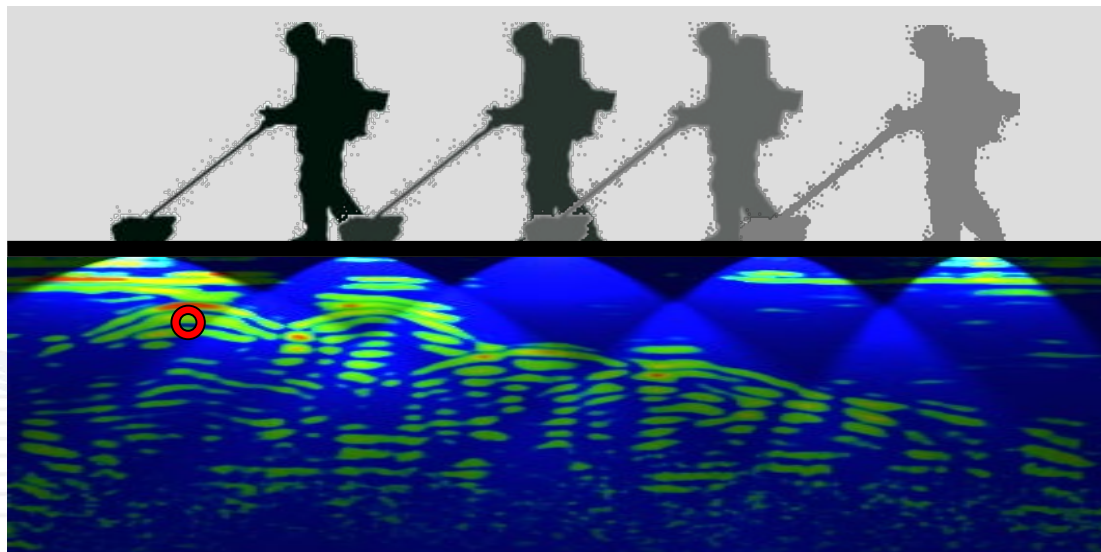


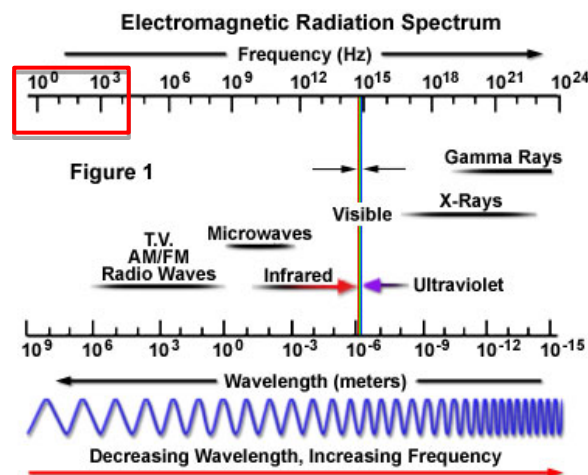
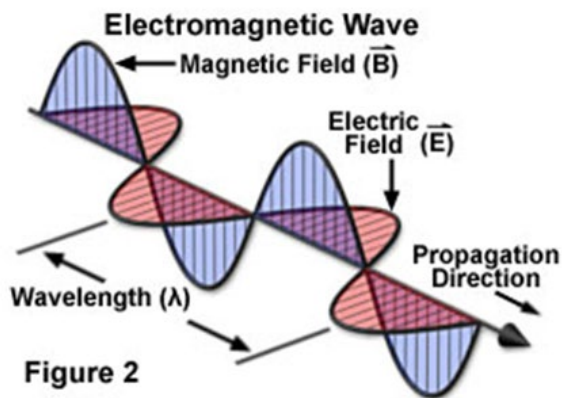
Georadarové systémy



GPR teória a radarová technika

- **G.P.R. (Ground Penetrating Radar) vie bez porušenia podložia preskúmať štruktúru prírodných alebo človekom vytvorených podzemných štruktúr pomocou rádiových vln.**
- **Zariadenie určuje hĺbku a štruktúru podzemných útvarov na základe rádiovej odrazivosti podložia. Radar určuje hĺbku na základe času, ktorý zaberie odrazenej vlny návrat do detktora. Samotný čas návratu závisí od rýchlosti šírenia svetla v podloží.**
- **Prieskum podložia pomocou G.P.R. je rýchlejší, lacnejší a šetrnejší v porovnaní s bežne používanými výkopovými prácami. Tieto vlastnosti predurčujú radar k využitiu pri:**
 - **Vyhľadávaní inžinierskych sietí**
 - **Archeologickom prieskume**
 - **Určovaní vlastností a integrity stavieb**
 - **Geologickom výskume**

- GPR využíva elektromagnetické vlny s vysokými frekvenciami (od 25 MHz do 2,000 MHz) na určenie štruktúry podložia.



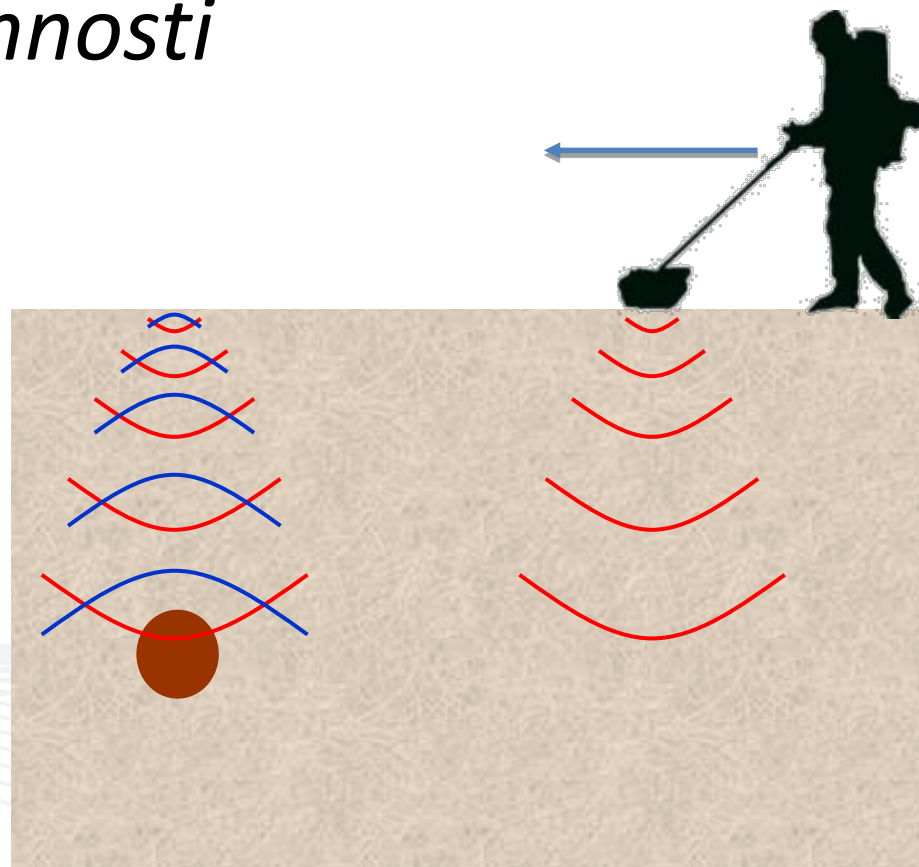
- ma
- vlnová dĺžka sa dá vypočítať z rýchlosti

pravouhle.

$$\lambda_{\text{meter}} = \frac{3 \times 10^8}{f_{\text{Hz}}} \quad \text{or} \quad f_{\text{Hz}} = \frac{3 \times 10^8}{\lambda_{\text{meter}}}$$

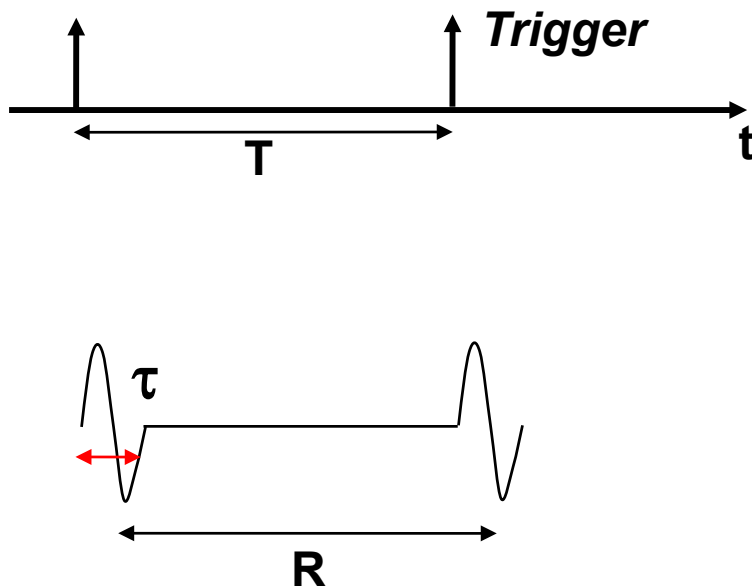
Princíp činnosti

- ✓ Malá anténa vysiela krátke pulzy elektromagnetických vln do podložia
- ✓ Vlny odrazené od porúch v podloží sú detegované prijímačom v zariadení
- ✓ Rozdiel časov medzi odoslanými a prijatými vlnami nesie informáciu o hĺbkach porúch v podloží
- ✓ Maximálna hĺbka závisí od výkonu a frekvencie vysielača a tiež od dielektrických vlastností podložia



GPR Definícia - pulzov

- Rádiový signál je vysielaný v krátkych pulzoch s harmonickým priebehom



- T : Perióda pulzov
- $PRF = 1/T$: Opakovacia frekvencia (GPR IDS = 400KHz)
- $R = (v T)/2$: Maximálna detegovateľná vzdialenosť medzi vysielateľom a objektom
- $\Delta R = (v \tau)/2$: Rozlíšenie v hĺbke
- τ : Dĺžka pulzu

Príklad:

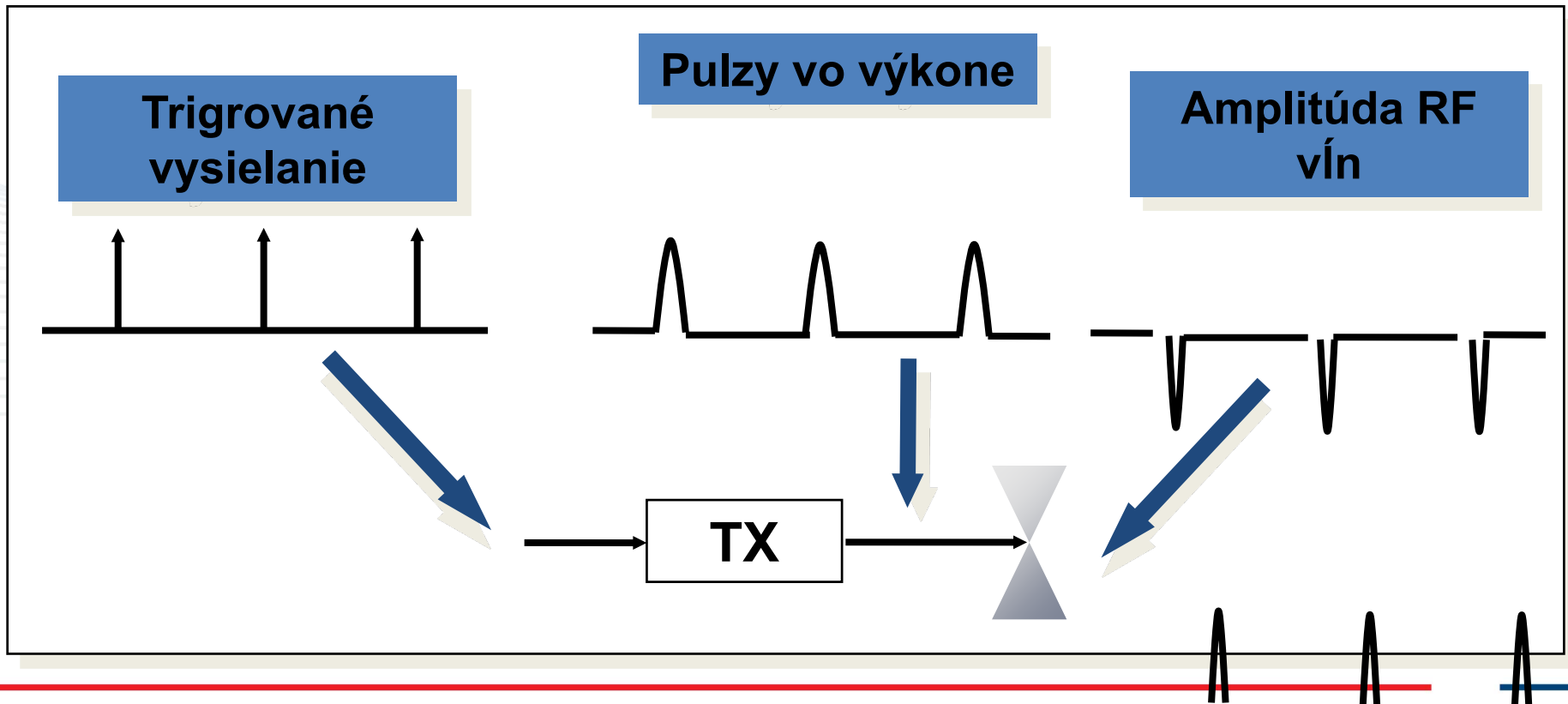
$$\tau = 1 \text{ nsec} \rightarrow$$

$$\Delta R = (10 \text{ cm/nsec} \times 1 \text{ nsec})/2 \rightarrow$$

$$\Delta R = 5 \text{ cm v bežnej pôde}$$

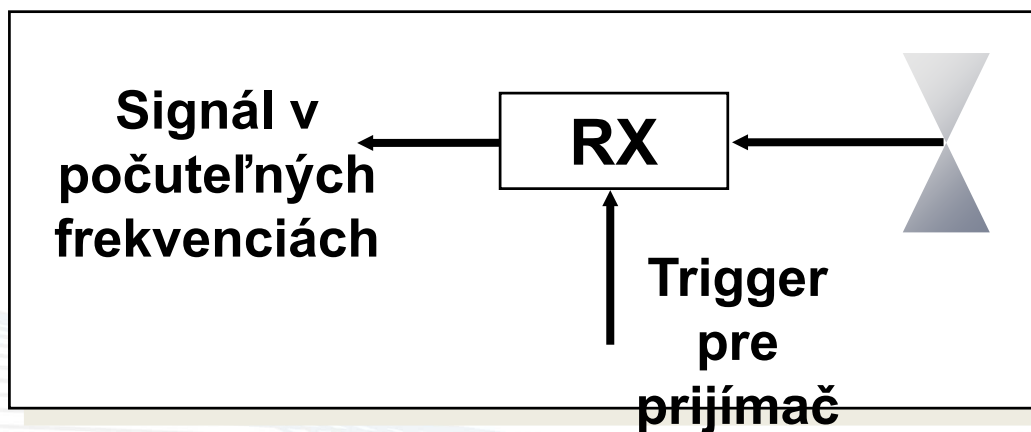
Vysielač

- Tvar antény umožňuje vysielať vlnové balíky obsahujúce jedinú harmonickú periódu

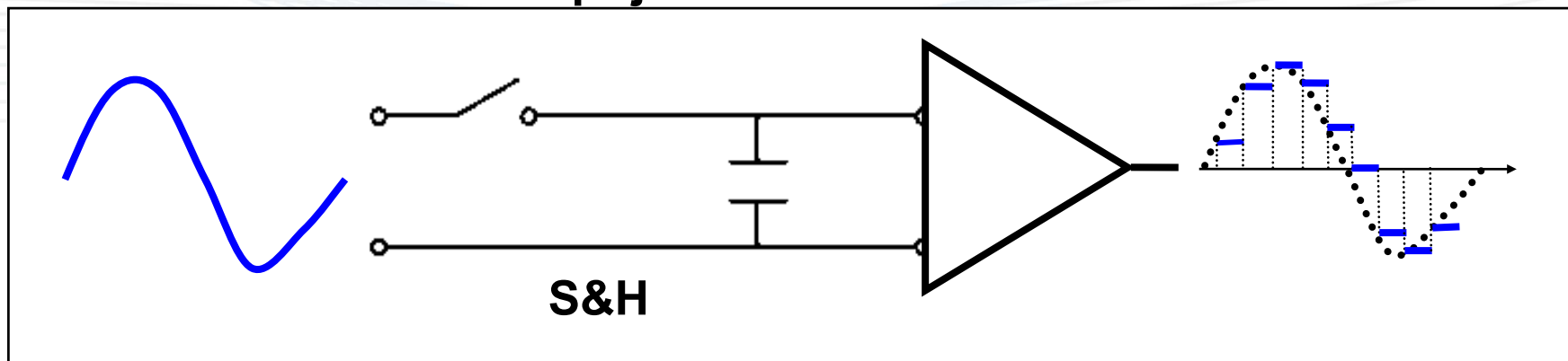


Prijímač

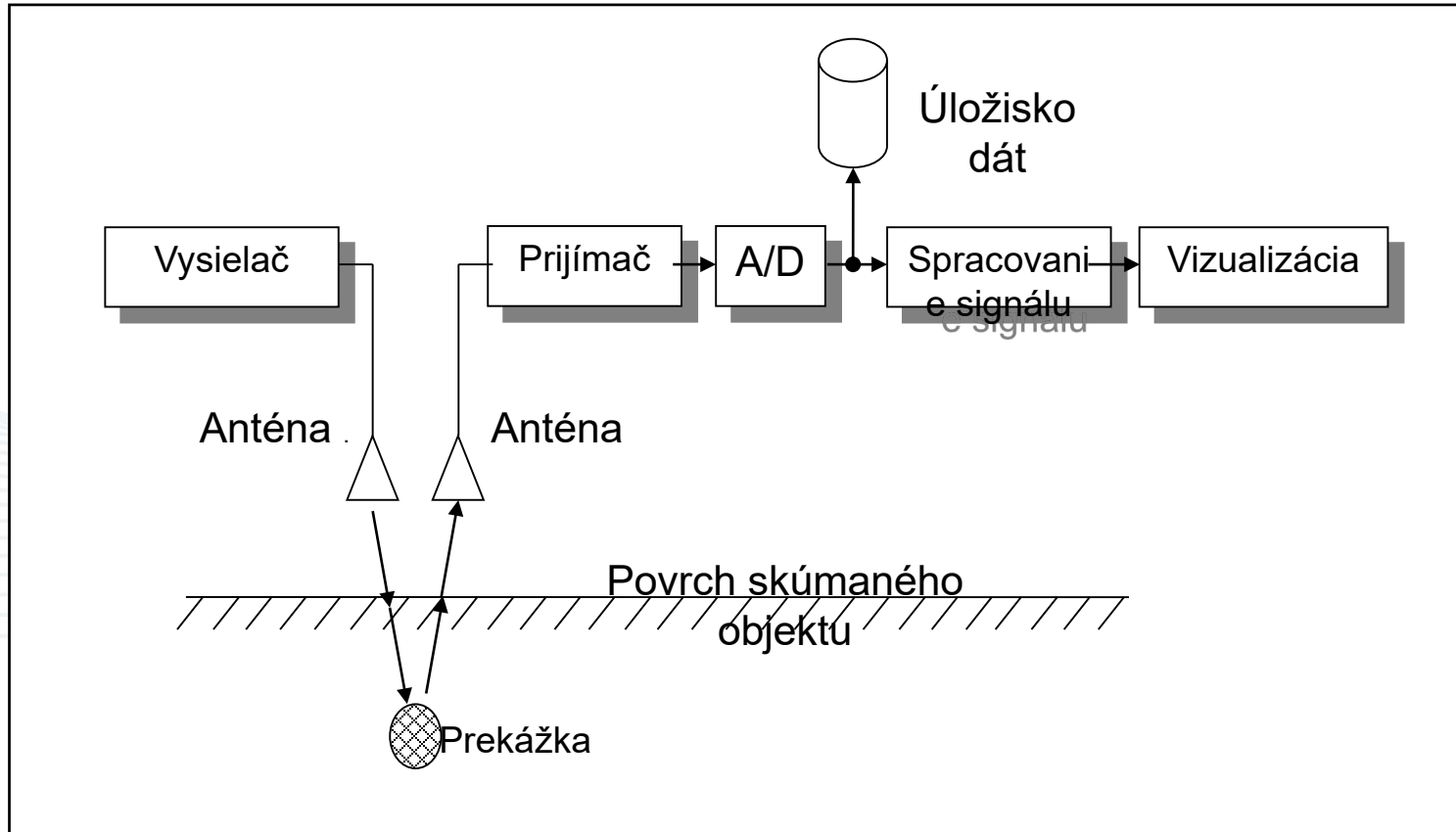
- Prijímač signál zosiluje a pomocou heterodyne ho transformuje z rádiových frekvencií na počuteľný rozsah



- S&H: samplovací obvod meria hodnotu signálu každú periódu plus malé zdržanie

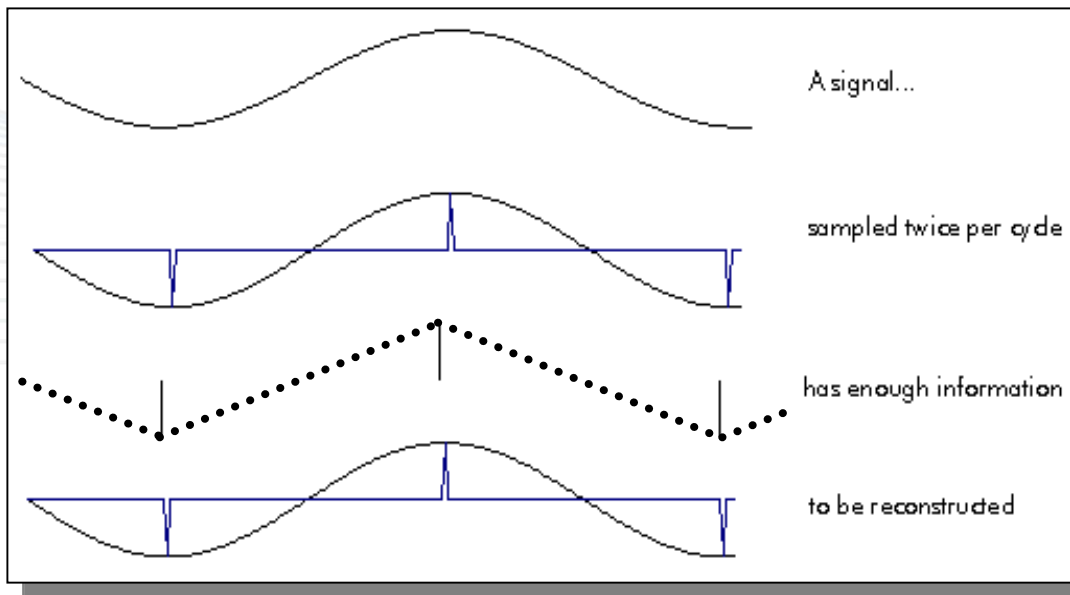


Sketch of GPR RIS



Princíp samplovania

- Prijatý signál je samplovaný pomocou digitálneho ovládača antény (DAD).
- Dá sa ukázať, že samplovacia frekvencia musí byť aspoň dvojnásobok signálnej frekvencie aby nedošlo k strate informácie

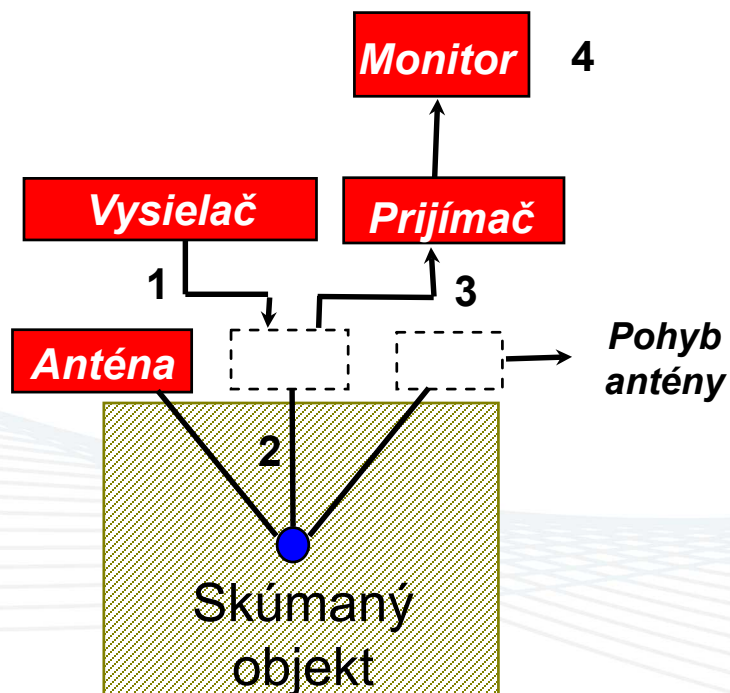


$$f_s > 2 f_{max}$$

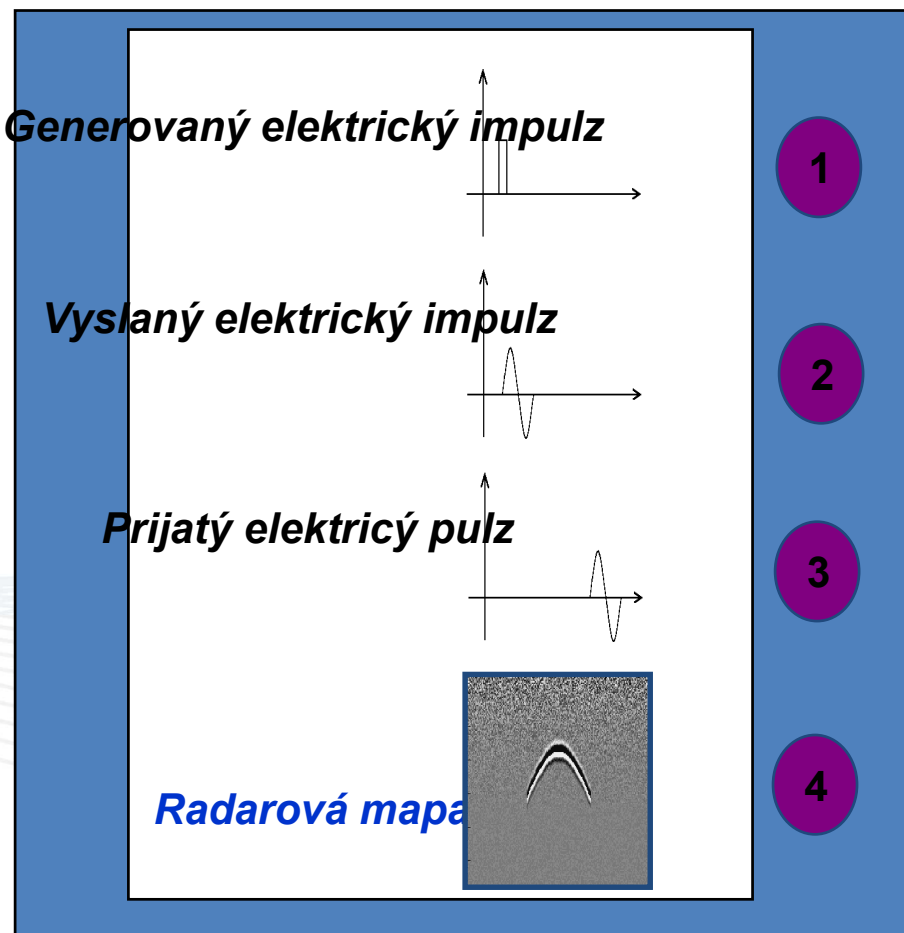
Transformácia signálu pre samplovanie

- Transformácia signálu je nevyhnutná kvôli samplovaniu.
- Transformácia signálu je v IDS G.P.R. zabezpečená pomocou trigrovaného obvodu pramo v prijímacej anténe, ktorý redukuje frekvenciu.
- Samplovanie zabezpečí transformáciu rádiového signálu (s frekvenciou ~MHz) na signál s frekvenciou niekoľkých kHz, pričom sa zachováva tvar signálu
- Výhodou G.P.R. je veľký rozsah frekvencií A/D prevodníka

Príprava mapy

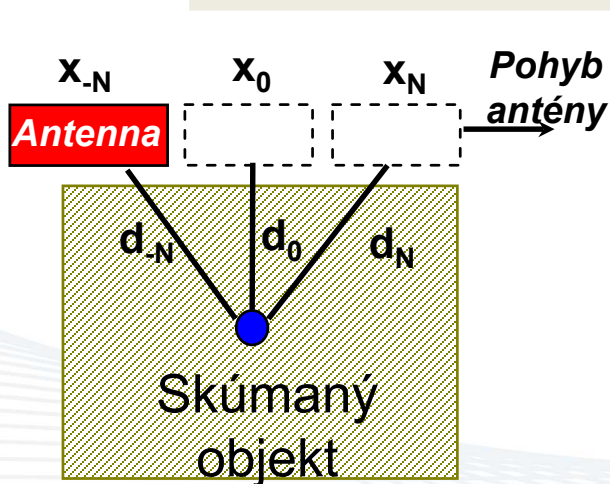


Náčrt funkcie

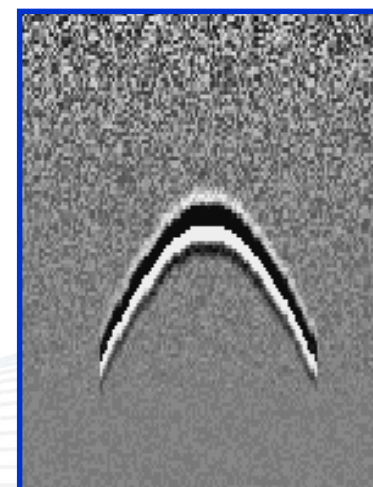
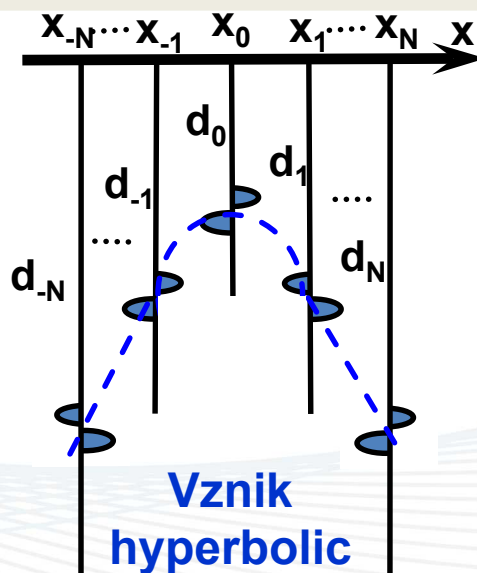


Príprava mapy

Zobrazenie skúmaného objektu je zdeformované



Získavanie



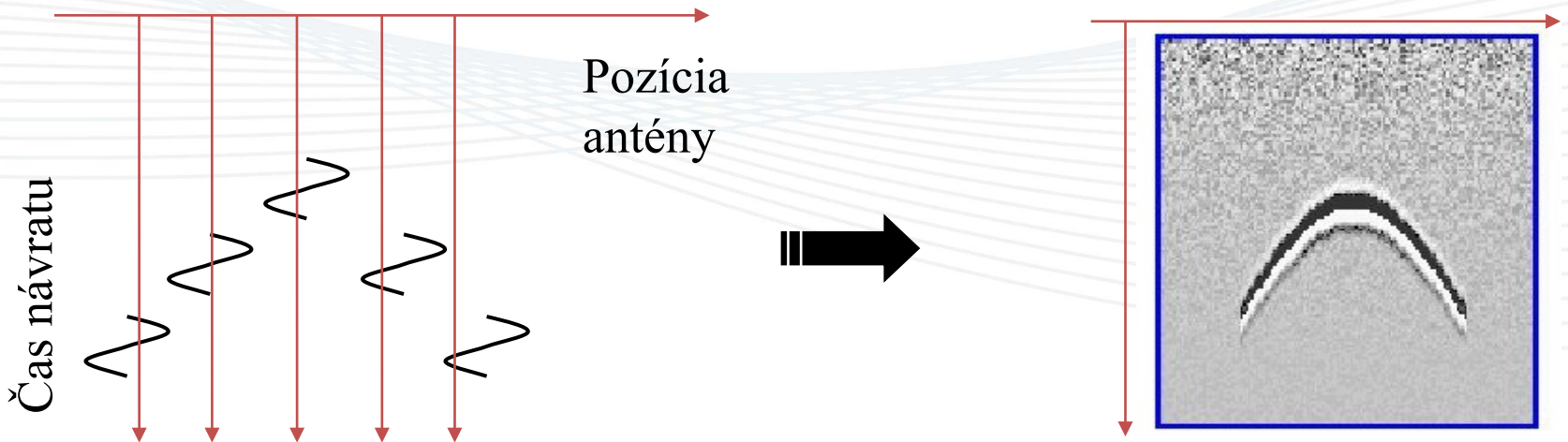
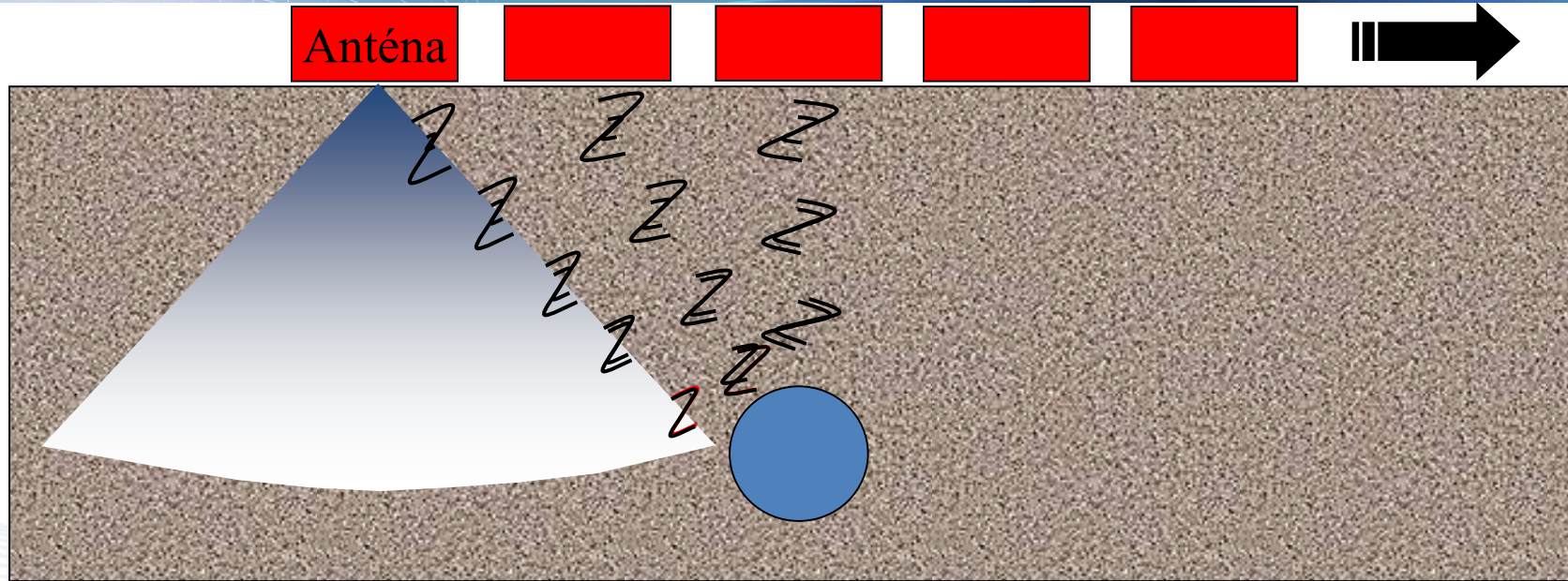
Radarová mapa

RADAR "vidí" objekt okolo najbližšieho bodu (d_0)

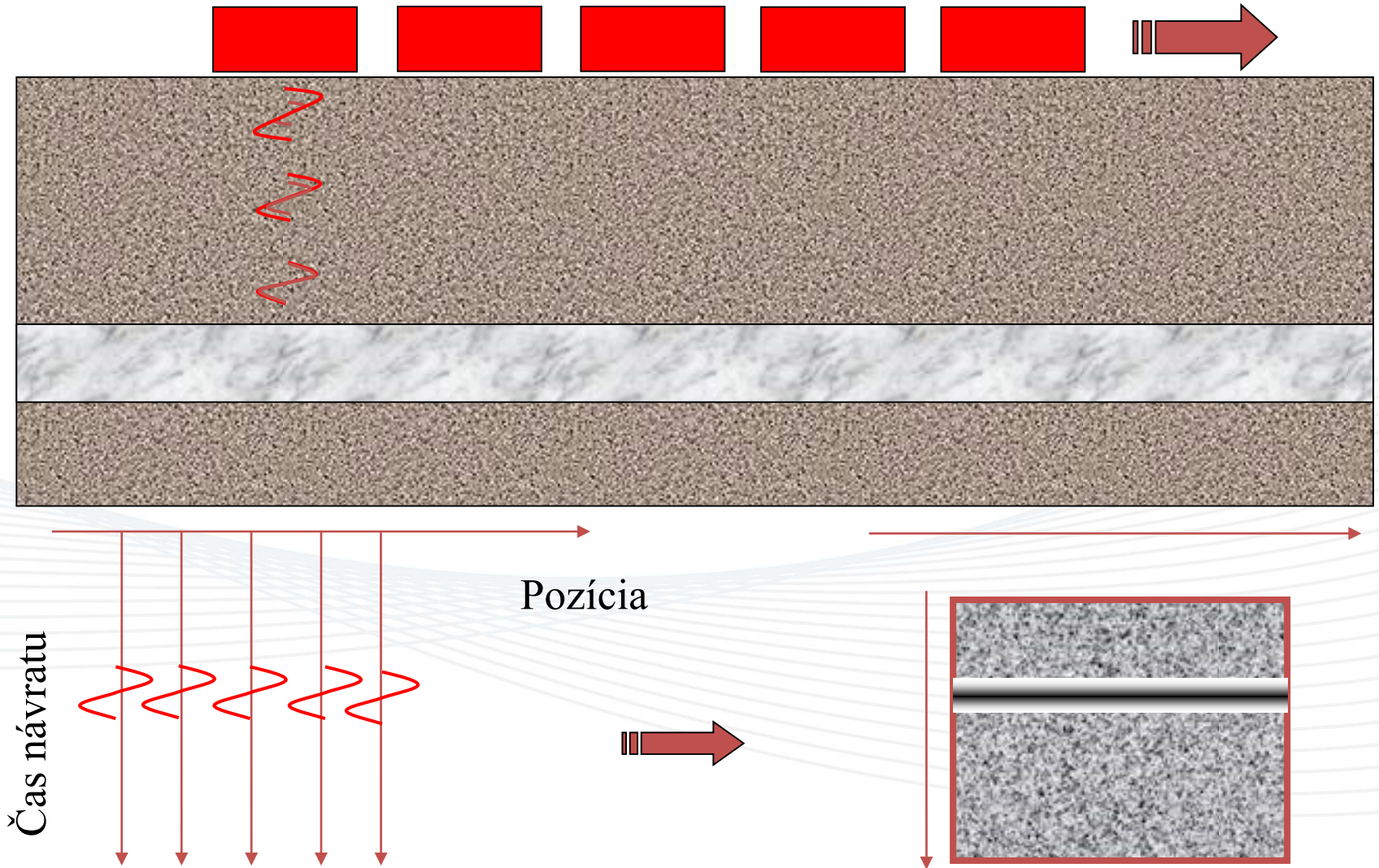
Objekt je detegovaný ak:

- leží vo vyžarovacjom kuželi antény
- pomer signálu a šumu je dostatočne vysoký

Princíp funkcie GPR – Príprava mapy



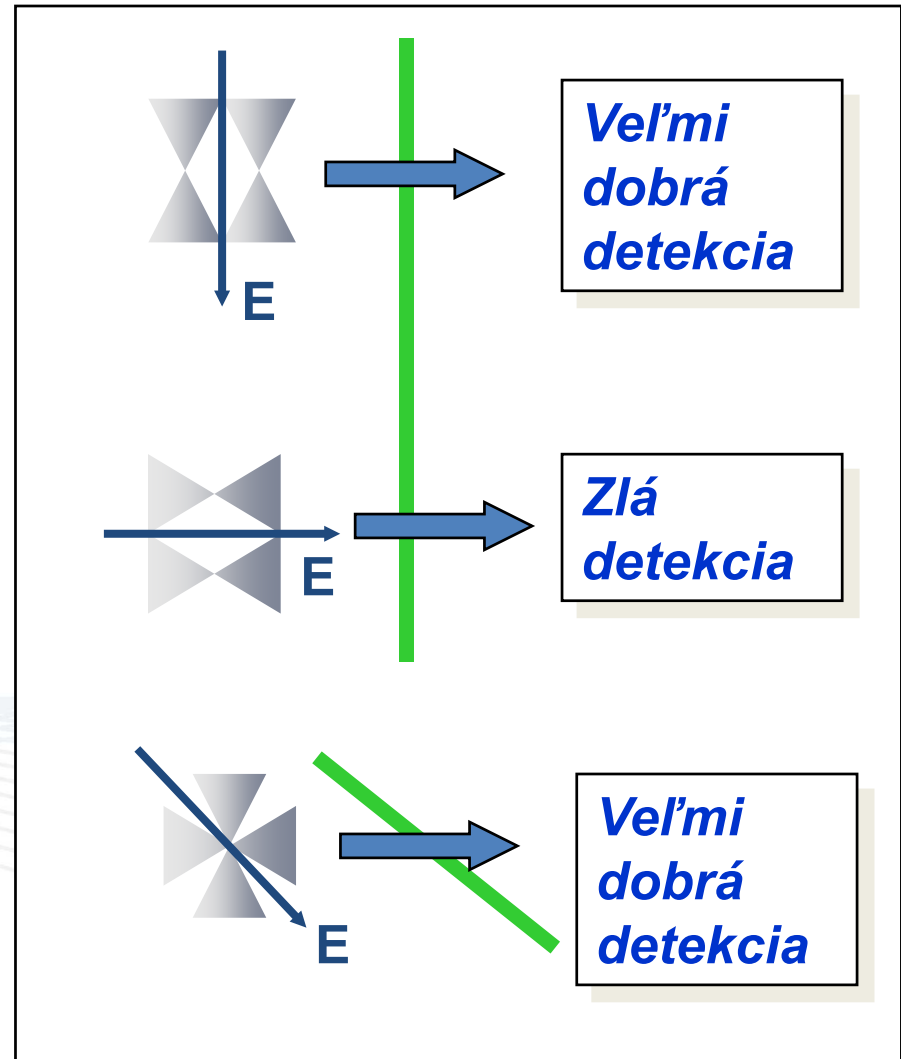
Princíp funkcie GPR – Príprava mapy



Vlastnosti antén

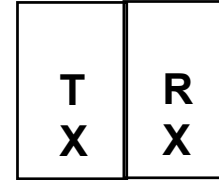
Polarizácia:

- Antény sú charakteristické polarizáciou, čo je smer vektora intenzity elektrického poľa
- Objekty sú detegované veľmi dobre ak je vektor intenzity elektrického poľa rovnobežný s ich povrchom
- Kopolárne antény vedia detegovať objekt, ktoré sú pravouhľe k smeru skenu
- Cross-polárne antény vedia lepšie detegovať objekty, ktoré zvierajú uhol 45° so smerom skenu



Charakteristiky antén

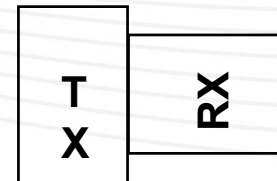
- Monostatický typ: tx-rx spojené a uložené v jednom púzdre



