

# Prednáška 01: Elektromagnetické vlny a antény (EVA)

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.

([lubos.ovsenik@tuke.sk](mailto:lubos.ovsenik@tuke.sk), tel. 421 55 602 4336)

[https://data.kemt.fei.tuke.sk/EVaA\\_Elektromagneticke\\_vlny\\_a\\_anteny/\\_materialy/Cvicenia/, Prednasky/, Zadania/,...](https://data.kemt.fei.tuke.sk/EVaA_Elektromagneticke_vlny_a_anteny/_materialy/Cvicenia/,Prednasky/,Zadania/,...)

<http://los.fei.tuke.sk/>

## Obsah prednášky:

- zameranie predmetu, požiadavky na skúšku
- história
- typy antén

# Zameranie predmetu

## Všeobecné ciele výučby predmetu

- Šírenie elektromagnetických vln a základy teórie antén
- Vodičové antény
- Plošné antény
- Anténové sústavy

## Väzby na iné predmety

- Matematika I, II,
- Fyzika
- Elektronické prvky
- Elektronické meranie
- Teoretická elektrotechnika

# Literatúra

- OVSENÍK, L., TURÁN, J. Elektromagnetické vlny a antény (Vybrané kapitoly). Košice: TU, 1. vyd., 2017, 327 p.
- OVSENÍK, L., TURÁN, J. Elektromagnetické vlny a antény (Vybrané prednášky). Košice: TU, 1. vyd., 2017, 339 p.
- BALANIS, C, A.: Antenna Theory. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997 (2005, 3. vyd.)
- KRAUS, J. D.: Antennas. McGraw-Hill Book Company, New York, 1988.
- PETRÍK, S.: Antény a šírenie elektromagnetických vln. ALFA, Bratislava, 1990.
- PROKOP, J., VOKURKA, J.: Šíření elektromagnetických vln a antény. SNTL – ALFA, Praha, 1988.
- VÁVRA, Š.: Antény a šírenie elektromagnetických vln. SVŠT, Bratislava, 1982.
- VÁVRA, Š., TURÁN, J.: Antény a šírenie elektromagnetických vln. ALFA, Bratislava, 1989.

# Požiadavky

## Zápočet (0-40 bodov):

- Kontrolné testy (0-20b.; min.11b.); projekty (0-20b.;min. 10b.)
- (minimálny počet bodov na udelenie zápočtu je 21 )

## Skúška (0-60 bodov):

- písomný test
  - je nutné vedieť základy teórie šírenia elm vln a základné parametre, vlastnosti a typy antén a anténových sústav
- ústny pohovor z problematiky (ak bude)
  - antén, parametrov, typov
  - šírenia, parametrov elm vln

## Hodnotenie na skúške (0-100 bodov):

- Celkový počet bodov Z+S = 0-100 b., min. 51 b.

# Prednášky – osnova

- 1. Úvod: ciele predmetu, osnova predmetu, formy výučby, hodnotenie, špecifické ciele predmetu, história ELM vlnenia, bakalárske práce!!!
- 2. Šírenie ELM vln: zložky ELM vln, polarizácia ELM vln, frekvenčné pásma, spôsoby šírenia, šírenie ELM vln v rôznom prostredí, šírenie rádiových vln rôznych frekvencií
- 3. Šírenie priestorových ELM vln: elektrické vlastnosti zemského povrchu, šírenie ELM vln nad rôznym zemským povrchom, prekážky šírenia ELM vln;  
1. teoretický kontrolný priebežný test !!! z 1. a 2. prednášky, 5 otázok (možnosť získania 0 až 5 bodov)
- 4. Šírenie ionosférických a troposférických ELM vln: vlastnosti ionosféry, vlastnosti troposféry, šírenie ELM vln
- 5. Vysokofrekvenčné vedenie: pojmy, vlastnosti vedení, zaťaženie vysokofrekvenčného vedenia
- 6. Antény: úvod, delenie antén, parametre antén  
2. teoretický kontrolný priebežný test !!! z 3. až 5. prednášky, 5 otázok (možnosť získania 0 až 5 bodov)

- 7. Základy teórie antén: vyžarovanie ELM vlnenia z rôznych zdrojov
- 8. Lineárne antény: tenké symetrické antény, valcová anténa, sústavy lineárnych antén, príklady lineárnych antén
- 9. Antény s postupujúcou vlnou: priamy vodič, kosoštvorcová anténa, špirálová anténa
- 3. teoretický kontrolný priebežný test !!! zo 6. až 8. prednášky, 5 otázok (možnosť získania 0 až 5 bodov)
- 10. Plošné antény: štrbinové antény, lievikové antény, reflektorové antény, šošovkové antény
- 11. Mikropásikové antény: úvod, parametre, použitie, vlastnosti
- 12. Anténové sústavy: lineárne, plošné, fázované
- 4. teoretický kontrolný priebežný test !!! z 9. až 11. prednášky, 5 otázok (možnosť získania 0 až 5 bodov)
- 13. Zápočtový týždeň: **predtermín** (v rámci poslednej prednášky od 9,55)

## UPOZORNENIE

- **Prednášky sú povinné** (za účasť možnosť získania 0 – 3 body navyše)
- Možnosť získania **0 až 20 bodov** za priebežné kontrolné testy

# Cvičenia – osnova

- 1. Úvod: informácie, bezpečnosť, bakalárske práce!!!
- 2. Rozdanie 1. zadania
- 3. práca na 1. zadaní - práca s programom FEKO
- 4. práca na 1. zadaní - práca s programom FEKO
- 5. práca na 1. zadaní - práca s programom FEKO
- 6. práca na 1. zadaní - práca s programom FEKO
- 7. práca na 1. zadaní - práca s programom FEKO
- 8. práca na 1. zadaní - práca s programom FEKO
- 9. Odovzdanie 1. zadania - práca s programom FEKO
- 10. obhajovanie 1. zadania (možnosť získania 0 – 20 bodov)
- 11. obhajovanie 1. zadania (možnosť získania 0 – 20 bodov)
- 12. obhajovanie 1. zadania (možnosť získania 0 – 20 bodov)
- 13. Zápočtový týždeň: **Predtermín**

# Projekty - zadania

- Zadanie č.1 - sa venuje spracovaniu niektorého vybraného typu antény v programe FEKO a obhájenia návrhu pred vyučujúcim, resp. svojou pracovnou skupinou  
(0-20 bodov)



# PRIEBEŽNÉ HODNOTENIE (PH)

- termíny odovzdávania zadaní sú povinné
- možnosť získania 0 až 3 bodov za účasť na prednáškach (body navyše, t.j. možnosť ich pripočítania na skúške ku získaniu lepšieho hodnotenia)
- za priebežné kontrolné testy na prednáškach je možnosť získania 0 až 20 bodov (min. 11 b.)
- možnosť získania 0 až 20 bodov za zadania (min. 10 b.)
- celkove na zápočet je možné získať 0 až 40 bodov, t.j. na udelenie zápočtu je potrebných 21 bodov (min. 11 + 10 b.(T+Z))
  
- A – výborne (vynikajúce výsledky) = 1 (40 až 37 b.)
- B – veľmi dobre (nadpriemerné výsledky) = 1,5 (36 až 33 b.)
- C – dobre (priemerné výsledky) = 2 (32 až 29 b.)
- D – uspokojivo (prijateľné výsledky) = 2,5 (28 až 25 b.)
- E – dostatočne (výsledky spĺňajú iba minimálne kritériá) = 3 (24 až 21 b.)
- FX – nedostatočne (výsledky nespĺňajú ani minimálne kritériá) = 4 (20 až 0 bodov)

# Celkové hodnotenie (CH)

Zápočet + Skúška = (0 až 40 b.)+(0 až 60 b.)

## Záverečné hodnotenie (ZH)

- možnosť získania 0 až 3 bodov za účasť na prednáškach k CH

### ABSOLVOVANIE PREDMETU SA HODNOTÍ ZNÁMKOU:

- A – výborne (vynikajúce výsledky) = 1 (100 až 91 b.)
- B – veľmi dobre (nadpriemerné výsledky) = 1,5 (90 až 81 b.)
- C – dobre (priemerné výsledky) = 2 (80 až 71 b.)
- D – uspokojivo (prijateľné výsledky) = 2,5 (70 až 61 b.)
- E – dostatočne (výsledky spĺňajú iba minimálne kritériá) = 3 (60 až 51 b.)
- FX – nedostatočne (výsledky nespĺňajú ani minimálne kritériá) = 4 (50 až 0 bodov)

### KREDITY

- študent **získa kredity** (5-6??) za predmet vtedy, ak jeho výsledky boli ohodnotené niektorým z klasifikačných stupňov **od A po E**

# Bakalárske práce na šk.r. 2017/2018

## Oblasti nášho vedeckého bádania:

- Optický korelátor (jeho použitie vo video-dohľadových a vo video-kontrolných systémoch)
- Transformačné metódy spracovania obrazu a videa
- Optické komunikácie voľným prostredím (FSO, VLC)
- Optické vláknové komunikácie
- Nelineárne a lineárne javy v plne optických vláknových sieťach
- Cez web ovládané laboratórium
- Opticky napájané senzorové systémy
- Multimediálne materiály

## Vedúci:

- Dr.h.c. prof. RNDr. Ing. Ján Turán, DrSc.
- doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.

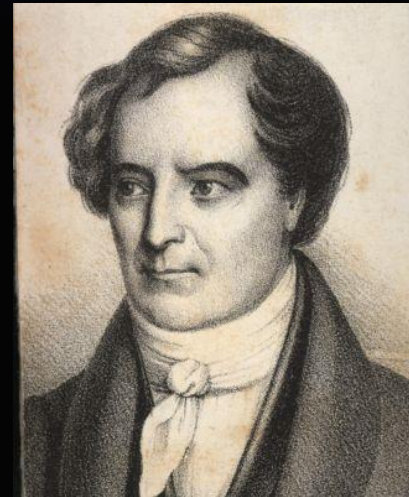
# Bakalárske práce na šk.r. 2017/2018

## Témy BP:

- Využitie senzorového systému merania poveternostných podmienok pre zvýšenie dostupnosti hybridného FSO/RF systému.** (The use of a sensor system weather conditions measuring for increasing availability of the hybrid FSO/RF system.)  
Vedúci: doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.  
Konzultant: Ing. Michal Márton, Ing. Renát Haluška  
Študent:  
Oponent: Ing. Matúš Tatarko, PhD.
- Zvýšenie dostupnosti hybridného FSO/RF systému návrhom vhodnej záložnej RF linky.** (Increasing the availability of the hybrid FSO/RF system with a suitable backup RF line.)  
Vedúci: doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.  
Konzultant: Ing. Michal Márton, Ing. Renát Haluška  
Študent:  
Oponent: Ing. Matúš Tatarko, PhD.
- Modulačné formáty využívané v plne optických komunikačných systémoch.** (Modulation formats used in all optical communication systems.)  
Vedúci: prof. RNDr. Ing. Ján Turán, DrSc.  
Konzultant: Ing. Tomáš Ivaniga, Ing. Tomáš Huszanik  
Študent: **Tomáš Kačúr!!! (SE)**  
Oponent: Ing. Ján Turán Jr., PhD.
- Hľadanie porúch na optických komunikačných linkách s využitím OTDR.** (Finding defects on optical communication links with OTDR.)  
Vedúci: prof. RNDr. Ing. Ján Turán, DrSc.  
Konzultant: Ing. Tomáš Ivaniga, Ing. Tomáš Huszanik  
Študent: **Anton Záborský (SE)**  
Oponent: Ing. Ján Turán Jr., PhD.

# Objavy vo fyzike a ich význam

- **1820** - si dánsky fyzik a chemik **Hans Christian Ørsted** všimol, že magnetka kompasu v blízkosti elektrického poľa vykazuje istý pohyb a takto objavil súvis medzi elektrinou a magnetizmom;
- **1820** - Francúzsky fyzik **François Arago** zistil, že elektrický prúd usmerňuje nezmagnetizované kovové piliny do kruhu okolo drôtu, tj. objavil princíp produkcie magnetizmu pomocou cylindricky stočeného medeného vodiča;



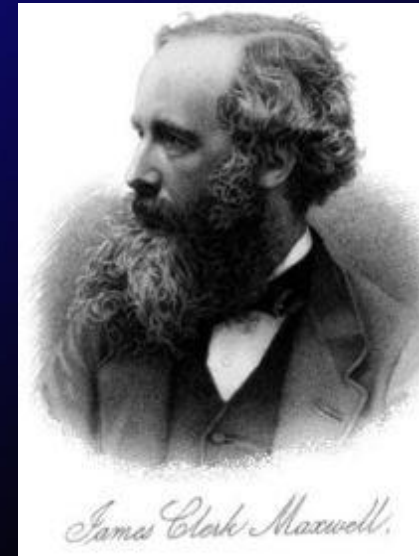
- **1820** - Francúzsky fyzik **André-Marie Ampere** ujasnil Øerstedove pozorovanie a vyslovil prvú teóriu magnetizmu. V nej poukázal na spojitosť medzi magnetizmom a elektrickým prúdom, ako dvoma skupinami javov, ktoré sa predtým považovali za principiálne odlišné;



- **1831** - ak prechádza elektrický prúd vodičom, vzniká v jeho okolí magnetické pole. Je možné, aby naopak vznikol pomocou magnetického poľa v uzavretom obvode elektrický prúd? Odpoveď na túto otázku prvý priniesol **Michael Faraday** s dôležitým objavom elektromagnetickej indukcie;



- Škótsky fyzik **James Clerk Maxwell** - publikoval štúdie " O Dynamickej teórii elektromagnetického poľa" (1865) a "Pojednanie o elektrine a magnetizme " (1873), ktorá sa stala známa ako Maxwellove rovnice. Je to séria štyroch rovníc, ktoré spolu kompletne popisujú vzájomné pôsobenie elektrických a magnetických polí;



- 1887 – vynášiel **Heinrich Hertz** oscilátor a laboratórne vytvoril elektromagnetické vlny, pričom meral ich dĺžku a rýchlosť. Ukázal, že povaha ich vibrácií a schopnosti sa lámať a odrážať, sú rovnaké, ako pri svetelných a tepelných vlnách. Ako definitívny záver bez pochybností stanovil, že svetlo a teplo sú elektromagnetickou radiáciou;

