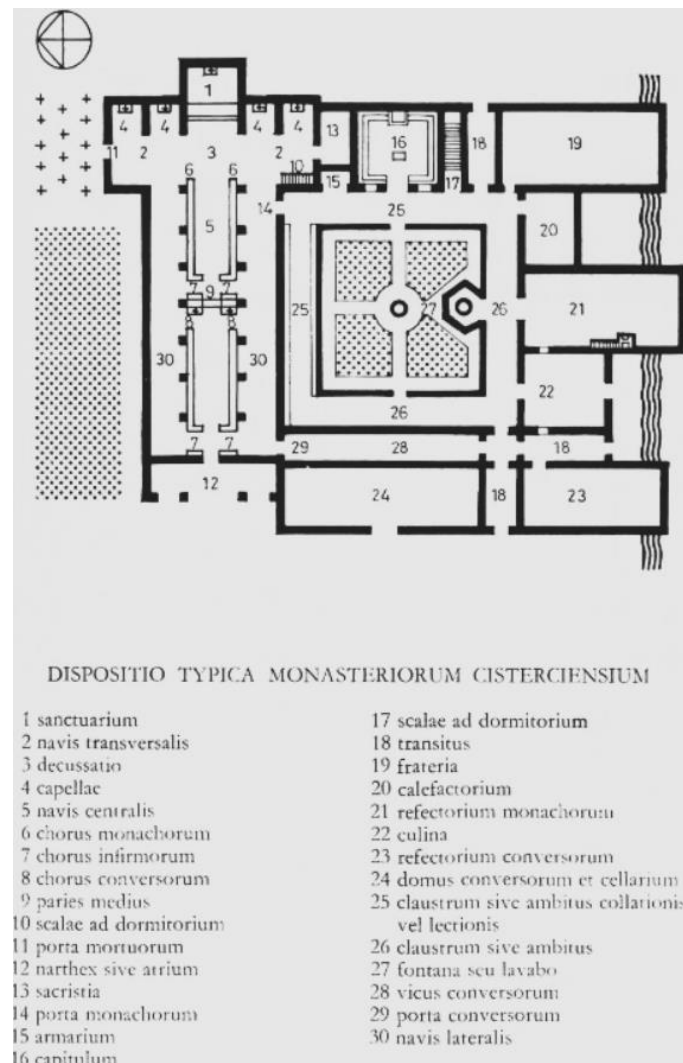
GPR – GSSI 400 MHz
magnetometria – Bartington Grad601 Dual

georadarový prieskum „Spišský Štiavnik (východné Slovensko)“

lokalita: Spišský Štiavnik, základy cisterciackého kláštora

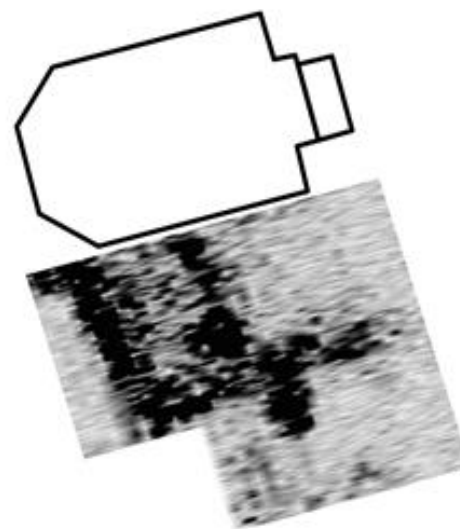


horizontálne GPR amplitúdové rezy
(3D spracovanie, softvér Reflex W)



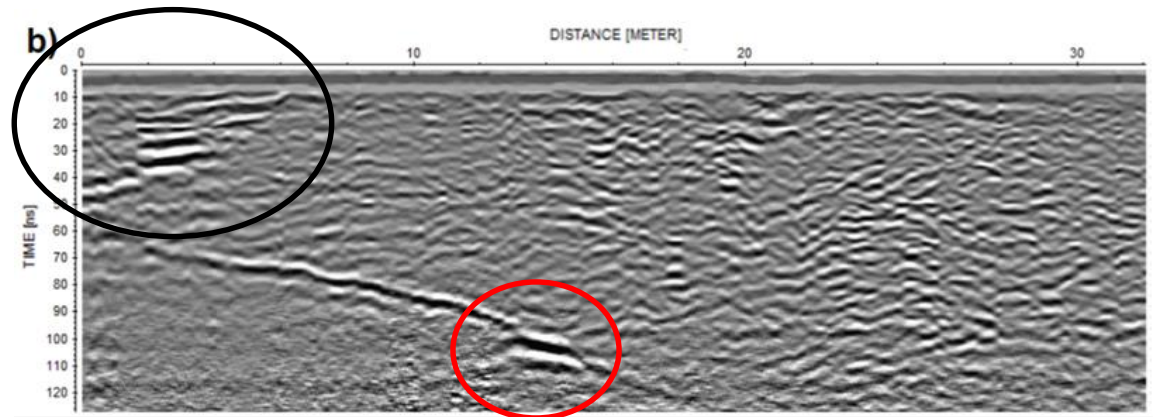
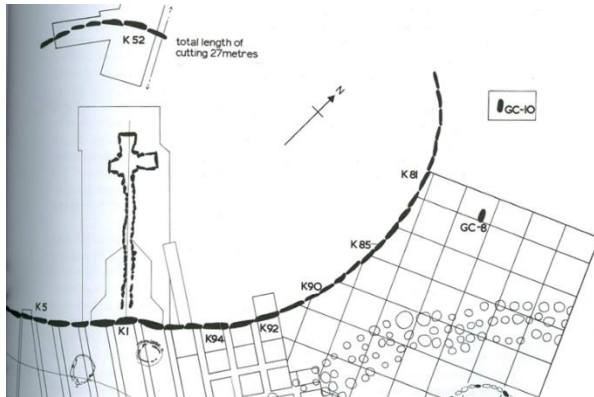
pôdorys zachovalého cisterciackého kláštora (Poľsko)

georadarový prieskum okolia kaplnky sv. Anny, Vištuk



dôležitý výsledok z premeranej plochy P3:
horizontálny rez z hĺbky 200 cm

identifikácia bývalých výkopov (aj archeologických) – lokalita Newgrange, Írsko



- výplň bývalého výkopu z 1970ich rokov (O'Kelly)
- **prejav horného okraja dutiny (the „second chamber“?)**

Dokument súkromnej írskej televízie (TG 4):

<https://www.tg4.ie/en/player/play/?pid=6342974535112&title=R%C3%BAn%20na%20B%C3%B3inne&series=R%C3%BAn%20na%20B%C3%B3inne&genre=Faisneis>

georadarový prieskum základného kameňa, budova YMCA Bratislava

GPR – GSSI 2000 MHz + MALA 2600 MHz

fotografia základného kameňa



georadarový prieskum základného kameňa, budova YMCA Bratislava

fotografia základného kameňa



fotografia základného kameňa
(s umiestnením radargramu)



georadarový prieskum základného kameňa, budova YMCA Bratislava

overenie nálezu:

