

Príkladové štúdie použitia metód archeo-geofyzikálneho výskumu

GEORADAR, GPR (*Ground Penetrating Radar*)

Základné informácie

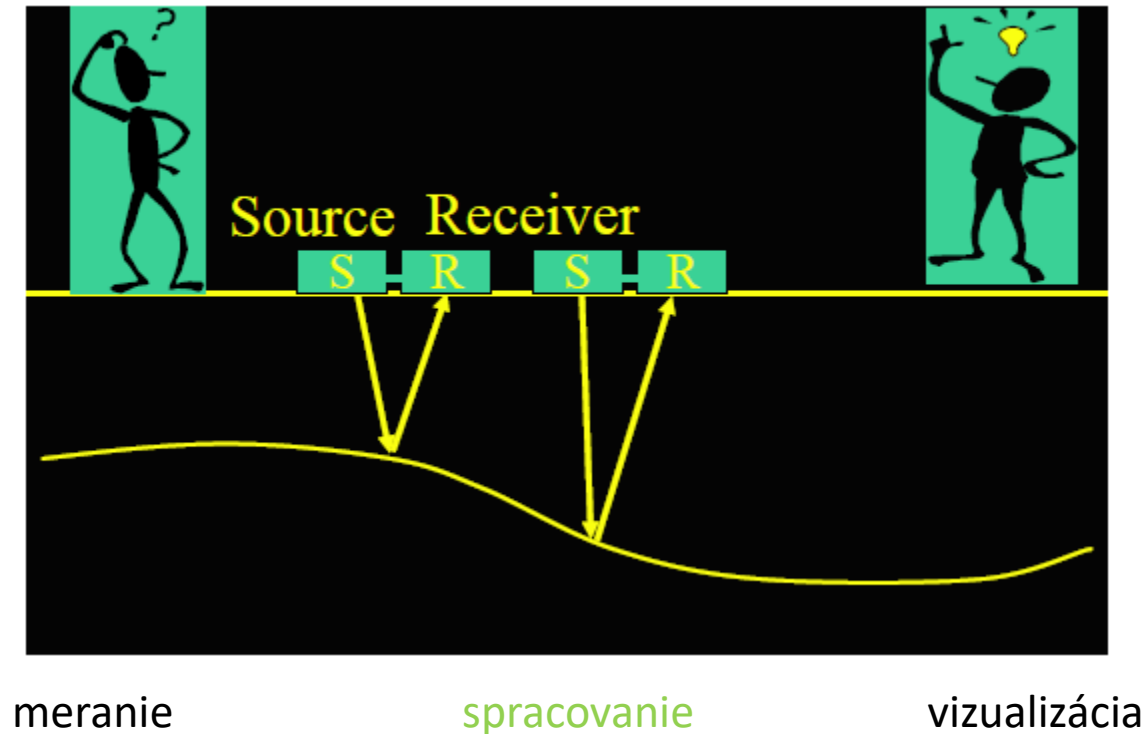
- terminológia - dôležité pojmy
- základy spracovania GPR údajov
- vertikálne a horizontálne GPR rezy

Popis potrebného prístrojového vybavenia

- zber údajov v teréne
- demonštračné video merania s GPR

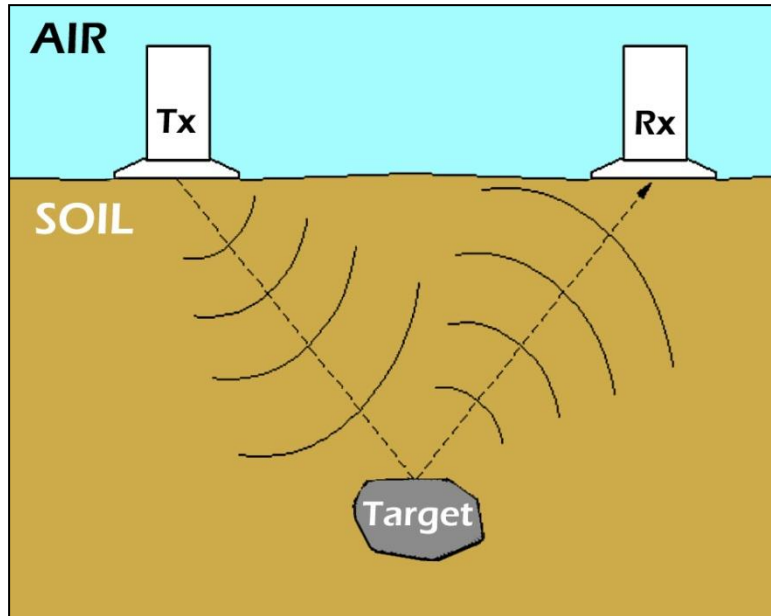
príklady získaných výsledkov z meraní GPR

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

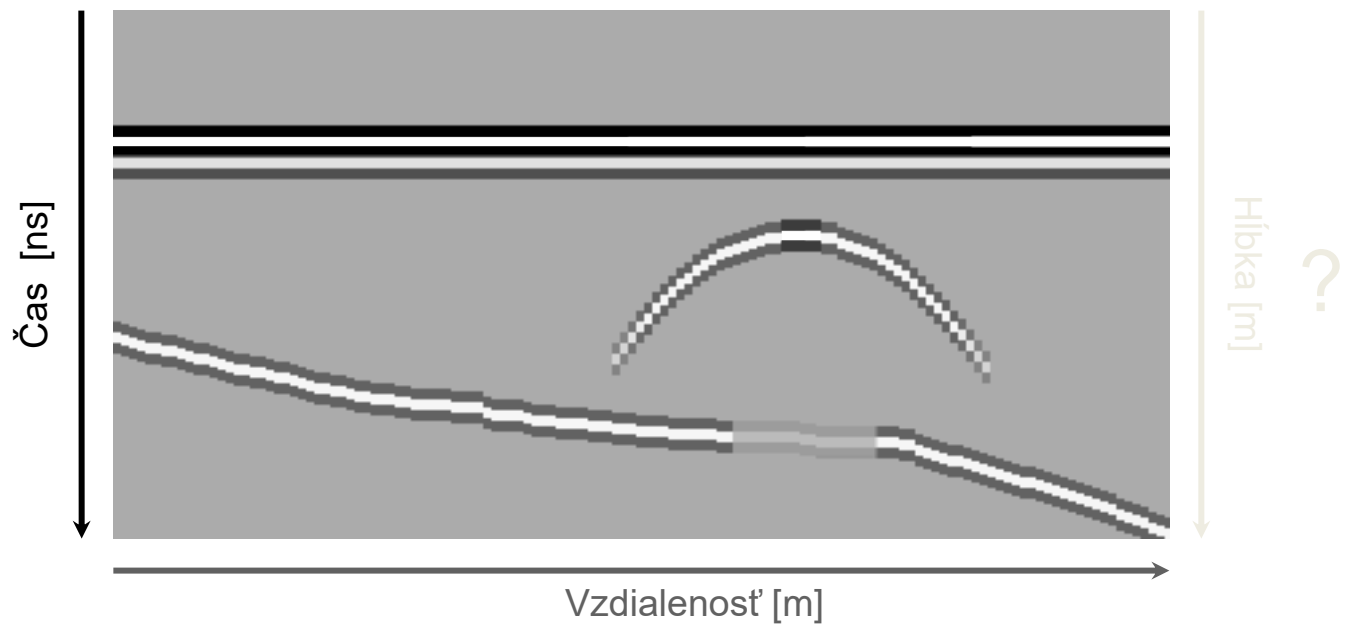
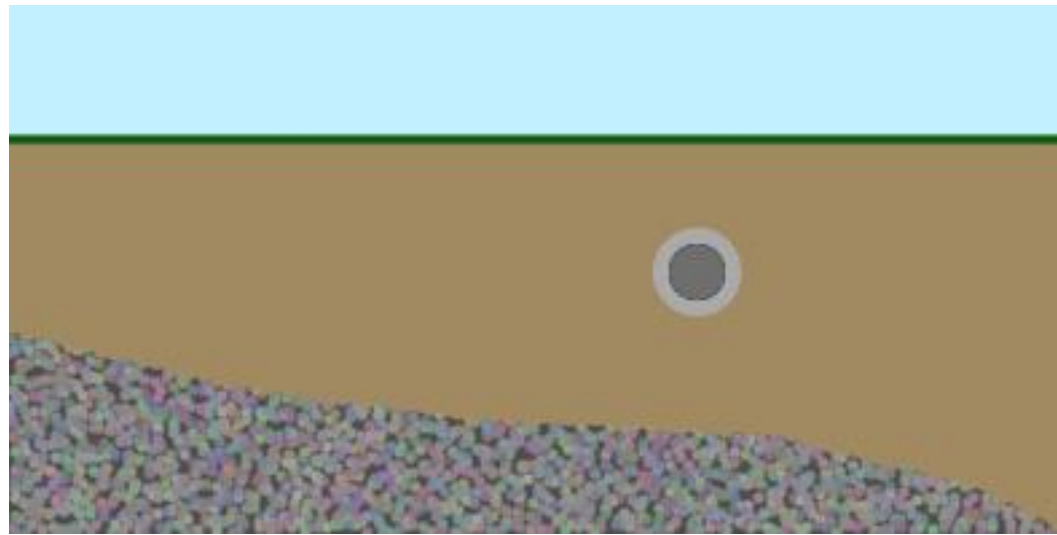
EM vlnenie je generované vysielacou anténou (vysielač Tx) a prijímané prijímacou anténou GPR (prijímač Rx)

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

- *diaelektrickou 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 15 cm/ns).

GEORADAR, GPR (*Ground-penetrating radar*)



antenna - GPR anténa obsahuje vysielateľ, prijímač a vyžarujúci element
- monostatická, bistaticka, tienená, netienená

gain – proces zosilňujúci signál za účelom vyrovnať rozsah zobrazovacej jednotky

GHz - Giga Hertz, i.e. 10^9 Hz/ frekvencia za sekundu

MHz - Mega Hertz, i.e. 10^6 Hz/ frekvencia za sekundu

GPR signal velocity (v) - rýchlosť vlny šíriacej sa cez materiál (prostredie),
rýchlosti šírenia sa mení na podľa druhu materiálu

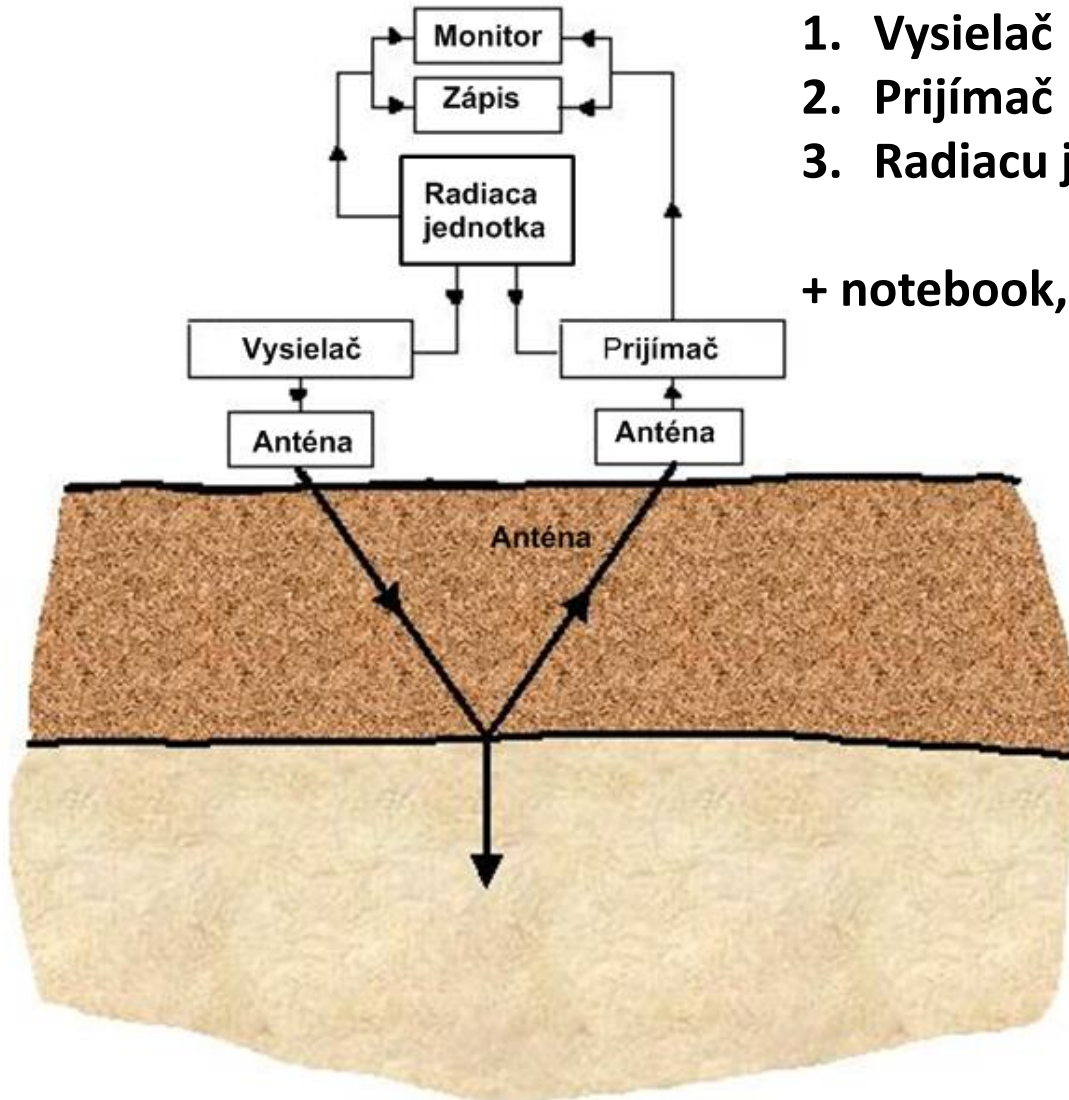
GPR trace - po vyslaní a prijíme jedného impulzu sa po digitalizácii vytvorí
jeden záznam tzv. stopa, ktorá zobrazuje zaznamenané amplitúdy

range – rozsah, dĺžka záznamu stopy v nanosekundách [ns]

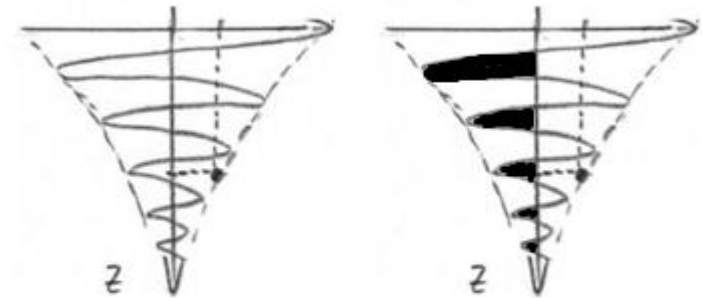
Typický GPR systém obsahuje tri komponenty:

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, radiaciu jednotku**

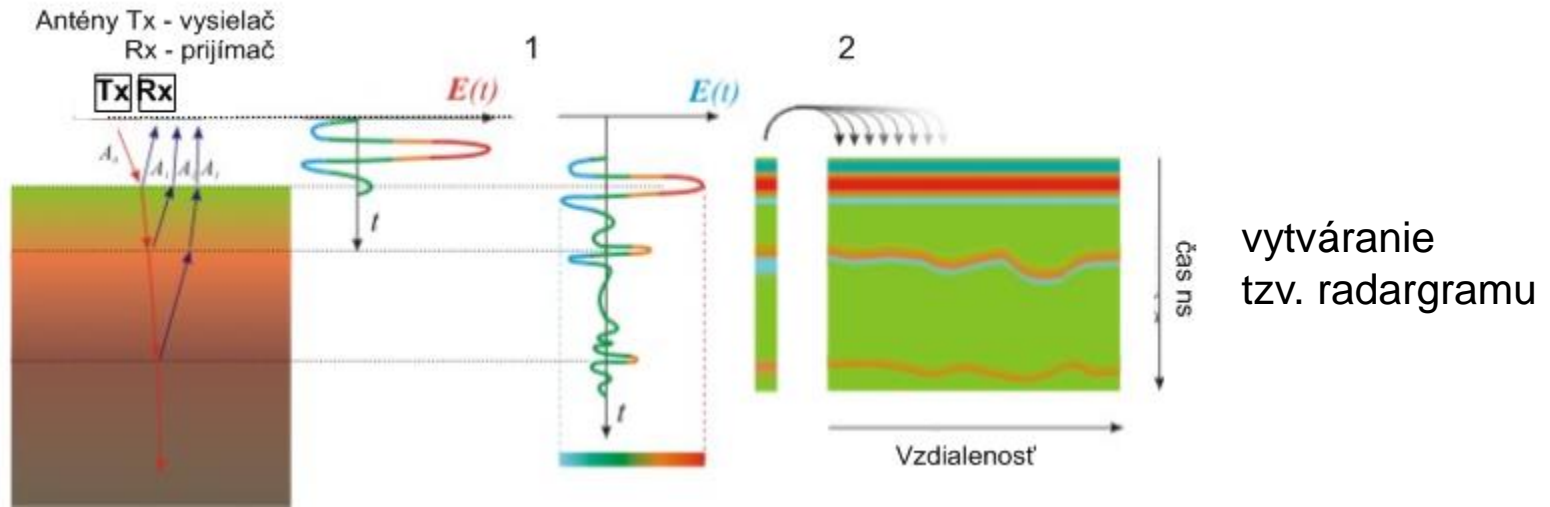


**Typický GPR systém obsahuje tri komponenty:
vysielač, prijímač, radiacu jednotku**

d'alší príklad:

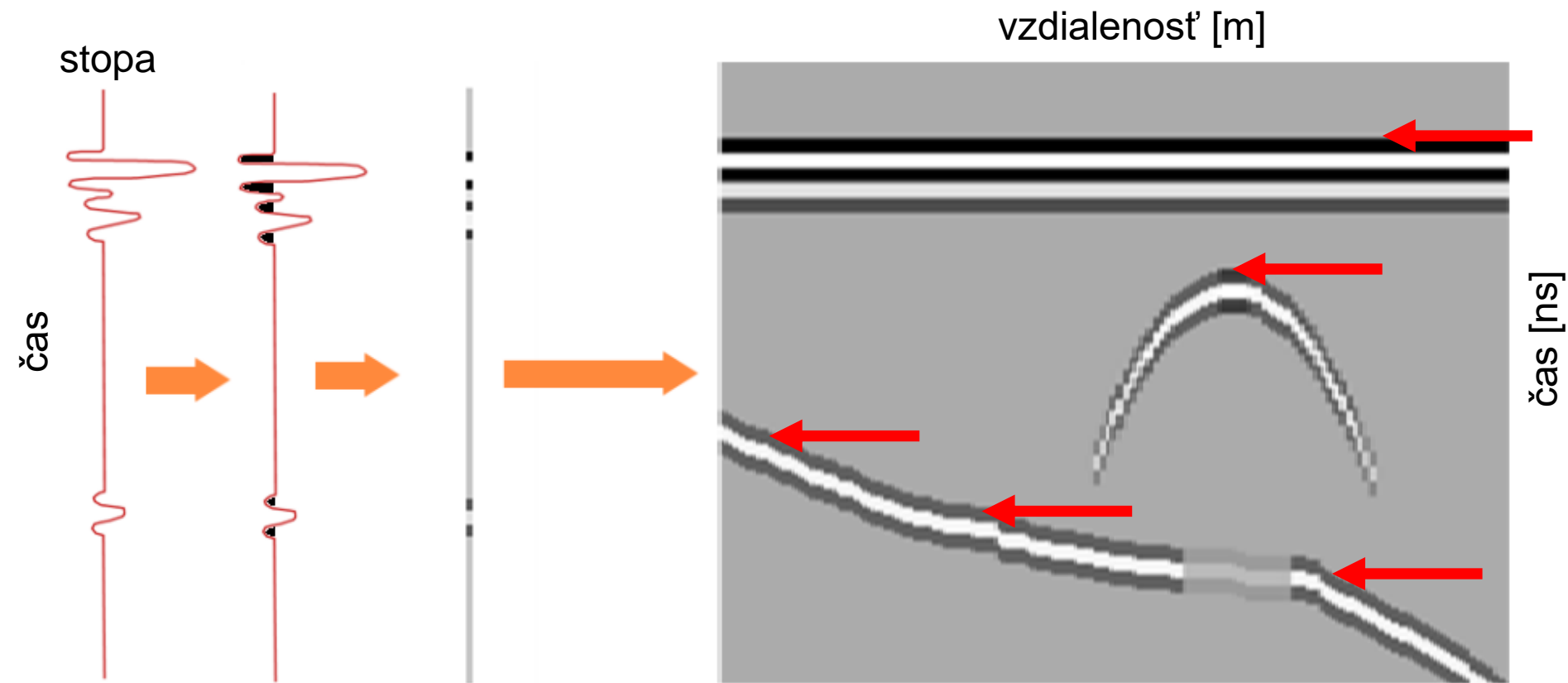


GPR, radarový záznam = radargram



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

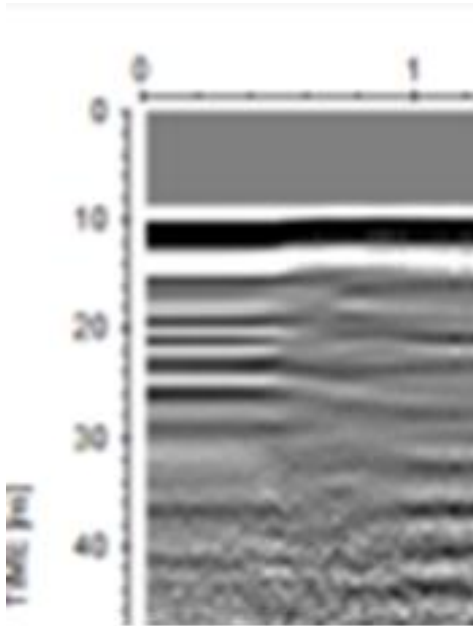


Pri zobrazení jednotlivých stôp s amplitúdami vln sa vyfarbia (často čiernou farbou) iba miesta s extrémnymi hodnotami. Potom sa zobrazia za sebou – ako boli nasnímané. Takýmto spôsobom vzniká radargram.

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

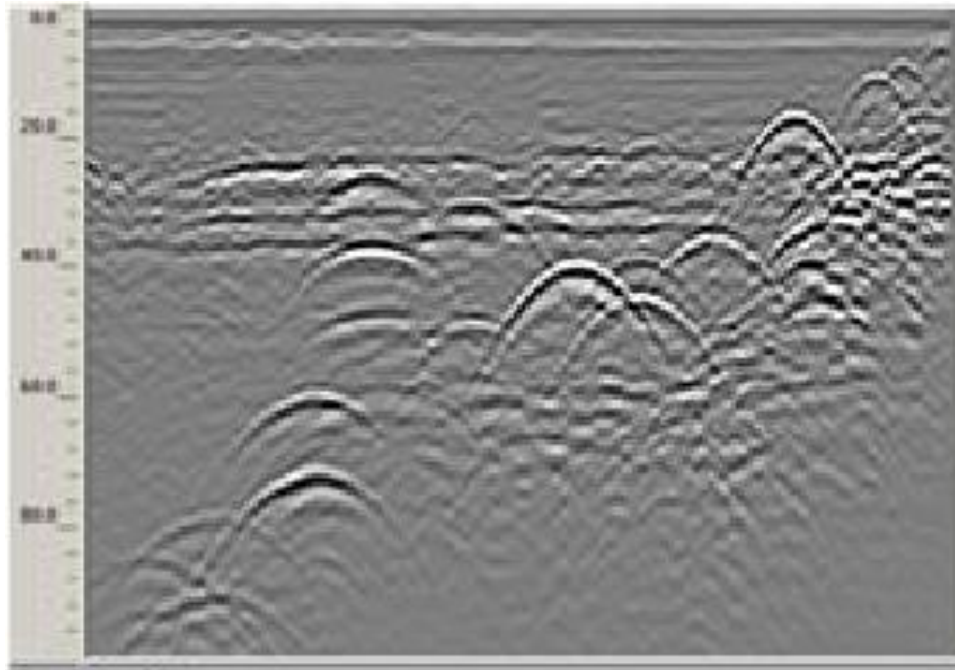


začiatok záznamu je “hluchý”,
neobsahuje žiadne prichádzajúce
vlny – je potrebné túto časť záznamu
odstrániť v procese spracovania
(niektoré prístroje to robia
automaticky – tzv. zero-time removal
plus background removal),

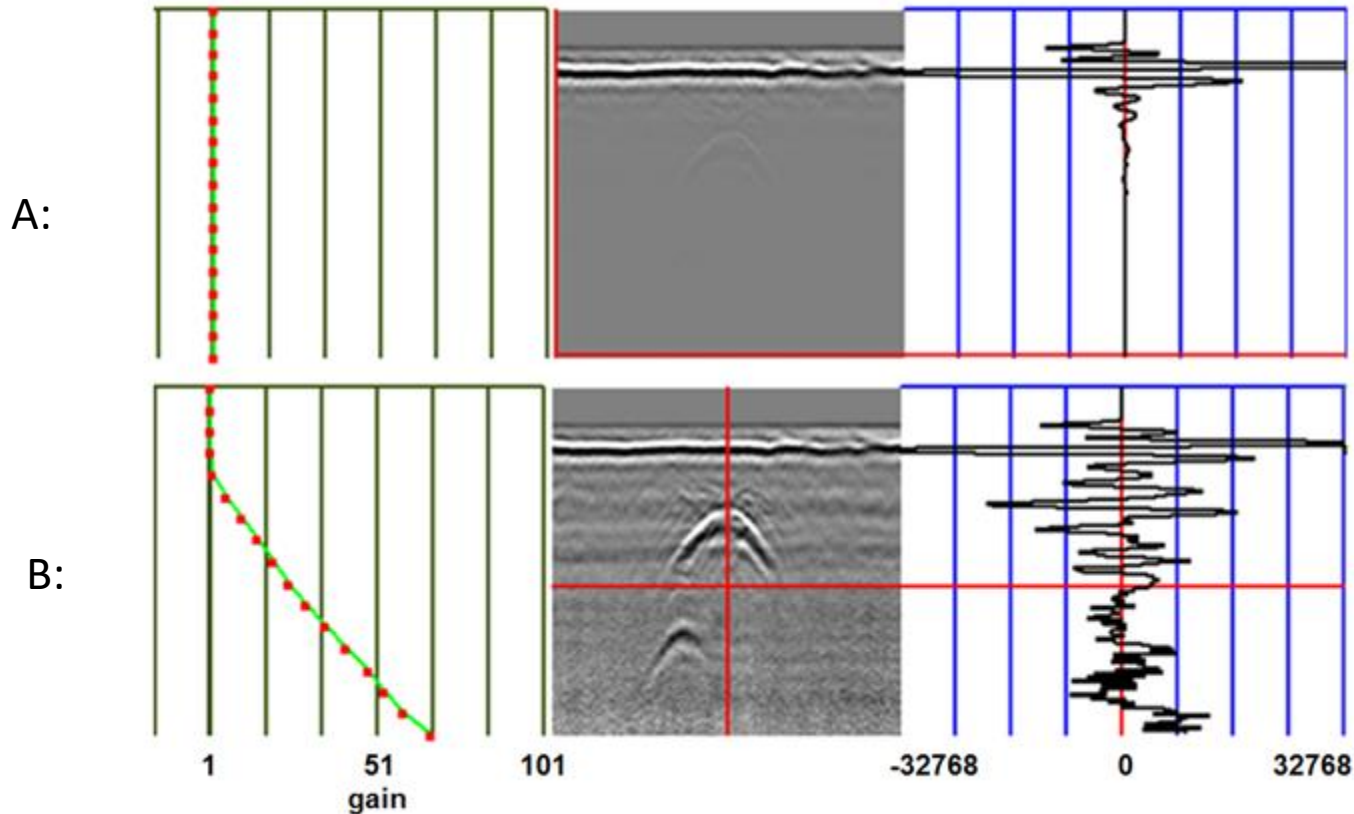
Na tomto prvom odraze sa často minie
veľký podiel energie EM vln (najmä keď
je zemský povrch mokrý alebo inak vodivý).

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! (napríklad pri klenbe krýpt by sa to tak mohlo aj zdať...)



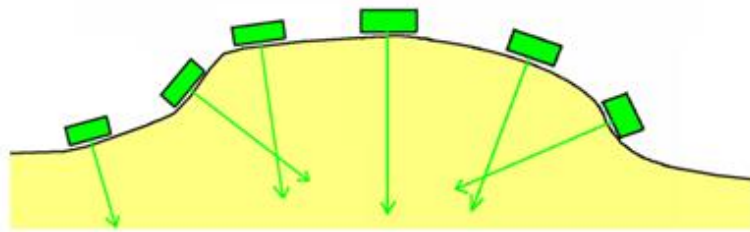
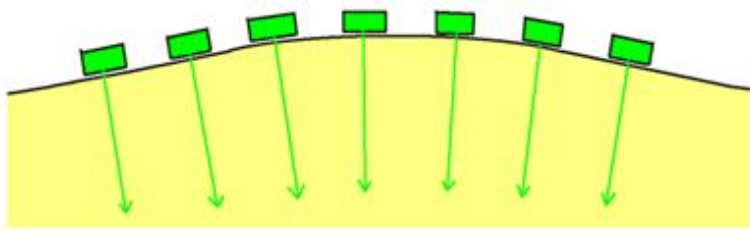
príklad – rez s relatívne veľkým množstvom registrovaných objektov (prejavených cez prítomnosť difragovaných vln)



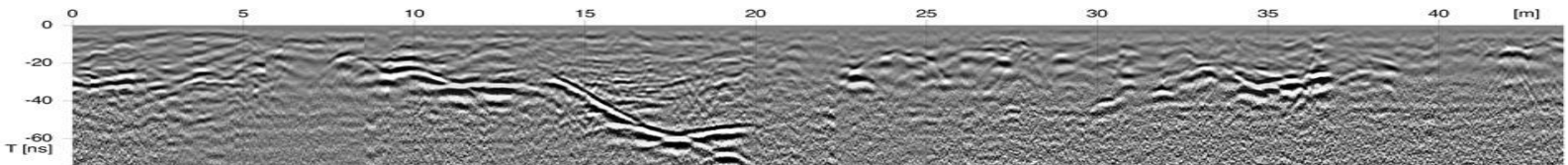
A: radargram zobrazený bez zosilnenia (gainu)

B: radargram po zosilnení signálu

GPR, oprava o topografii



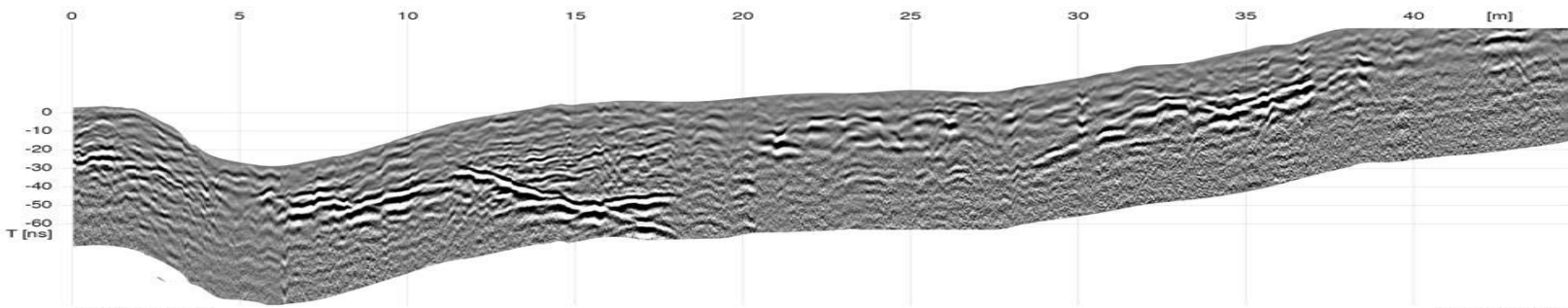
BURG_020_0



Rw: 4693185.50
Hw: 5943984.21

[m] 4693206.46
5944022.23

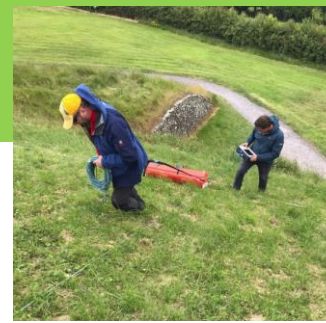
Profil 20



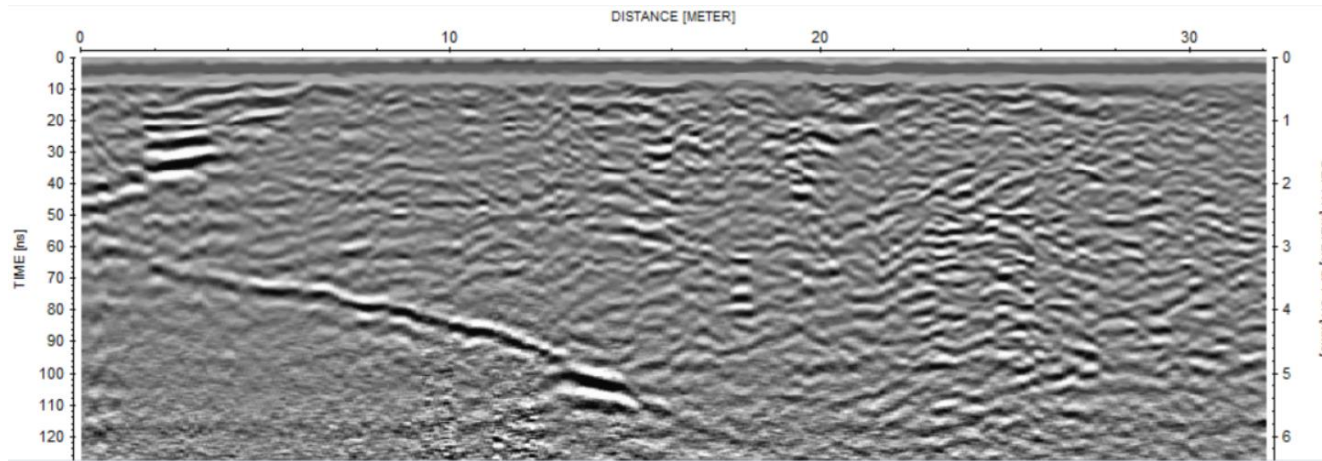
Rw: 4693185.49
Hw: 5943984.20

[m] 4693206.54
5944021.99

GPR, oprava o topografiu

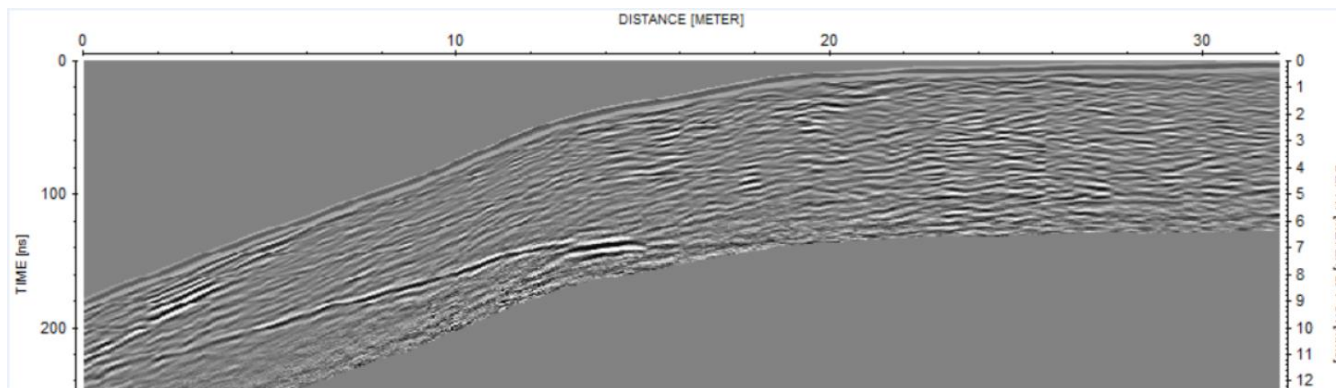


pôvodný radargram

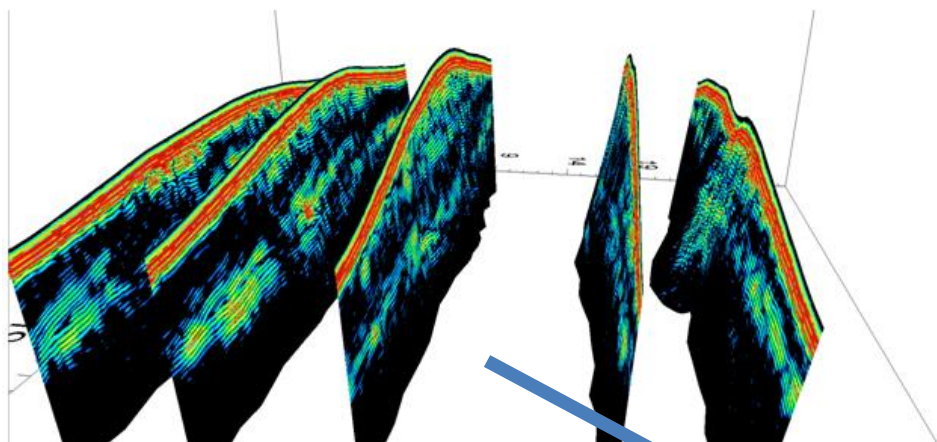


neolitická mohyla
Newgrange (Írsko)

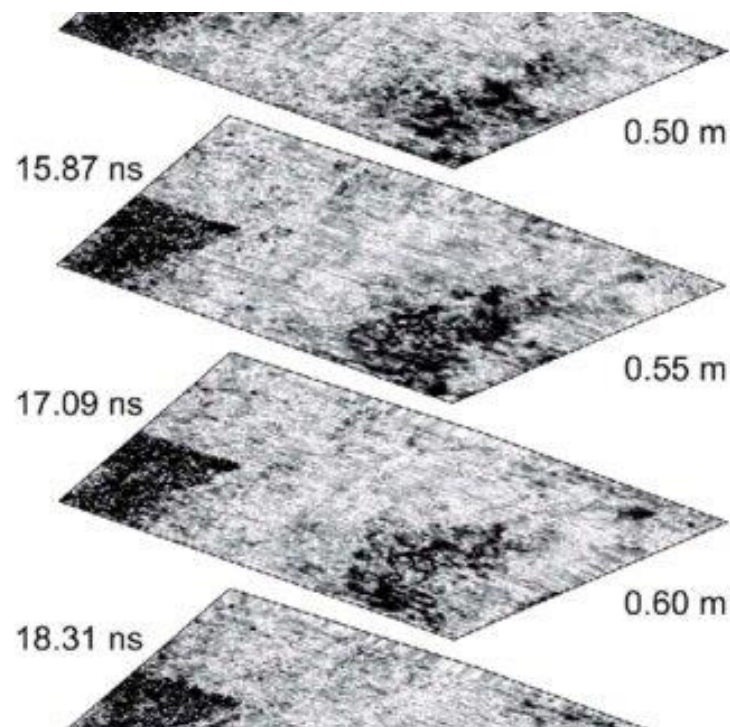
so zavedením opráv o topografiu



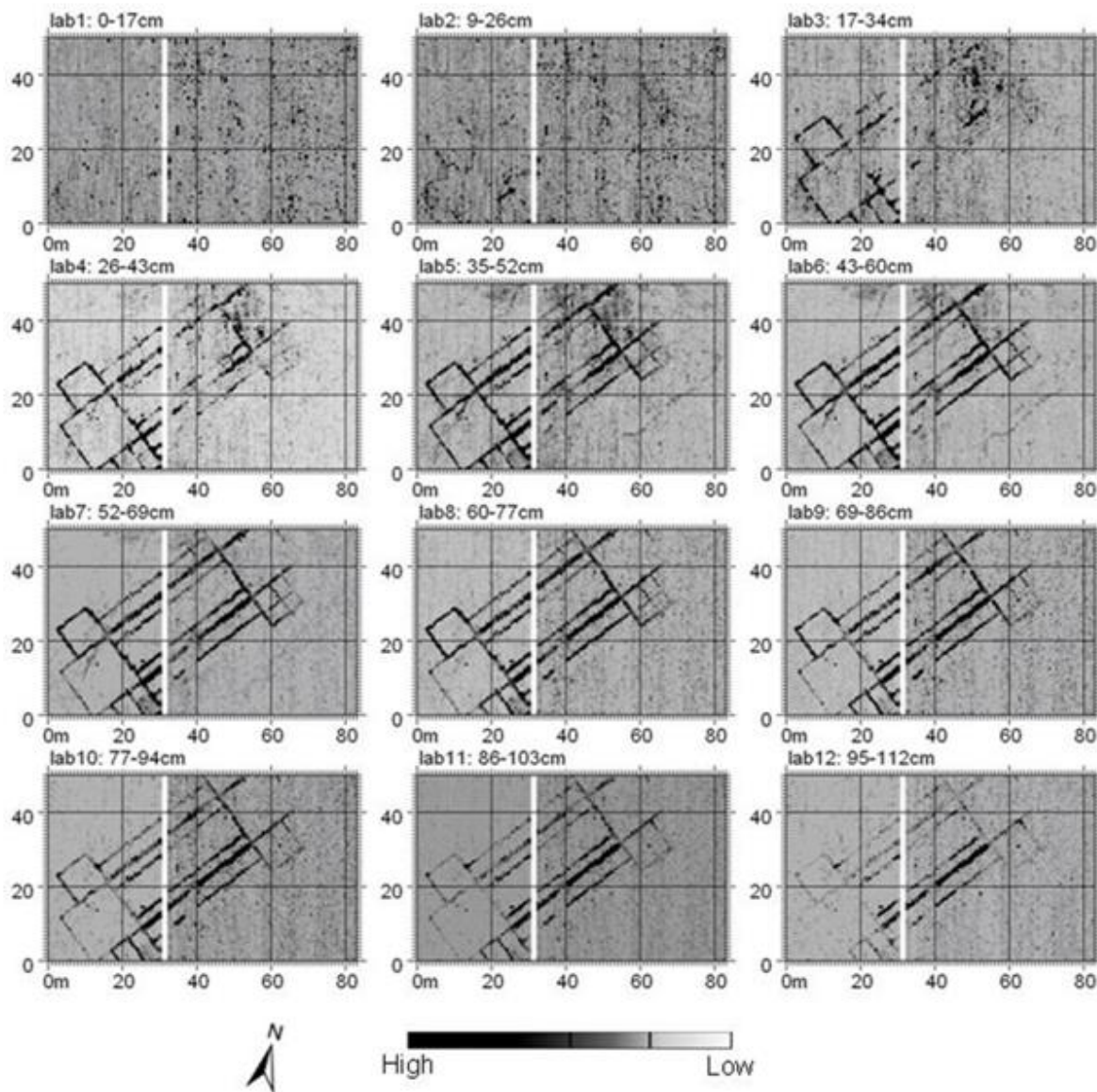
GPR, horizontálne zobrazenie (3D spracovanie)



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

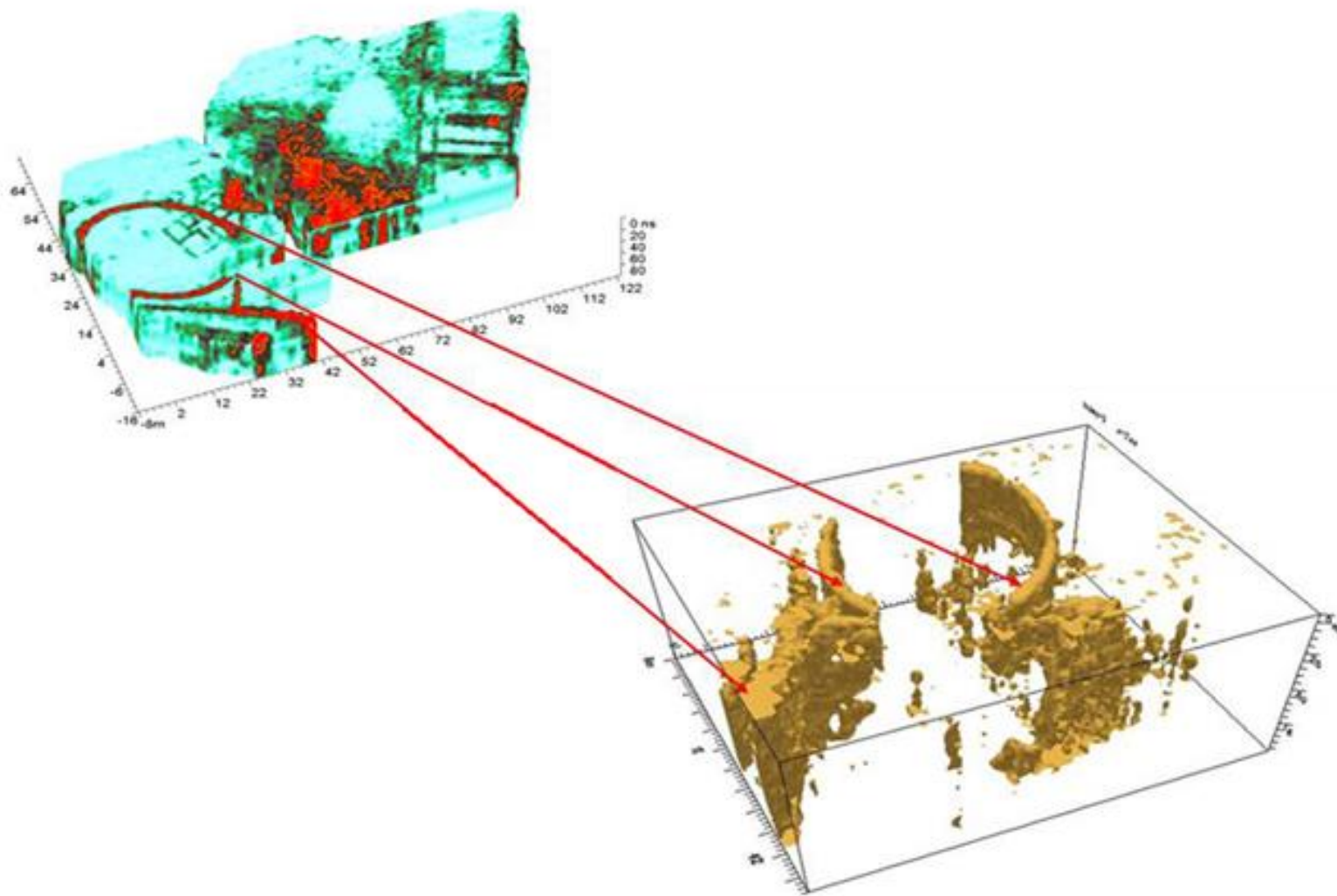


GPR, horizontálne zobrazenie (3D spracovanie)



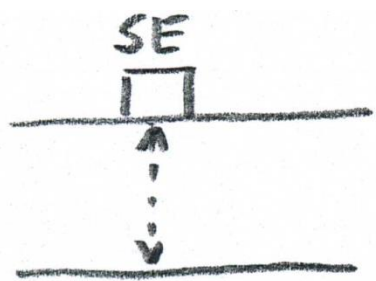
často zobrazované
aj formou videa

GPR, 3D zobrazenie

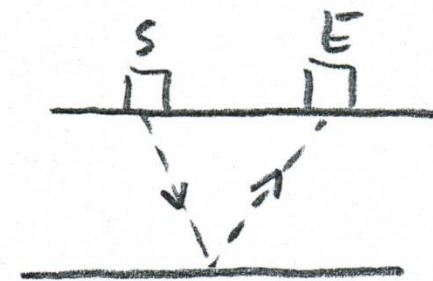


GPR, prístrojové vybavenie (antény)

*Mono-static antenna:
Transmitter = Receiver*



*Bi-static antennas:
Transmitter \neq Receiver*



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)

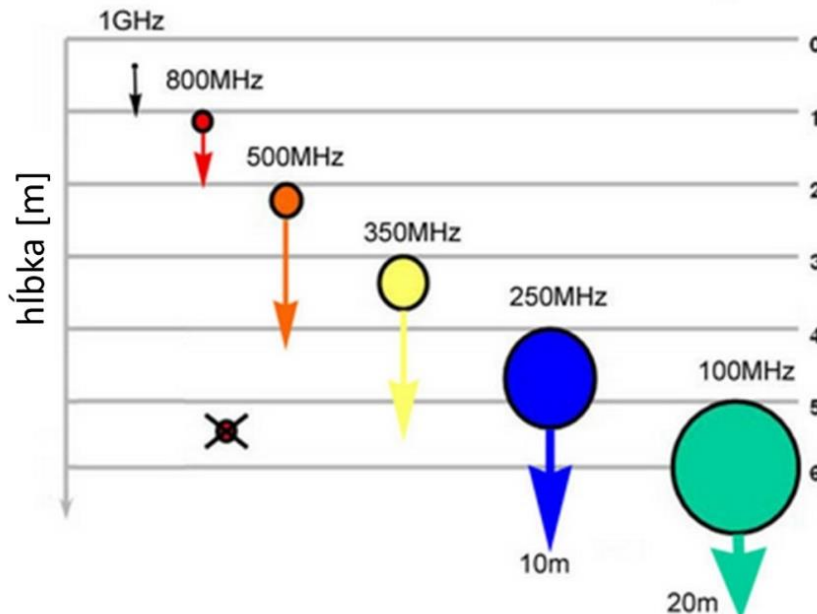


hustota merania 8x8cm

plocha 100x100m pomeraná za necelú hodinu

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.

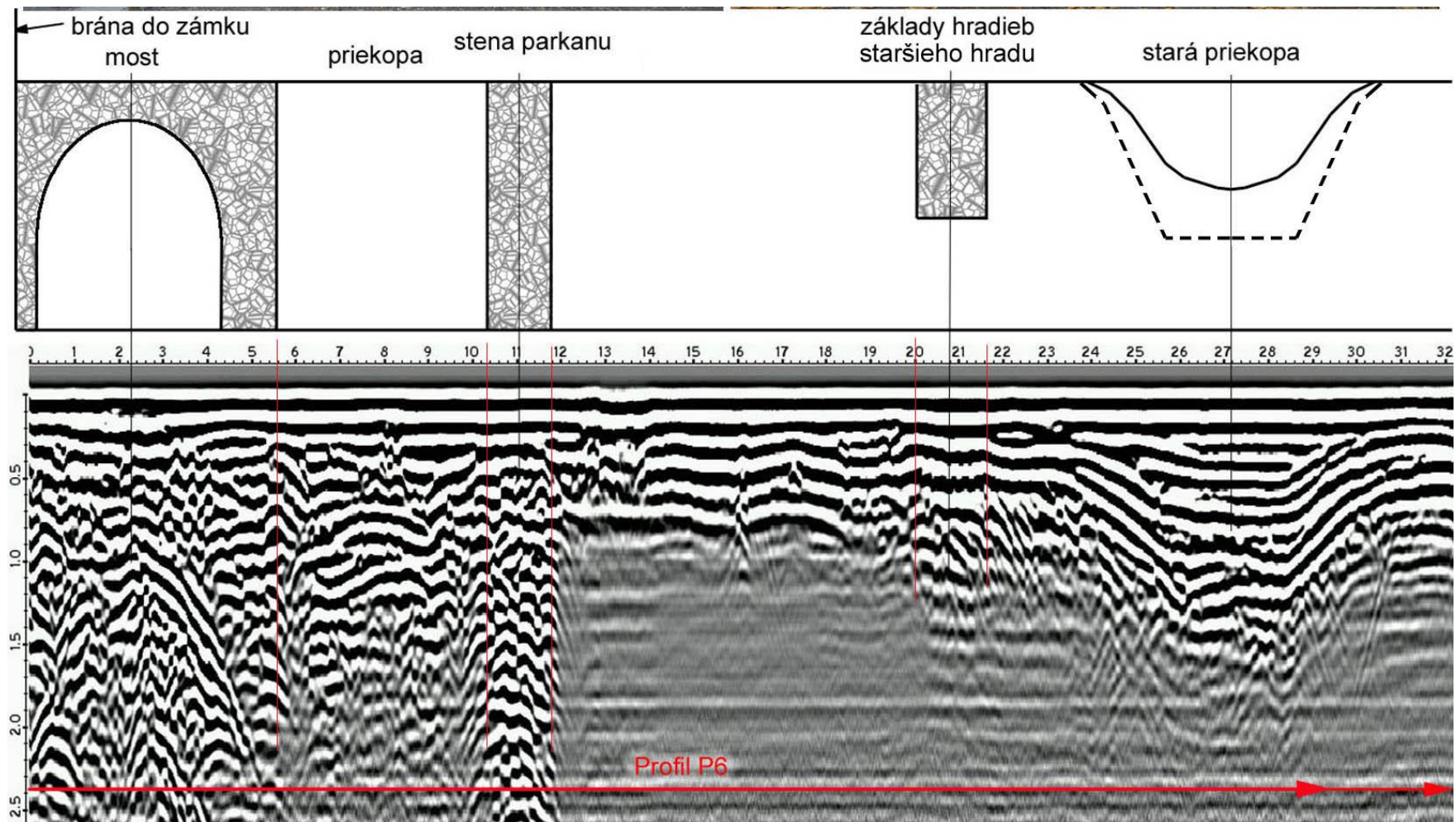


GPR, príklad merania v teréne



- 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)**

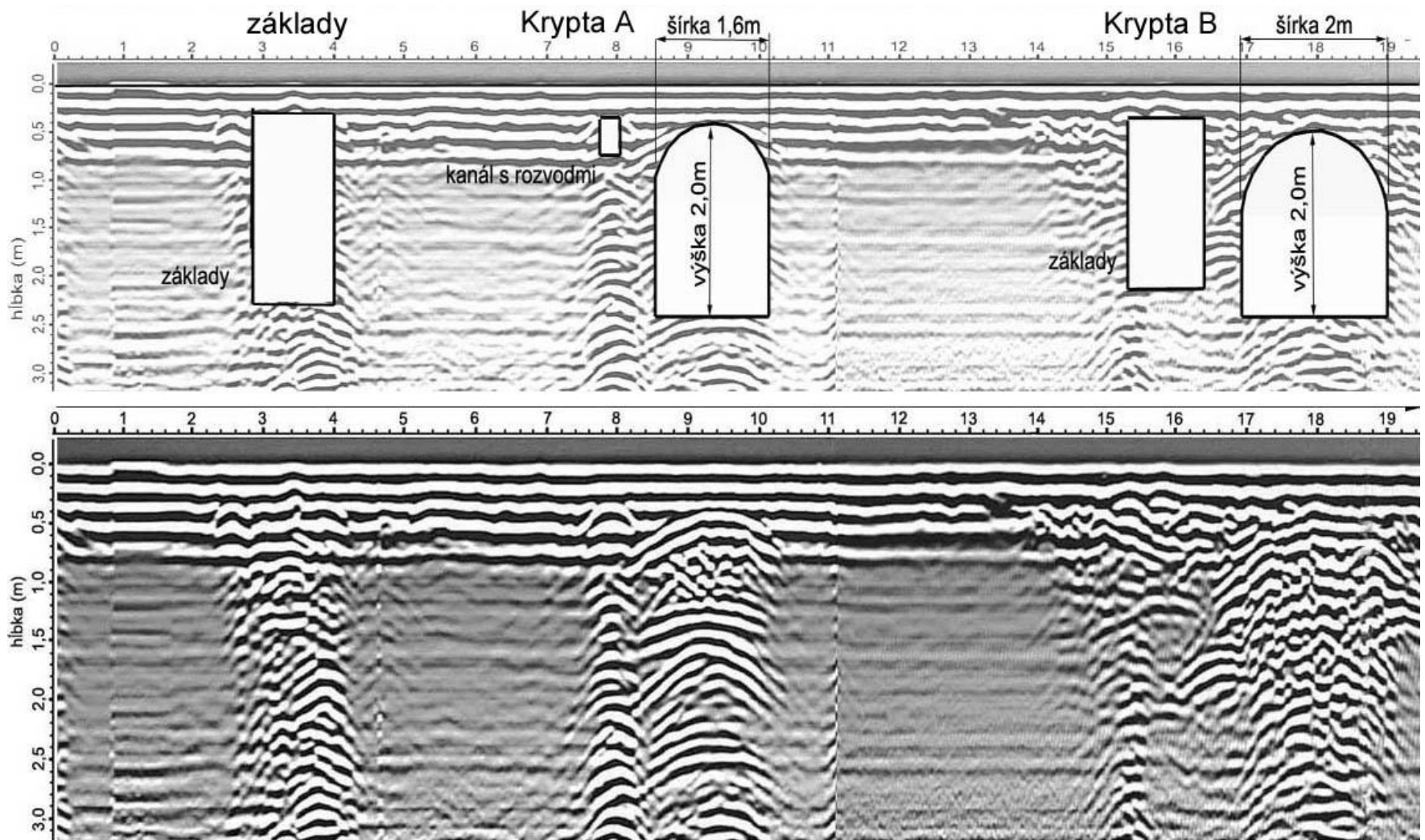
GPR, v archeológii



príklady – prejavy rôznych druhov architektúry na vertikálnych rezoch

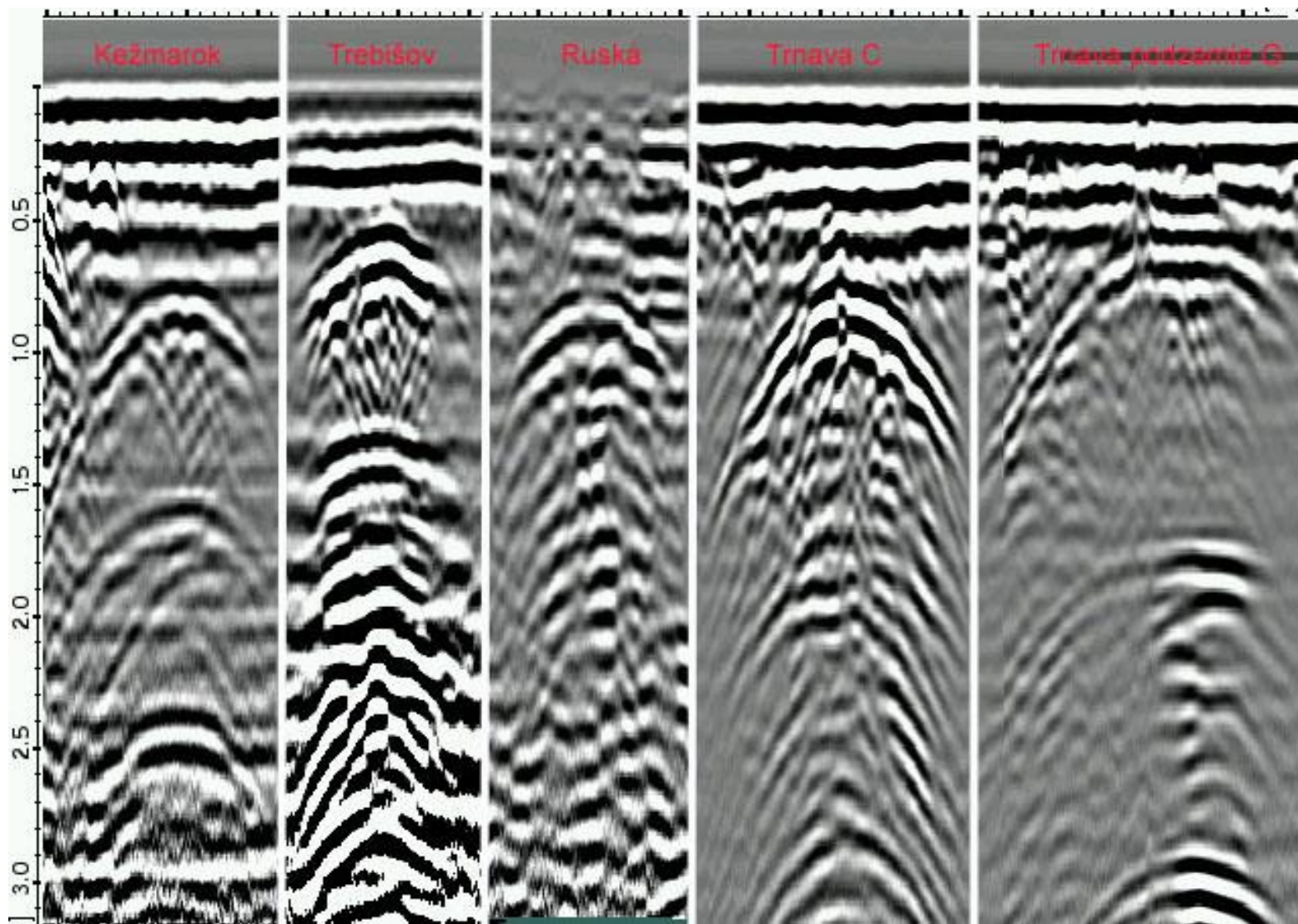
použité podklady sú od slovenskej firmy TERRA s.r.o.

GPR, v archeológii



príklady – prejavy rôznych druhov dutín a architektúry na vertikálnych rezoch

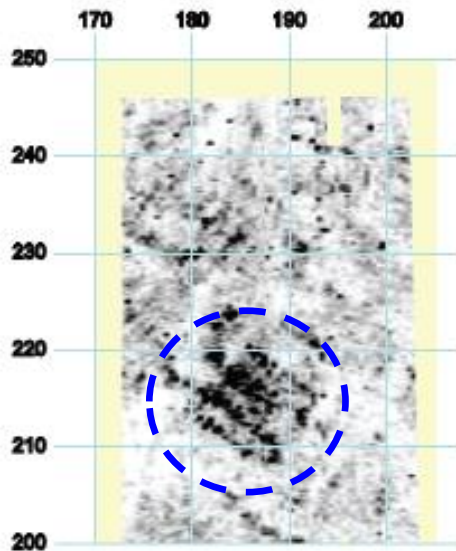
použité podklady sú od slovenskej firmy TERRA s.r.o.



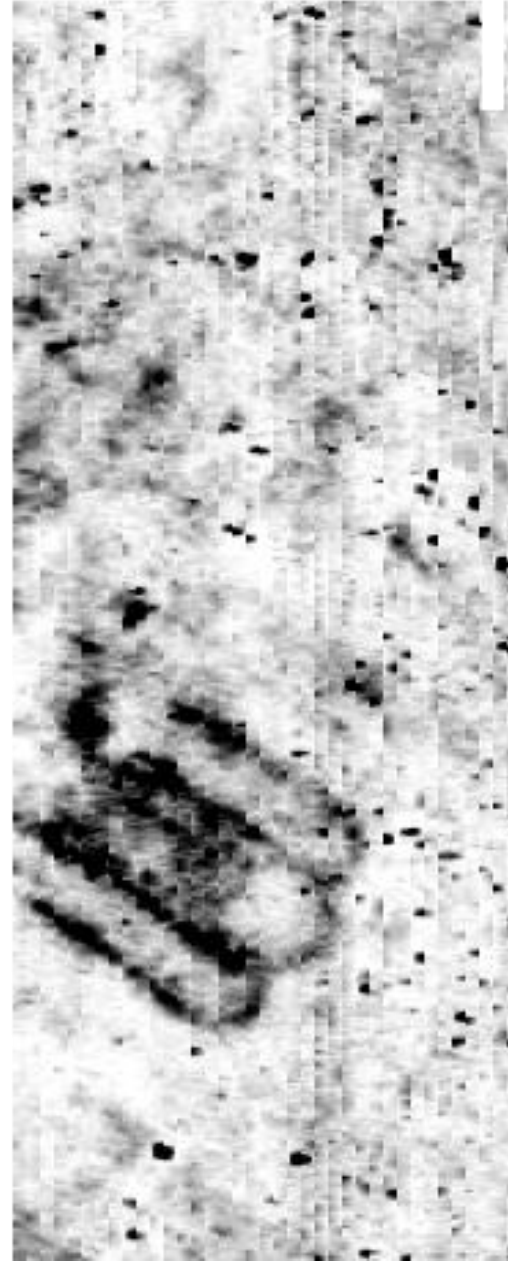
príklady – prejavy rôznych krýpt na vertikálnych rezoch

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

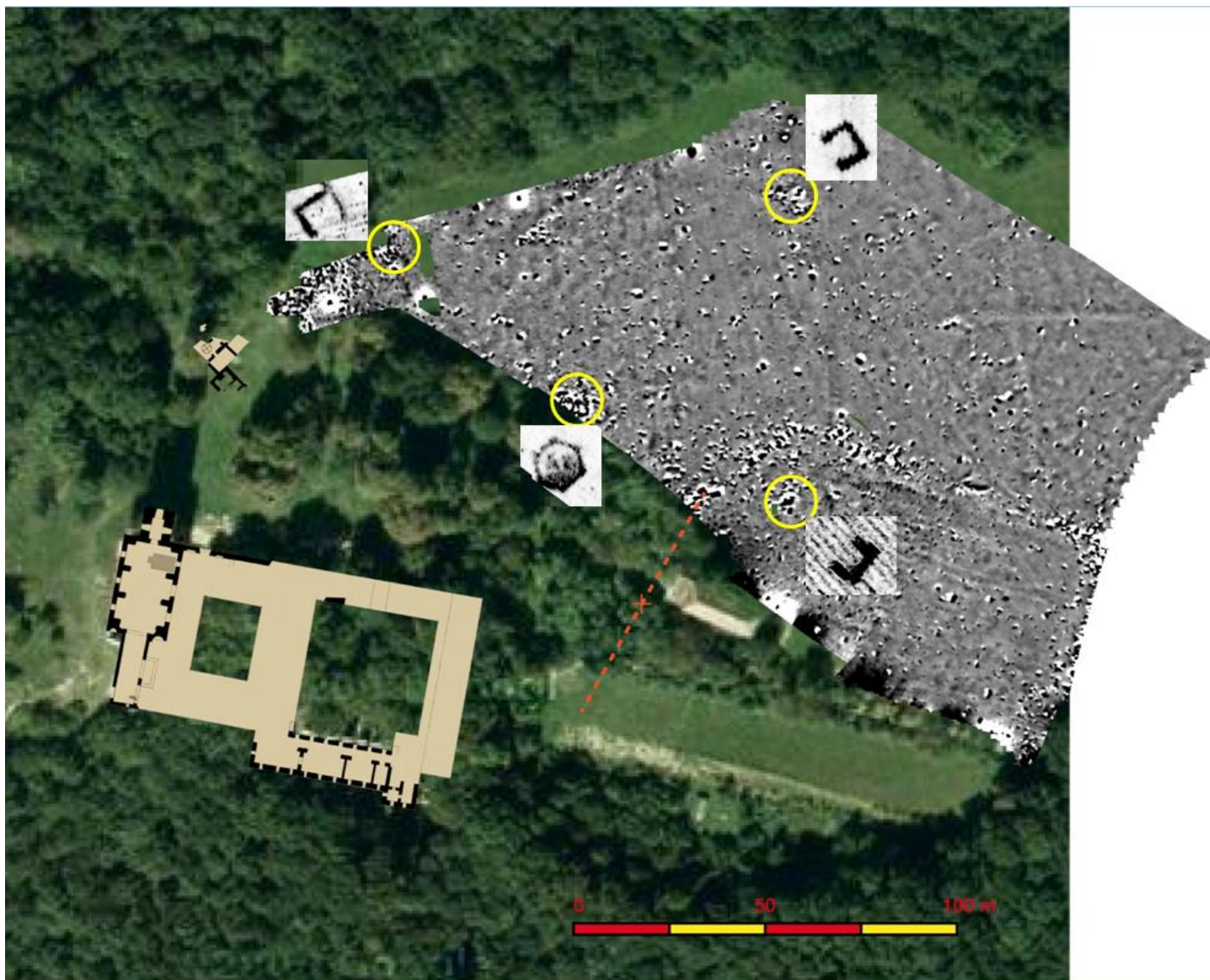
zistené náznaky existencie
základov budovy
(200 MHz anténa)



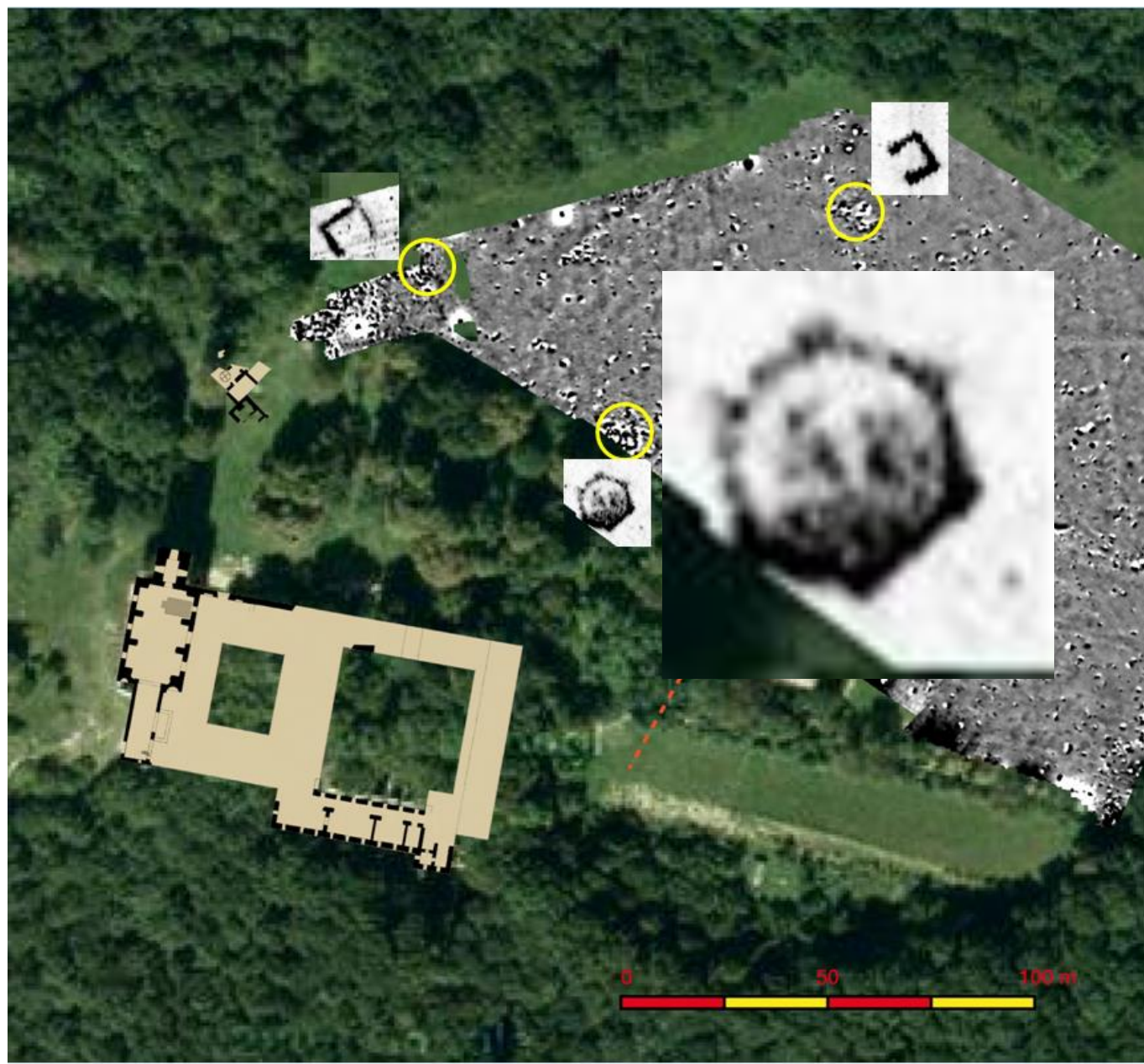
potvrdené použitím
400 MHz antény



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

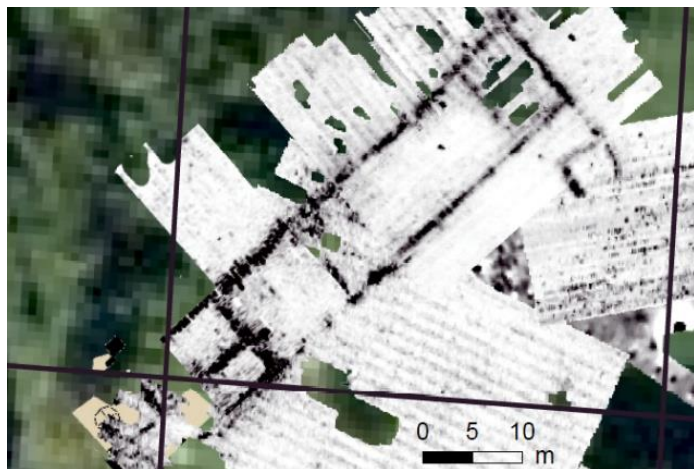


ukážka použitia magnetometrie a radaru pri detekcii zvyškov múrov

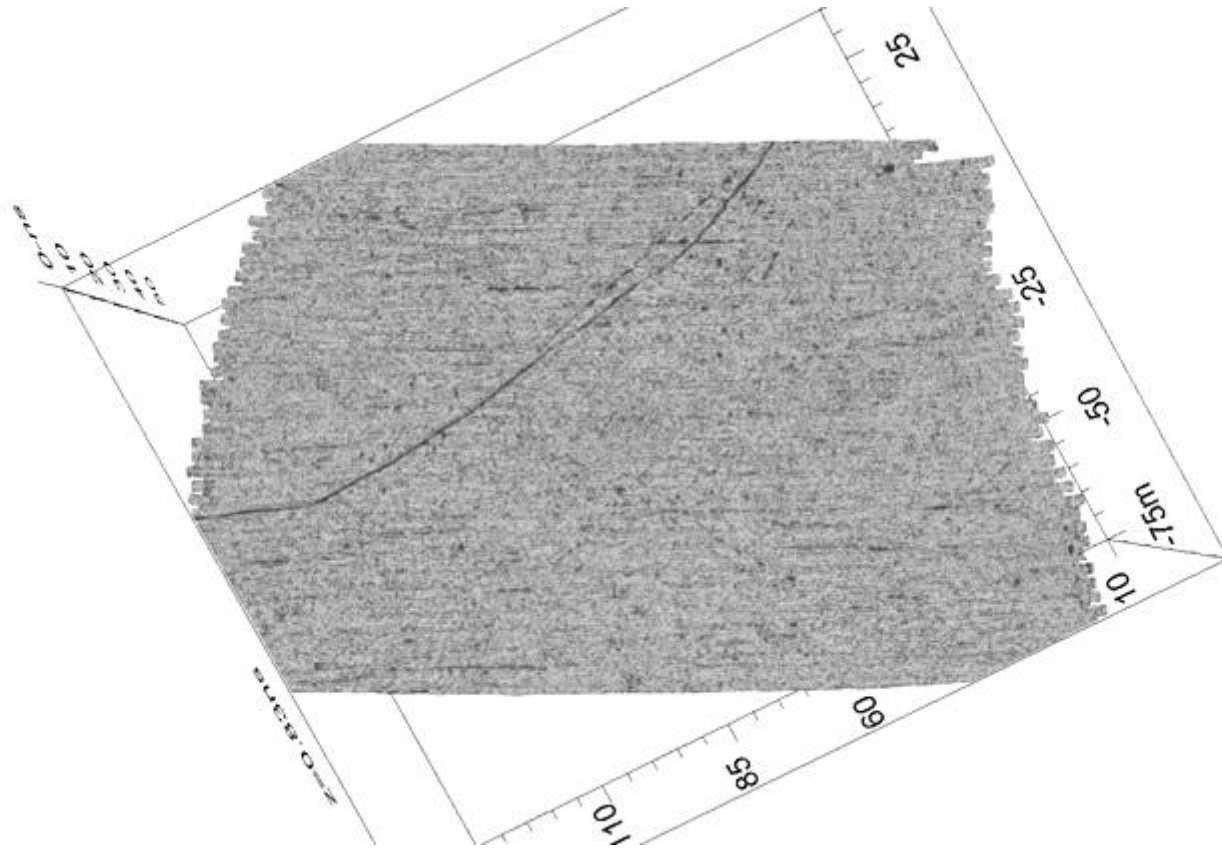


prejav
základov
6-
uholníkovej
kaplnky

GPR, v archeológii, Katarínka, Slovensko



... a základov
hospodárskej
budovy



georadarový prieskum „Spišský Štiavnik (východné Slovensko)“

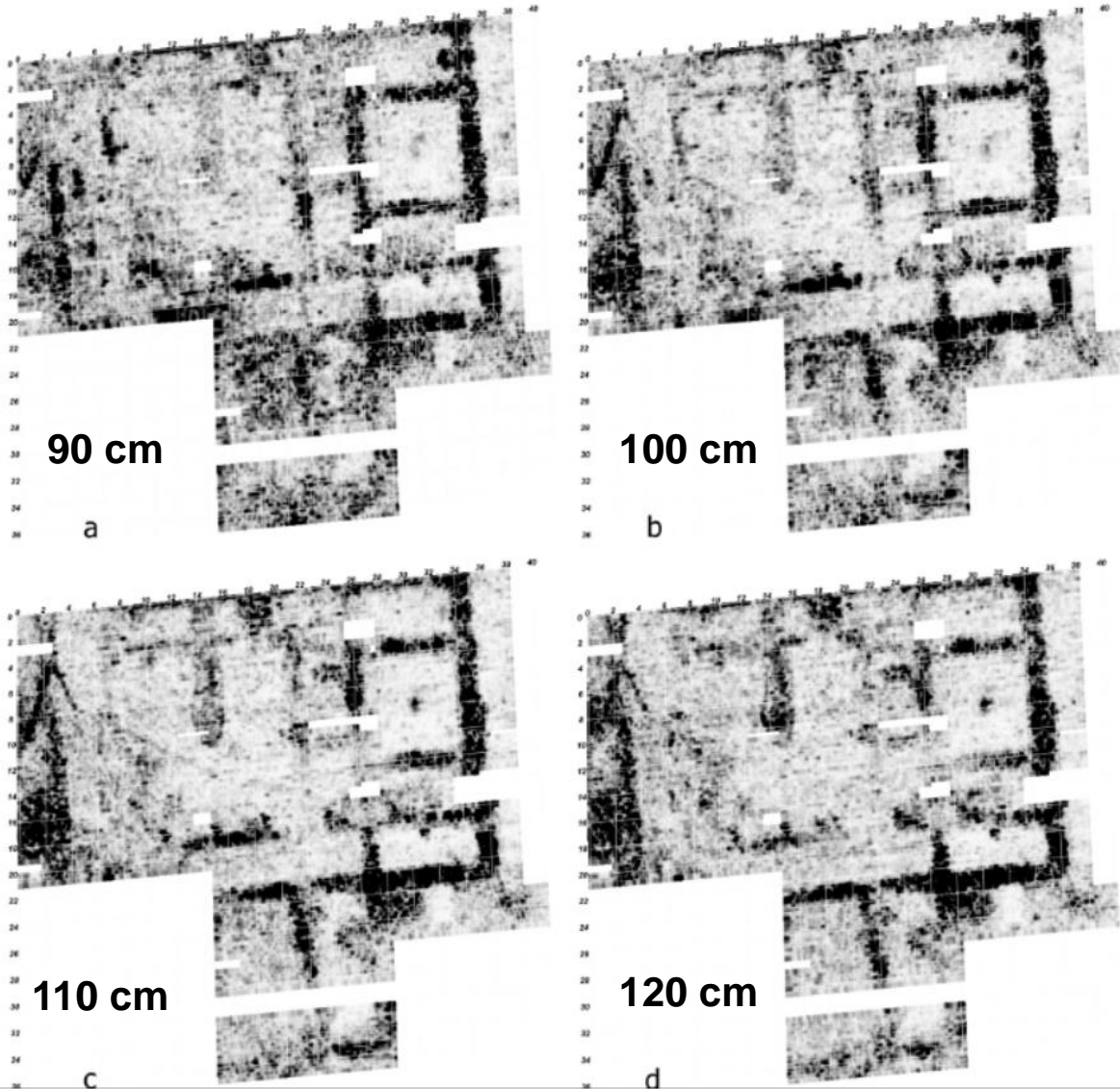
lokality: Spišský Štiavnik, základy cisterciackého kláštora



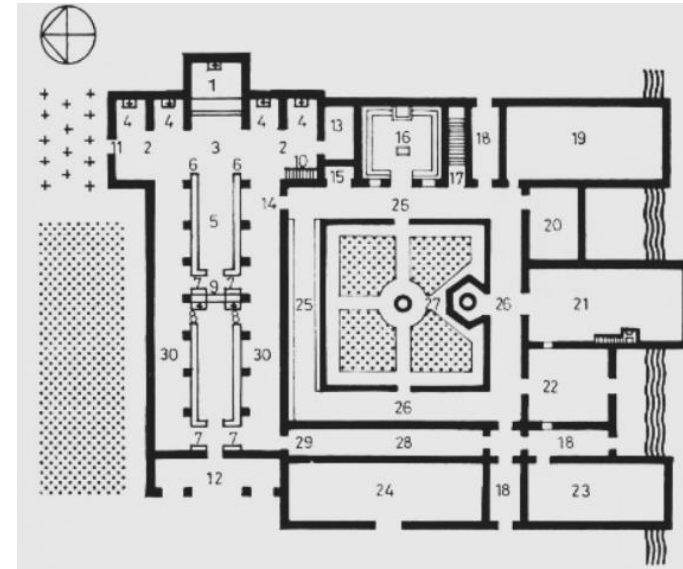
GPR – GSSI 400 MHz
magnetometria – Bartington Grad601 Dual

georadarový prieskum „Spišský Štiavnik (východné Slovensko)“

lokality: Spišský Štiavnik, základy cisterciackého kláštora



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

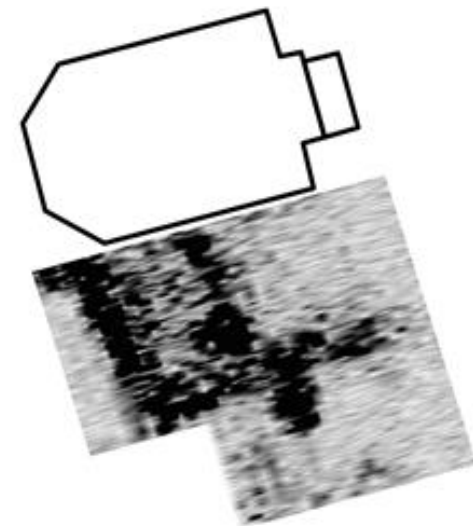


DISPOSITIO TYPICA MONASTERIORUM CISTERCIENSIVM

- | | |
|--------------------------|---|
| 1 sanctuarium | 17 scalae ad dormitorium |
| 2 navis transversalis | 18 transitus |
| 3 decussatio | 19 frateria |
| 4 capellae | 20 calefactorium |
| 5 navis centralis | 21 refectorium monachorum |
| 6 chorus monachorum | 22 culina |
| 7 chorus infirmorum | 23 refectorium conversorum |
| 8 chorus conversorum | 24 domus conversorum et cellarium |
| 9 paries medius | 25 claustrum sive ambitus collarionis vel lectionis |
| 10 scalae ad dormitorium | 26 claustrum sive ambitus |
| 11 porta mortuorum | 27 fontana seu lavabo |
| 12 narthex sive atrium | 28 vicus conversorum |
| 13 sacristia | 29 porta conversorum |
| 14 porta monachorum | 30 navis lateralis |
| 15 armarium | |
| 16 capitulum | |

pôdorys zachovalého cisterciackého kláštora (Poľsko)

georadarový prieskum okolia kaplnky sv. Anny, Vištuk



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

georadarový prieskum základného kameňa, budova YMCA Bratislava

GPR – GSSI 2000 MHz + MALA 2600 MHz

fotografia základného kameňa



fotografia základného kameňa



fotografia základného kameňa
(s umiestnením radargramu)