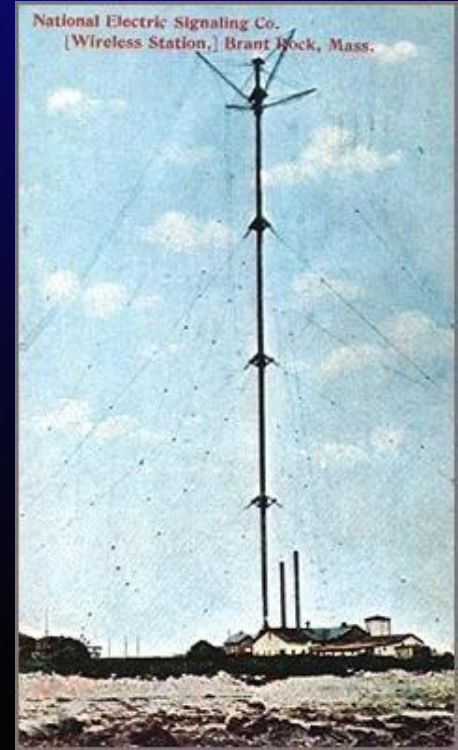


# História bezdrôtovej komunikácie

- **Guglielmo Marconi** - taliansky elektroinžinier a vynálezca – vynález rádia???
- **1895** - zdokonalil koherér, je to prístroj zachytávajúci elektromagnetické vlny a pripojil ho k jednoduchej anténe, ktorej dolný koniec bol uzemnený. Takto predviedol prvú demonštráciu bezdrôtovej telegrafie;
- **1896** - vyslal signály na vzdialenosť vyše 1,6km;
- prenos bol uskutočňovaný dlhými vlnami a mal vysoké energetické nároky (>200kw);
- v Londýne požiadal o patent pre svoj vynález; v nasledujúcom roku jeho prístroj zvládol prenos rádiových signálov z pobrežia na loď na vzdialenosť 29 kilometrov;







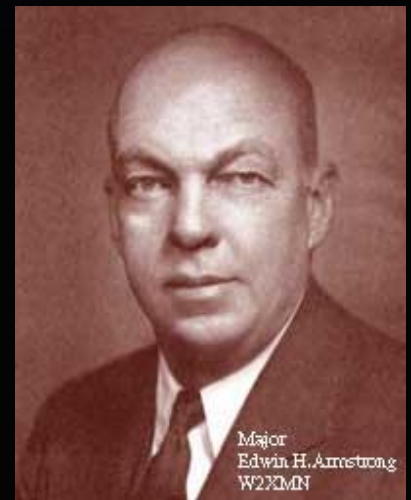
- **1899**-komerčná komunikácia medzi Anglickom a Francúzskom;
- **1901** - vyslal signály na vzdialenosť 322 km a v tom istom roku bolo prvé písmeno (S) prenesené cez Atlantický oceán
- **???** - niektoré zdroje uvádzajú ako vynálezcu rádia ruského fyzika a elektroinžiniera **A.S. Popova**, avšak valná väčšina pripisuje tento krok Marconimu;
- **1895** - **Alexander Stepanovič Popov** predviedol prístroj na registráciu atmosférických výbojov, čo bol vlastne prvý rádioprijímač. Postupným zdokonaľovaním dosiahol Popov v roku **1899** spojenie na vzdialenosť 46 km, tieto pokusy však Ruská vojenská správa utajila. Popov požiadala o patent až v roku **1899**;

■ **1906** - Kanadsko-Americký rádiopioner **R. A. Fessenden** bezdrôtový operátor vo vzdialenom Norfolkku prekvapene počúva reč a hudbu vysielanú z Brand Rocku do jeho prijímača;

■ **1915** - uskutočnil bezdrôtový diaľkový telefónny hovor New Yorku - San Francisco na vzdialenosť 4022km. Hovor bol realizovaný z lodnej rádiostanice v Arlingtone do lodnej rádiostanice na Mare Island. O pár hodín neskôr bol ľudský hlas vyslaný éterom z Washingtonu do Honolulu, na vzdialenosť 7884km (4900 míľ);



- **1924** – **J. L. Baird** predvádza obrysy objektov predané televíziou,
  - **1925** prenáša rozpoznateľnú ľudskú tvár
  - **1926** demonštruje pohybujúce sa objekty.
  - **1929** začína britská spoločnosť BBC s pravidelným pokusným televíznym vysielaním s využitím Bairdovho štúdia;
- **1933** - získal **E. H. Armstrong** patent na systém frekvenčnej modulácie (FM). FM priniesla lepšiu alternatívu vysielania, ako dovtedy zaužívaný systém vysielania s amplitúdovou moduláciou a umožnil vysokokvalitný prenos hlasu, alebo hudby s odolnejším signálom proti rušeniu;
- **1946** - Saint Lois, AT&T a Southwestern Bell uvádza prvú komerčnú rádio-mobilnú službu pre privátnych zákazníkov (150MHz)
- **1991** - začala prevádzku prvá testovacia sieť GSM s názvom Telecom 91 (900 MHz);



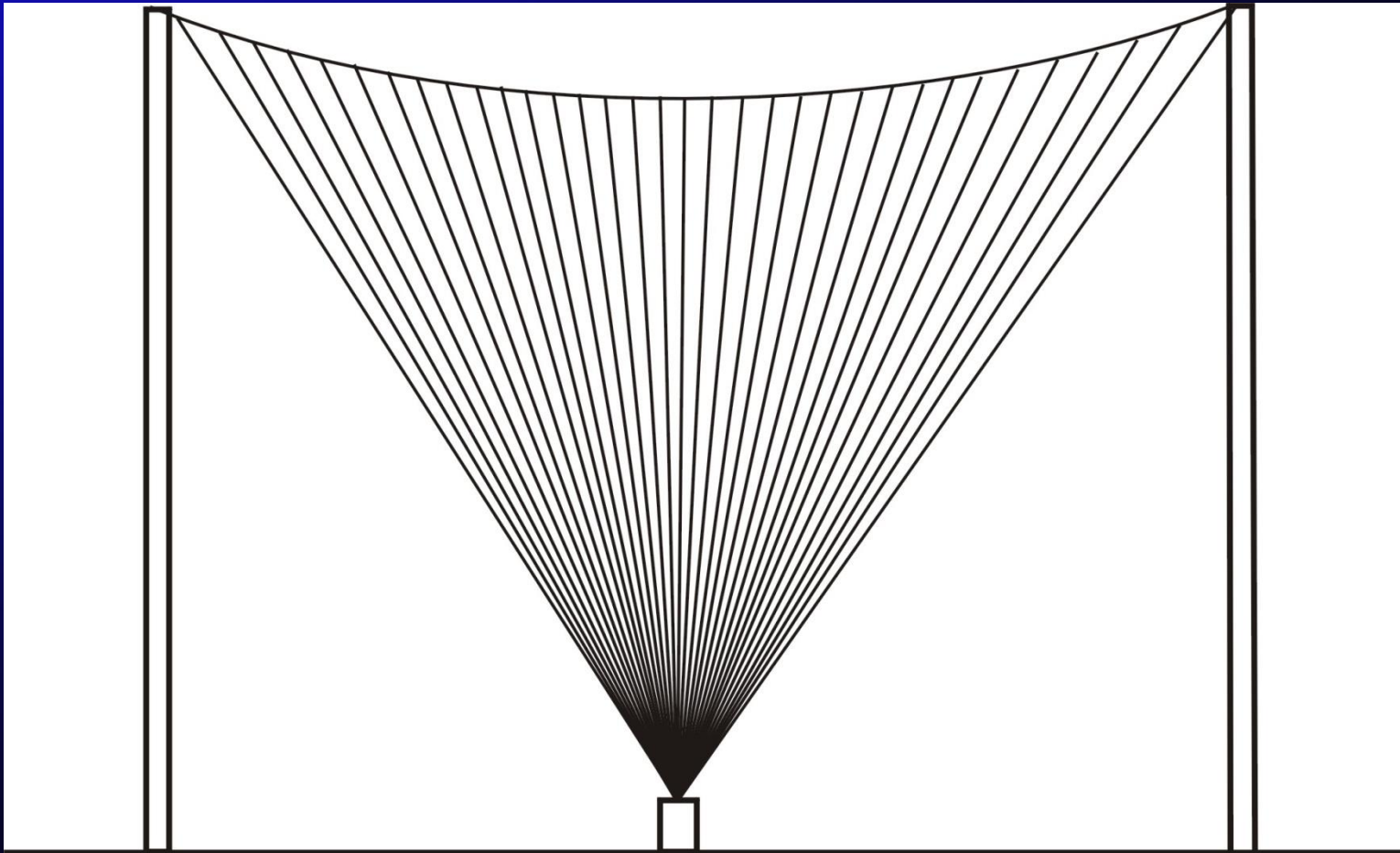
# Čo je to anténa?