- Bistatický typ: tx-rx uložené v rôznych púzdrach



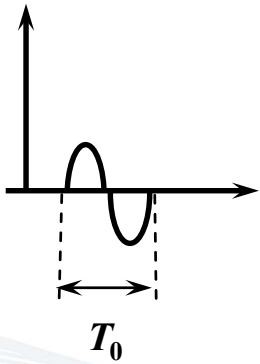
- Crosspolárny typ: tx-rx uložené v pravom uhle



Vysielaaná frekvencia a rozlíšenie v hĺbke

hypotéza

TX generuje a unikátny cyklus sínusoviek s frekvenciou stredú pásma



Dĺžka vyslaného pulzu

Frekvencia stredú pásma

$$f_0 = \frac{1}{T_0}$$

Vlnová dĺžka

$$\lambda = \frac{v}{f_0}$$

Hĺbka prieniku

Vyslaný rozsah

$$B = \frac{1}{T_0}$$

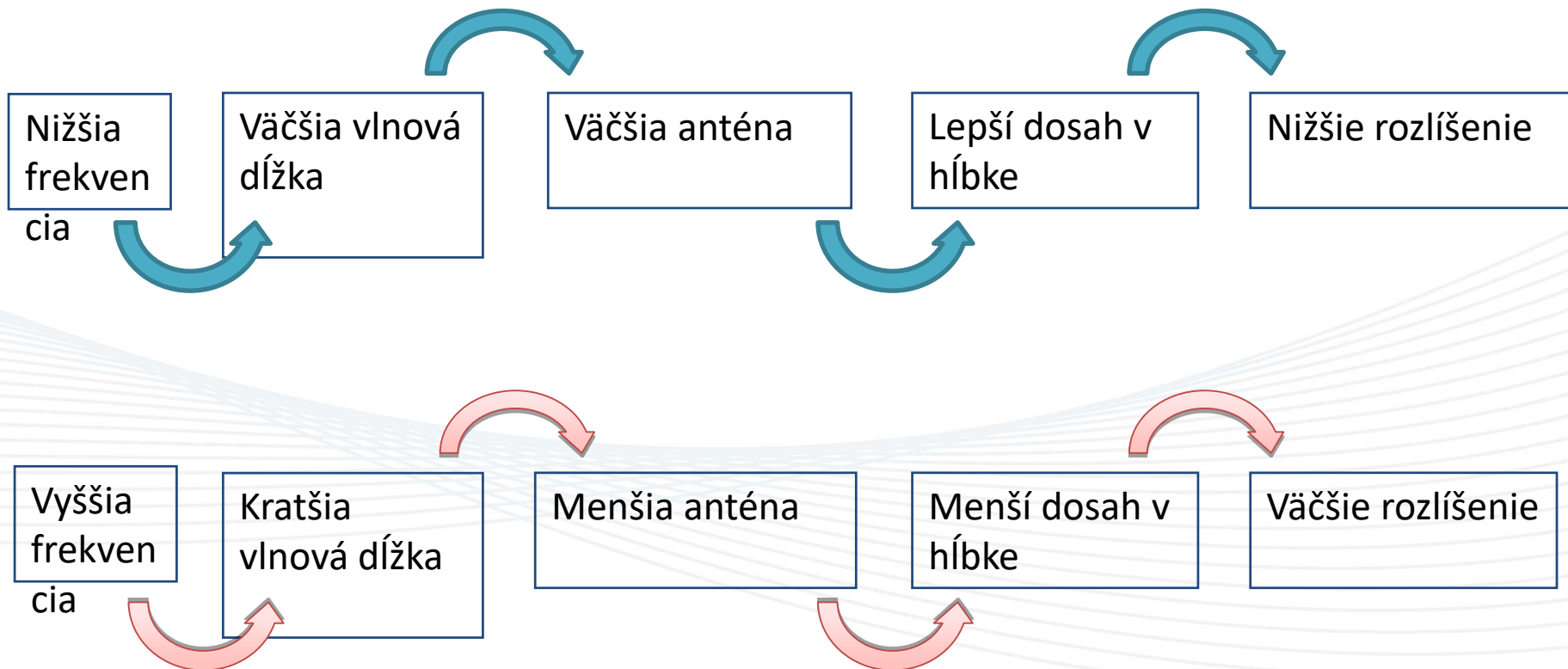
Rozlíšenie v hĺbke

$$r_{rg} = \frac{v}{2B}$$

Kvalita obrázku

Rýchlosť svetla v podloží

Fyzikálne vlastnosti antény



Kritické pásma detekcie potrubí

Kritická
hĺbka



Polomer rúry/vlnová dĺžka < 0.1

Rozmer pod ktorým dochádza k značnej strate radarového signálu

Frekvencia 200MHz



Polomer trubky =
5cm

Frekvencia 400MHz



Polomer trubky =
2.5cm

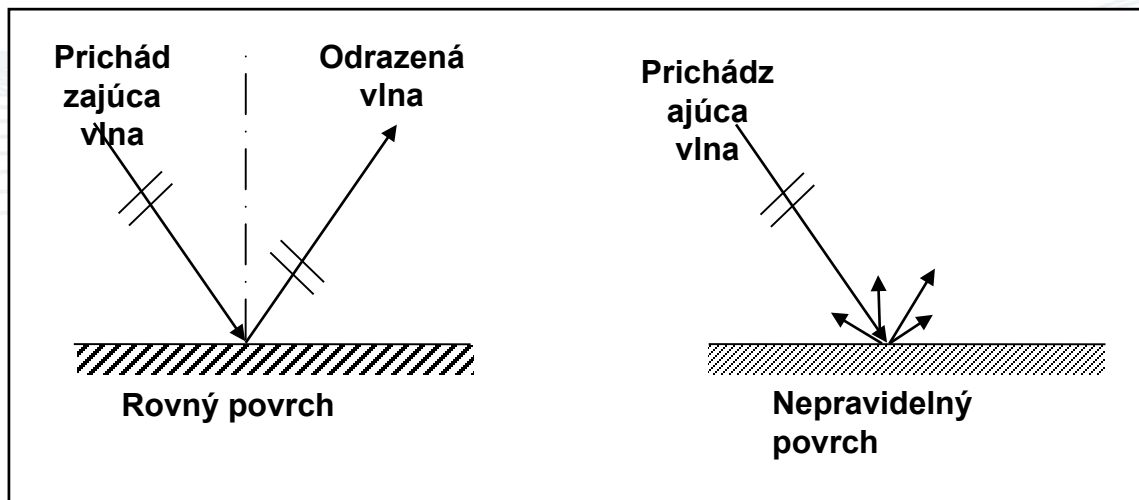
Frekvencia 600MHz



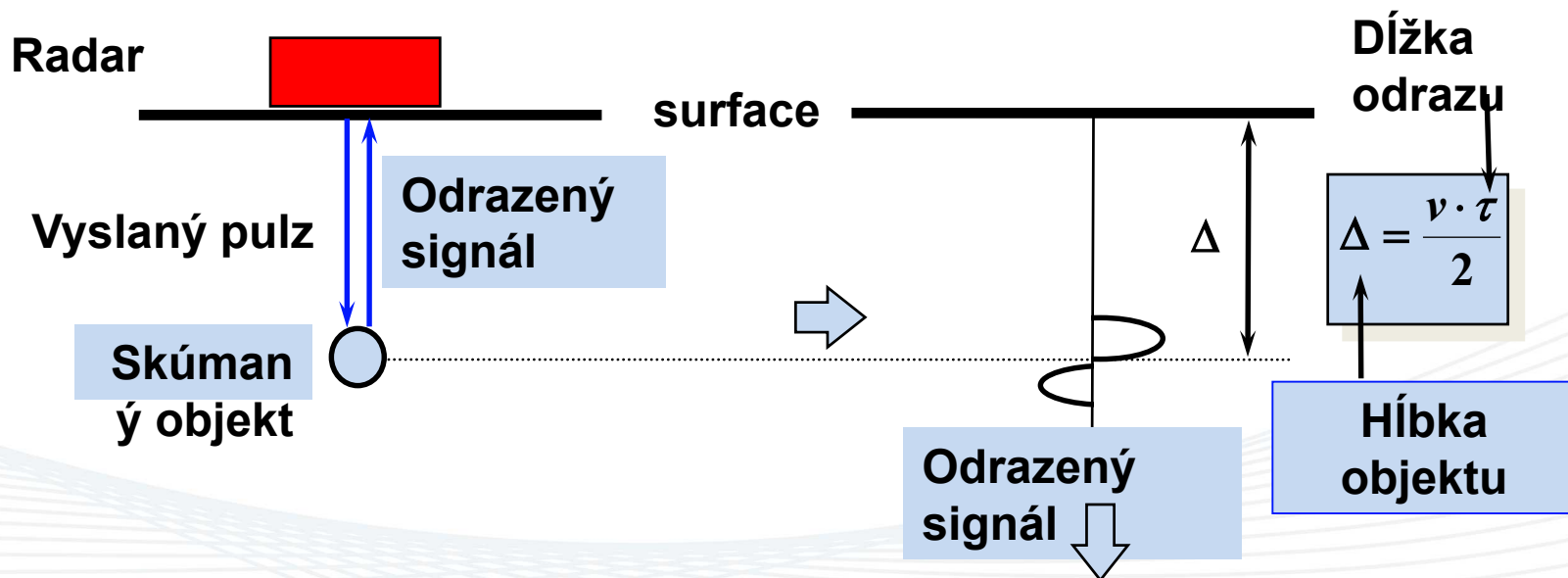
Polomer trubky =
1.25cm

Rozptyl radarových vln

- Odraz do všetkých smerov
- Nastáva pri nerovnomerných zmenách dielektrických vlastností podložia
- Rozptyl zťažuje detekciu objektov
- V praxi je rozptyl spôsobený poréznošťou materiálu a nepravidelnými tvarmi a rozmermi skúmaných objektov



Straty signálu kvôli rozptylu



Kvalita odrazu závisí od dielektrického kontrastu (Γ) medzi skúmaným objektom a pôdou

Tri elektrické parametre dôležité pre funkciu radaru

- **Elektrická vodivosť**

Schopnosť materiálu viesť elektrický prúd

- **Elektrický odpor**

Reciproky hodnota vodivosti. Určuje ako silno materiál bráni pretekaniu elektrického prúdu

Relatívna permitivita prostredia Veličina určujúca schopnosť materiálu ukladať náboj pri aplikovanom elektrickom potenciáli

Elektrická vodivosť

*siemens/meter (S/m) alebo
mho/m*

- ◆ Schopnosť materiálu viesť elektrický prúd
- ◆ Typické hodnoty medzi 4 a 10^{-9} S/m
- ◆ Reciproky vodivosť sa meria v ohm metroch
- ◆ Na vodivosť má najväčší vplyv obsah vody v pôde
- ◆ Vyššia vodivosť znižuje dosah radarového signálu
 - ❖ Vodivosti nad .01 S/m (merný odpor < 100 ohm metrov) sú náročné na použitie radaru

Všeobecné rozdelenie materiálov podľa vodivosti

- ◆ **Nízka vodivosť** – výborné radarové podmienky
(vodivosť $< 10^{-7}$ S/m)
 - ❖ vzduch
 - ❖ Suchý granit, suchý kameň
 - ❖ Betón, asfalt
- ◆ **Stredná vodivosť** – priemerné radarové podmienky
(10^{-7} vodivosť $< 10^{-2}$ S/m)
 - ❖ Sladká voda, ľad, sneh
 - ❖ piesok, íl, suchá hlina, bazalt, morský ľad
- ◆ **High conductivity** – zlé radarové podmienky
(vodivosť $> 10^{-7}$ S/m)
 - ❖ Mokrú hlina, mokrá bridlica
 - ❖ Morská voda

Hodnoty odporov bežných materiálov

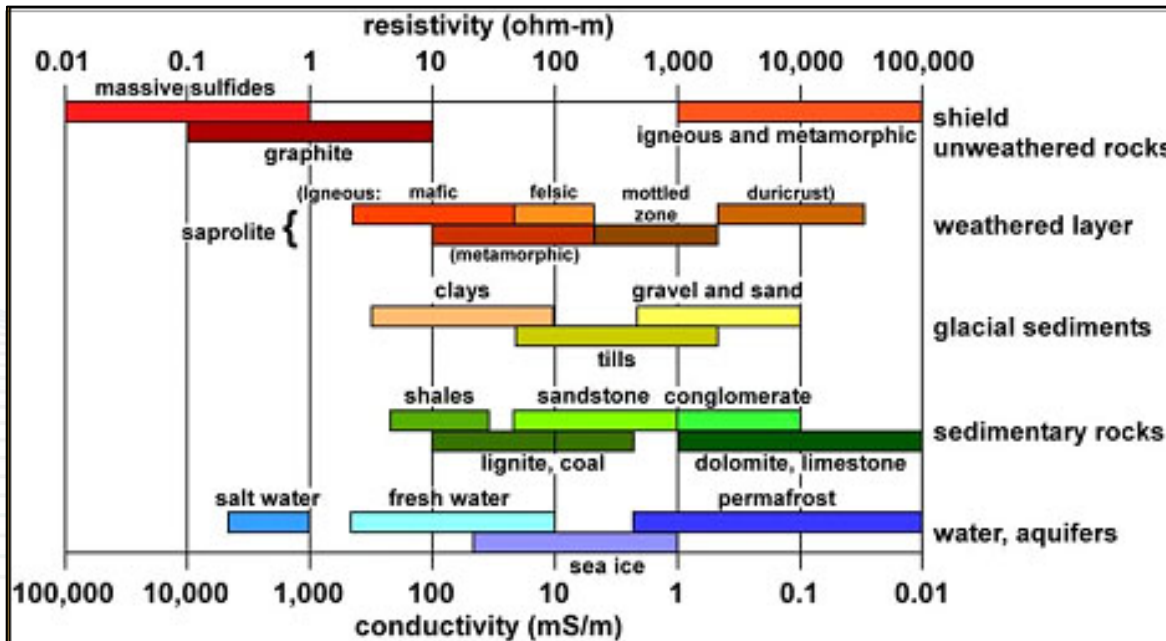


Figure 1.12. Typical ranges of electrical resistivity (ohm-m) or conductivity (mS/m) for selected Earth materials (Palacky 1988)..

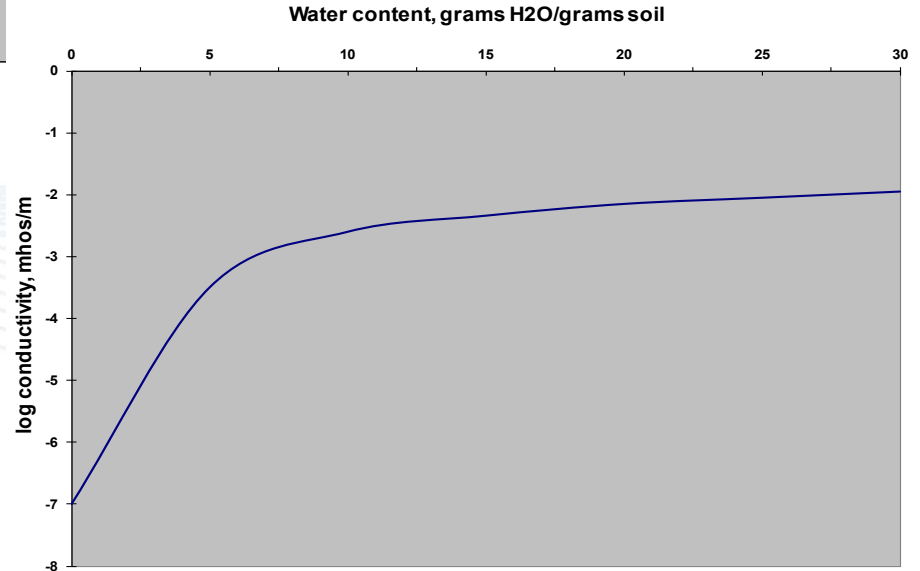
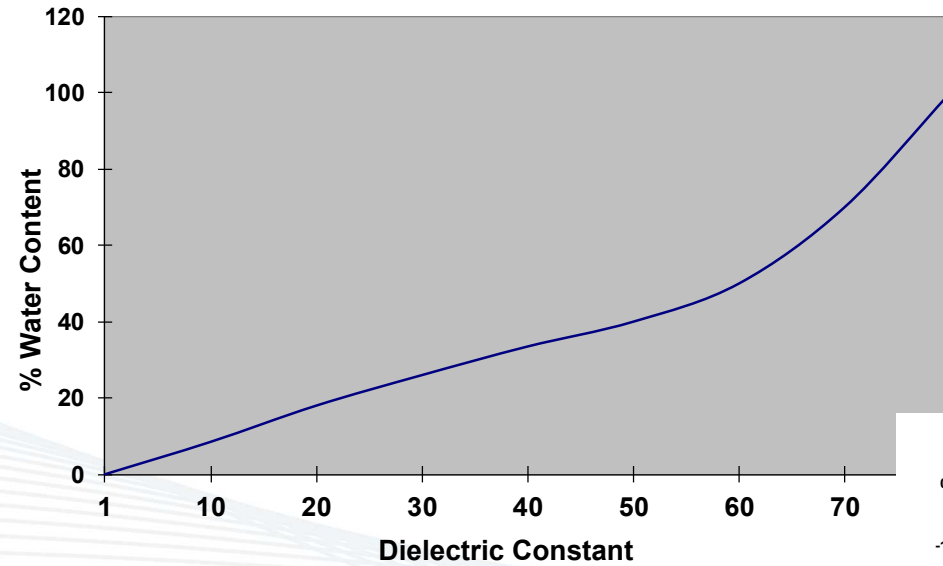
MATERIAL	σ mho/m	ϵ_r
Air	0	1
Pure Water	10^{-4} to $3 \cdot 10^{-2}$	81
Seawater	4	81
Freshwater Ice	10^{-3}	4
Granite (dry)	10^{-8}	5
Limestone (dry)	10^{-9}	7
Clay (saturated)	10^{-1} to 1	8 to 12
Firn Snow	10^{-6} to 10^{-5}	1.4
Sand (dry)	10^{-7} to 10^{-3}	4 to 6
Sand (saturated)	10^{-4} to 10^{-2}	30
Silt (saturated)	10^{-3} to 10^{-2}	10
Seawater Ice	10^{-2} to 10^{-1}	4 to 8
Basalt (wet)	10^{-2}	8
Granite (wet)	10^{-3}	7
Shale (wet)	10^{-1}	7
Sandstone (wet)	$4 \cdot 10^{-2}$	6
Limestone (wet)	$2.5 \cdot 10^{-2}$	8
Soil		
-Sandy Dry	$1.4 \cdot 10^{-4}$	2.6
-Sandy Wet	$6.9 \cdot 10^{-3}$	25
-Loamy Dry	$1.1 \cdot 10^{-4}$	2.5
-Loamy Wet	$2.1 \cdot 10^{-2}$	19
-Clayey Dry	$2.7 \cdot 10^{-4}$	2.4
-Clayey Wet	$5.0 \cdot 10^{-2}$	15
Permafrost	10^{-5} to 10^{-2}	4 to 8

Relatívna permitivita (Dielektrická konštanta, ϵ_r)

- ◆ Určuje schopnosť materiálu ukladať elektrický náboj pri aplikovanom potenciále
- ◆ Typický rozsah od 1 do 81 (1 = air, 81 = water);
- ◆ Hodnota v pôde je ovplyvnená hlavne obsahom vody
- ◆ Zmeny v permitivite spôsobujú spätný odraz radarového signálu, pričom amplitúda a čas odrazeného sa môže merať. Sila odrazu závisí od kontrastu v dielektrickej konštante
- ◆ Aj malé zmeny v dielektrickej konštante spôsobujú odraz radarových vln

MATERIAL	σ mho/m	ϵ_r
Air	0	1
Pure Water	10^{-4} to $3 \cdot 10^{-2}$	81
Seawater	4	81
Freshwater Ice	10^{-3}	4
Granite (dry)	10^{-8}	5
Limestone (dry)	10^{-9}	7
Clay (saturated)	10^{-1} to 1	8 to 12
Firn Snow	10^{-6} to 10^{-5}	1.4
Sand (dry)	10^{-7} to 10^{-3}	4 to 6
Sand (saturated)	10^{-4} to 10^{-2}	30
Silt (saturated)	10^{-3} to 10^{-2}	10
Seawater Ice	10^{-2} to 10^{-1}	4 to 8
Basalt (wet)	10^{-2}	8
Granite (wet)	10^{-3}	7
Shale (wet)	10^{-1}	7
Sandstone (wet)	$4 \cdot 10^{-2}$	6
Limestone (wet)	$2.5 \cdot 10^{-2}$	8
Soil		
-Sandy Dry	$1.4 \cdot 10^{-4}$	2.6
-Sandy Wet	$6.9 \cdot 10^{-3}$	25
-Loamy Dry	$1.1 \cdot 10^{-4}$	2.5
-Loamy Wet	$2.1 \cdot 10^{-2}$	19
-Clayey Dry	$2.7 \cdot 10^{-4}$	2.4
-Clayey Wet	$5.0 \cdot 10^{-2}$	15
Permafrost	10^{-5} to 10^{-2}	4 to 8
Pvc		3
Asphalt		3-5
Concrete		4-11 (5)

Vplyv koncentrácie vody



Závislosť rýchlosti svetla na dielektrickej konštante



Bežná pôda

$$v = 10^8 \text{ m / s}$$

(alebo 10cm/nsec)

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m / s}$$

Medium	ϵ_r	v (cm/nsec)
<i>Air</i>	1	30
<i>Water</i>	81	3
<i>Sand</i>	2.6 - 25	19 - 6
<i>Lime</i>	2.5 - 19	19 - 7
<i>Clay</i>	2.4 - 15	19 - 8
<i>Wet Basalt</i>	8	11
<i>Wet Granite</i>	7	11
<i>Wet Sandstone</i>	6	12
<i>Wet Limestone</i>	8	11

Závislosť rýchlosti svetla na dielektrickej konštante

Low Conductivity - Excellent Radar Conditions (Cond. $<10^{-7}$ S/m): air, dry granite, dry limestone, concrete, asphalt.

Mezzo	Costante dielettrica	Conducibilità [S/m]	Velocità di propagazione/ 10^8
Air	1		3,0000
Snow	1-2		0,0156
PVC (PolyVinyl Chloride)	3		1,7321
Asphalt	3-5		0,0156
Freshwater Ice	4		1,5000
Concrete	4-11 (5)		1,5000 - 0,90453 (1,3416)
Bedrock, Granite	4-7		0,0156
Sandstone	6		1,2247
Shale	5-15		0,0146
Dry limestone	4-8	Minore di 10^{-7}	0,0156
Basalt	8-9		0,0156
Soils And Sediments	4-30		0,0285
Fresh And Saltwater	81		0,3333

Rif. Bibl.: *D. J. Daniels*, Ground Penetrating Radar, The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 2005.

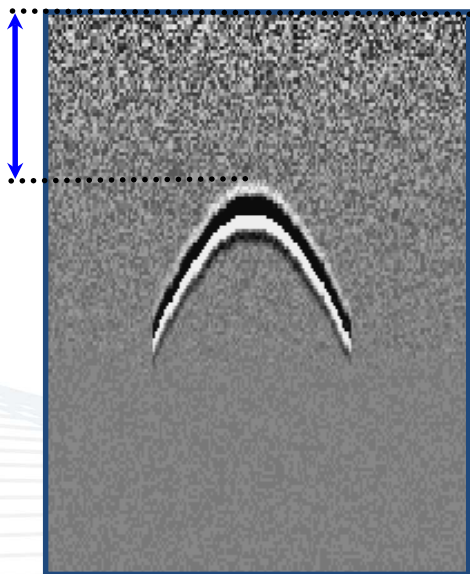
Príklad

Kalibrácia je potrebná na presné určovanie hĺbky

$$\Delta = \frac{v \cdot \tau}{2}$$

$\tau = 20 \text{ nsec}$

Čas
odozvy



Radarová
mapa

Bežná pôda : $\epsilon_r = 9 - 16$

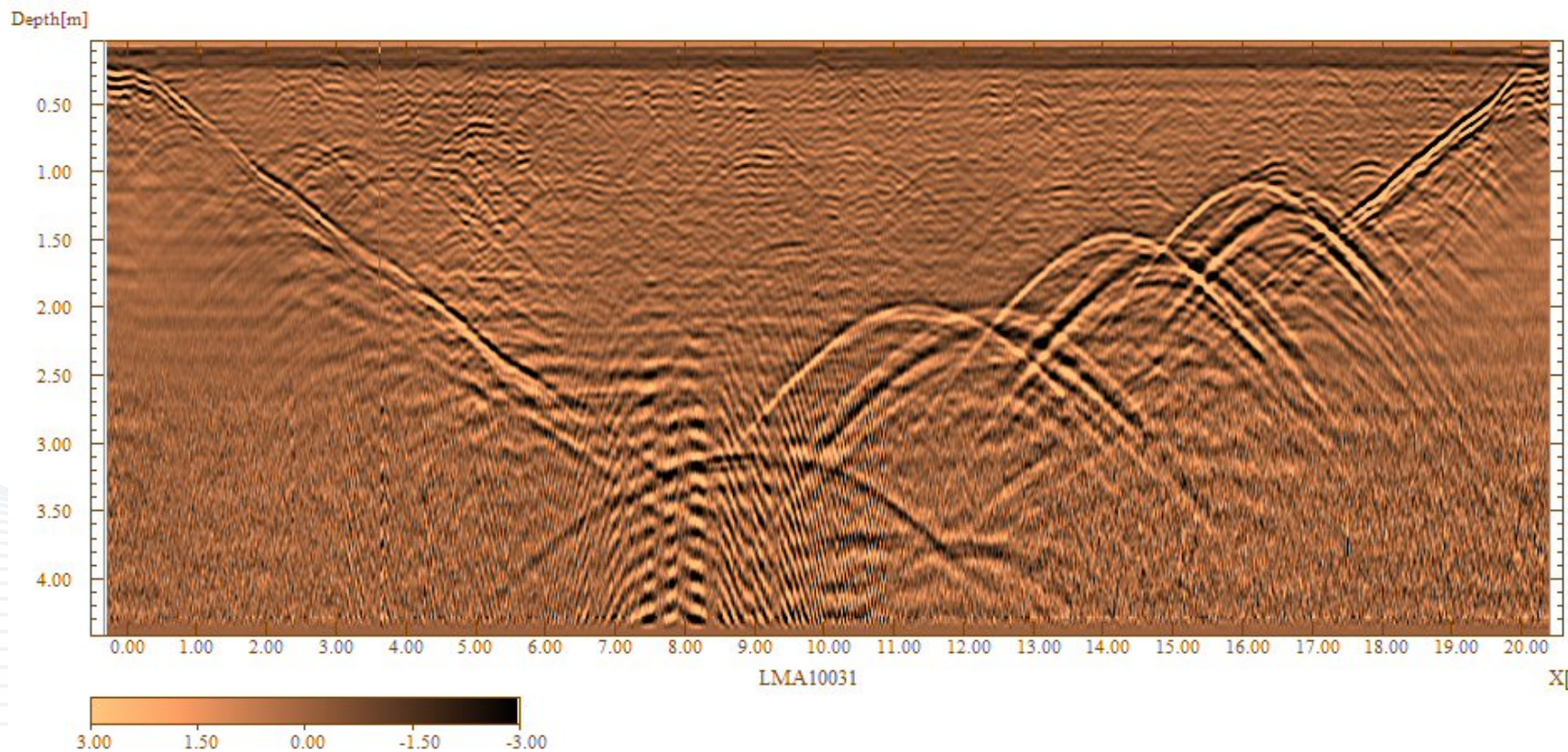
ϵ_r	$v \text{ (cm/nsec)}$	Depth (cm)
1 <i>(air)</i>	30	300
9 <i>(common dry soil)</i>	10	100
16 <i>(common wet soil)</i>	7.5	75
81 <i>(water)</i>	3.3	33



ak $\epsilon_r = 12$ (chyba je viac ako 10cm)

Rušenie radarového signálu

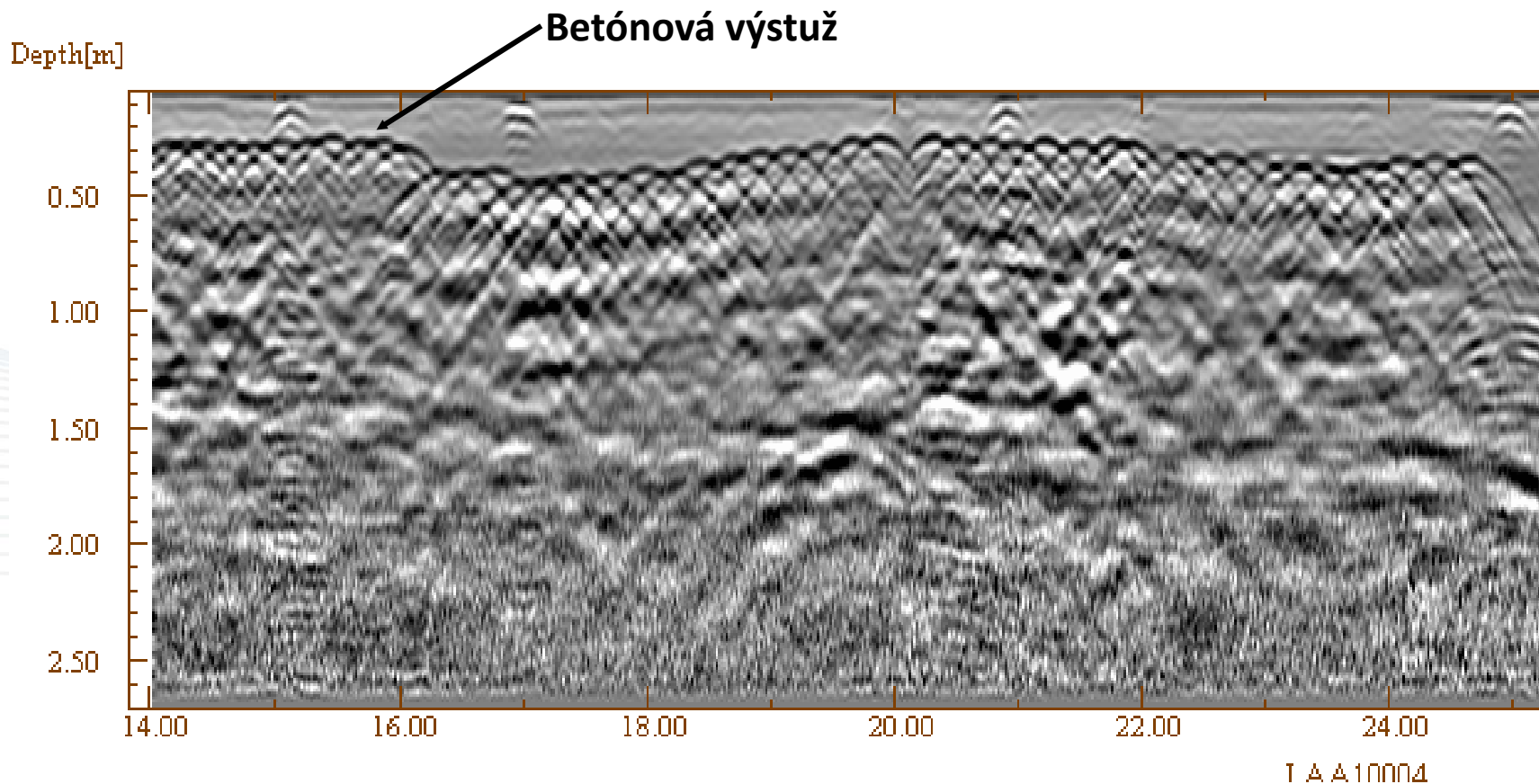
- Ďalším faktorom ovplyvňujúcim efektivitu GPR je rušenie
- Rušenie je spôsobené externými signálmi s podobnými vlastnosťami ako pri GPR
- Rušenie zťažuje interpretáciu radarových máp
- Príklady:
 - Kamene
 - Steny budov
 - Chodník
 - Maskovanie