- transformačný prvok medzi vedenou a vyžarovanou vlnou
- pasívny prvok s vlastnosťami filtra v priestorovej a frekvenčnej oblasti
- hraničný prvok komunikačného kanála, ktorý zásadným spôsobom ovplyvňuje parametre prenosového kanála ( $P_p$ , C/I, BER, ...)

## IEEE Definícia pojmu anténa (IEEE Std 145-1993):

“**Anténa** je tá časť vysielacieho alebo prijímacieho systému, ktorá je navrhnutá pre vysielanie alebo príjem elektromagnetických vln.“

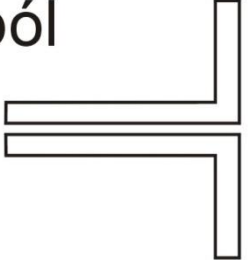




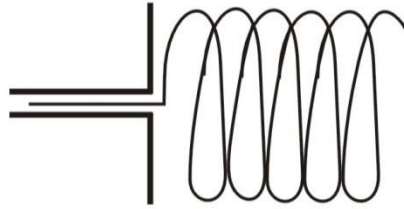
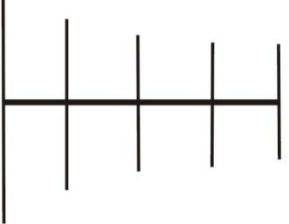
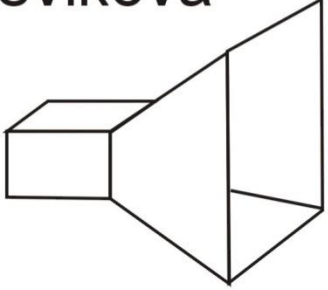

# Marconiho prvá transatlantická vysielacia anténa (1901)



# Typy antén

- **podľa tvaru žiariča; (obr.1.1a);b);c))**
  - lineárne, slučkové
  - apertúrové (lievikové, reflektorové, mikropásikové, štrbinové, šošovkové)
  - dielektrické
  - špirálové, skrutkovicové
- **podľa usporiadania žiariča; (obr.1.2a);b);c);d))**
  - individuálne
  - rady
  - sústavy
  - logicko-periodické antény
- **podľa typu vlny; (obr.1.3)**
  - so stojatou (rezonančné)
  - s postupnou / unikajúcou

## Obr.1.1 Typy antén podľa tvaru žiariča

Dipól 	Slučková 	Plátková 
Štrbinová 	Špirálová 	Skrutkovicová 
Yagi-Uda 	Lieviková 	Bočnicková 

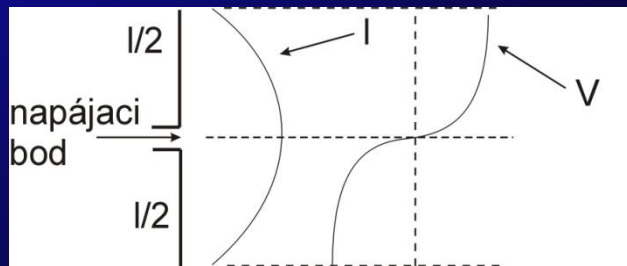
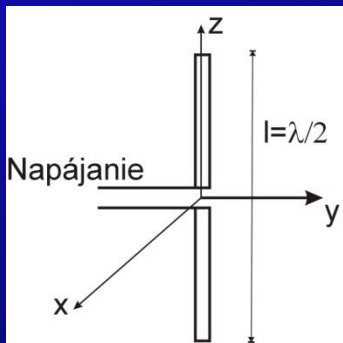
## Obr.1.1 Typy antén podľa tvaru žiariča