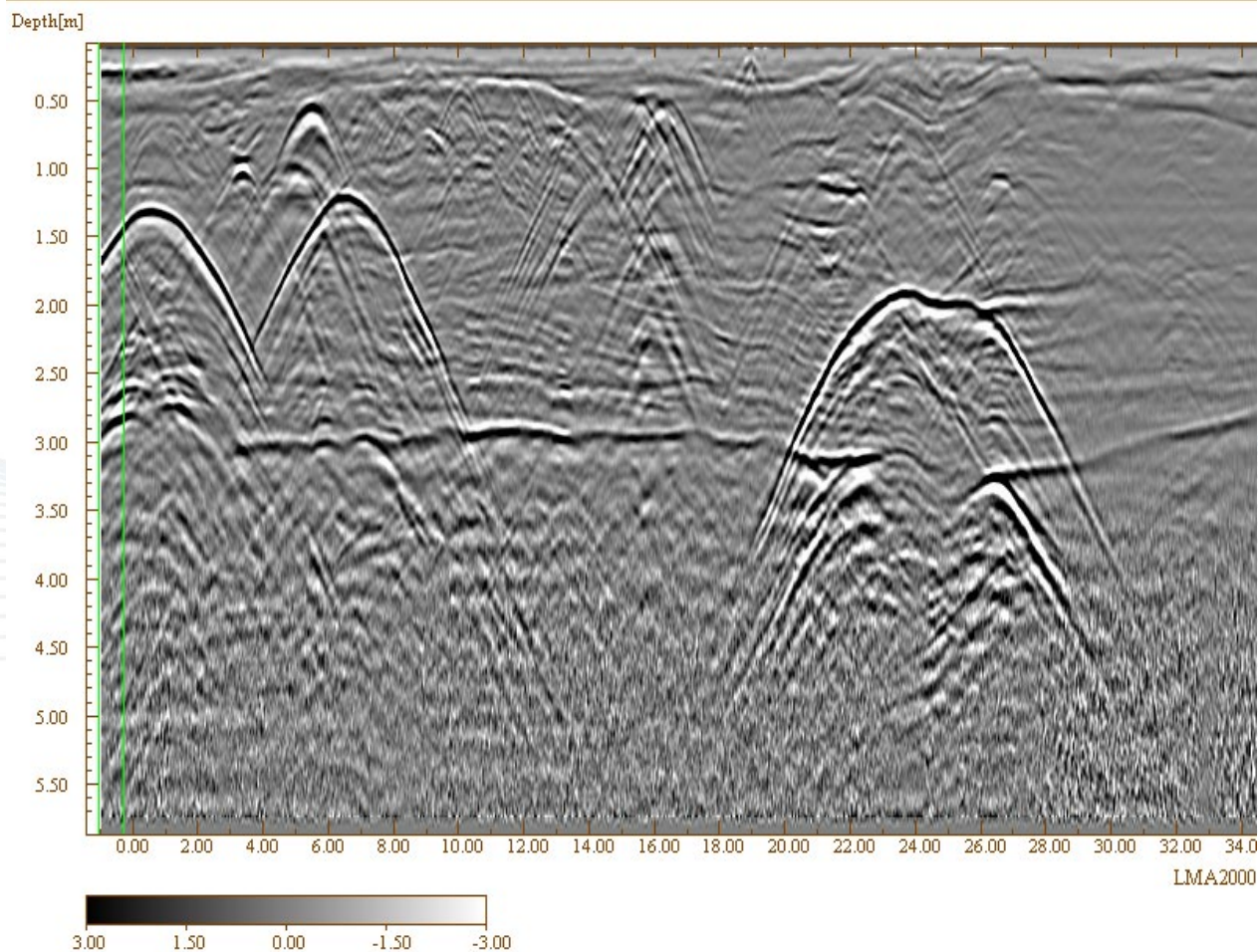
Amplitúda hyperboly je ovplyvnená:

1. Dielektrickou konštantou podložia (teda rýchlosťou šírenia vln)
2. Hĺbkou objektov

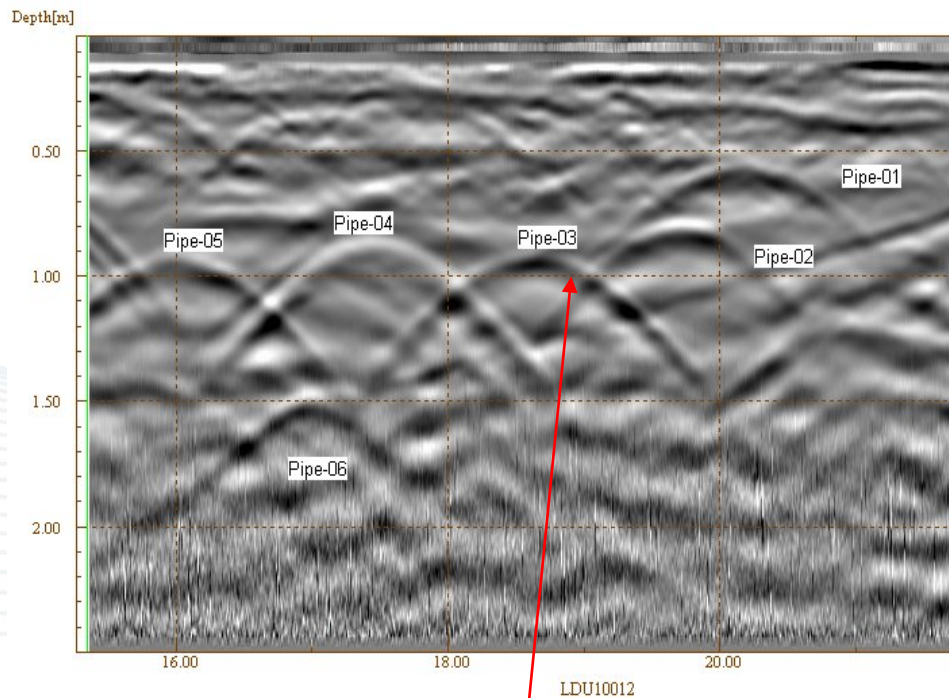
Zobrazenie vrstvy betónovej výstuže



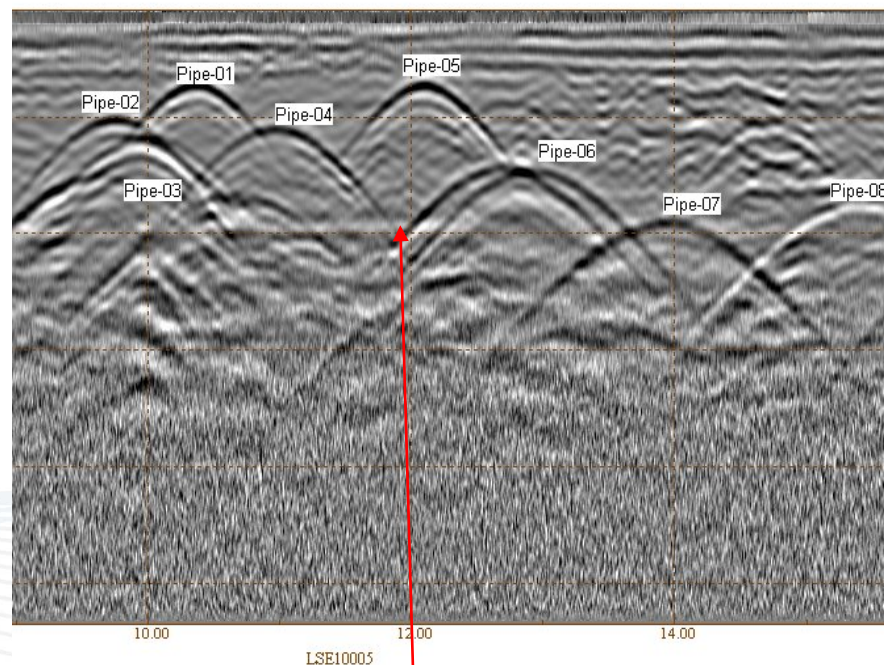
Rúry a geologické vrstvy



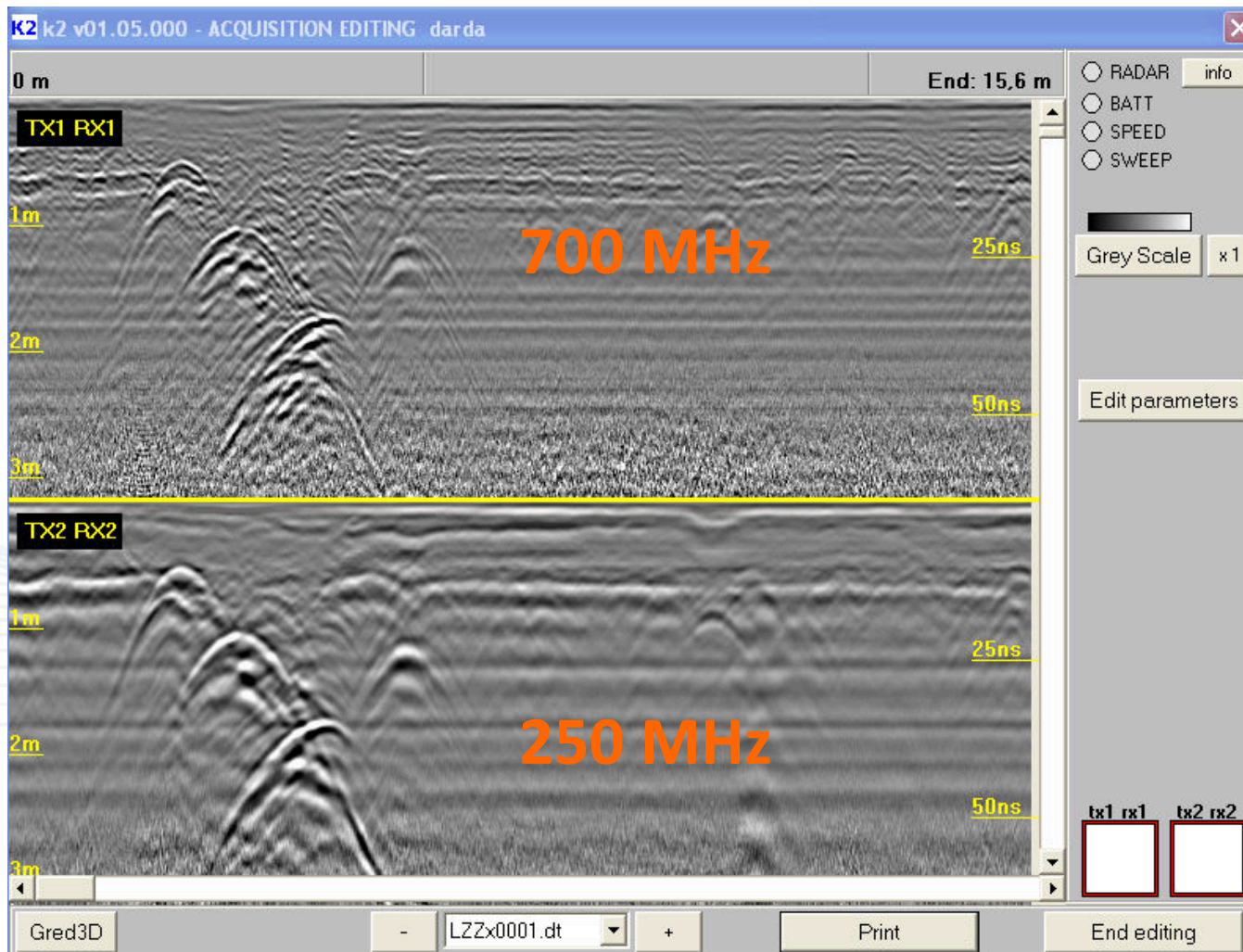
Typický rozdiel v rozlíšení



Nižšie frekvencie



Vyššie frekvencie



Výber farebných škál môže zlepšiť výsledky