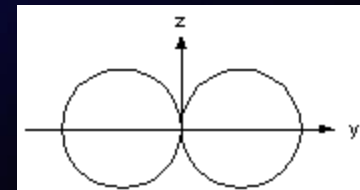


# Obr.1.1 a) Lineárne antény

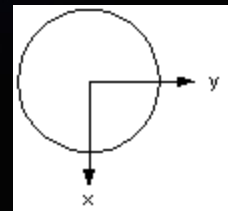
## polvlnový dipól



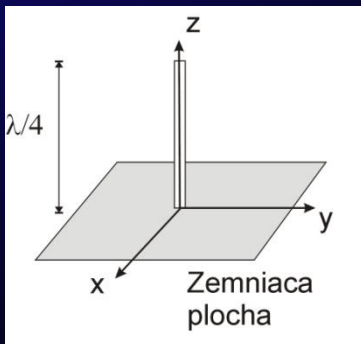
**E:**



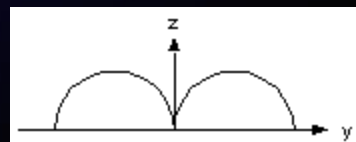
**H:**



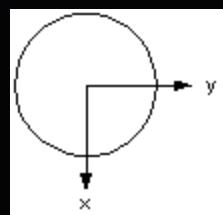
## štvrt'vlnový monopól



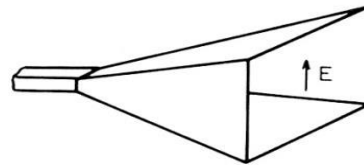
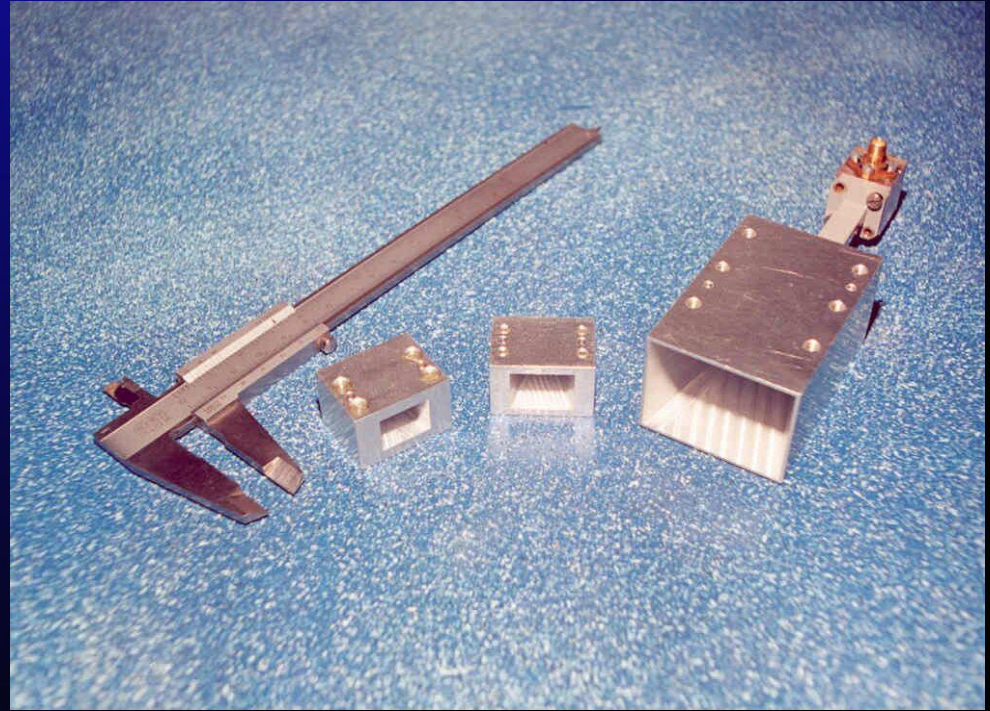
**E:**



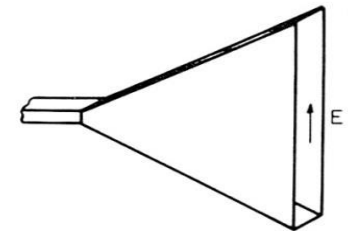
**H:**



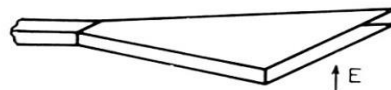
# Obr.1.1 a) Apertúrové antény - lievnikové



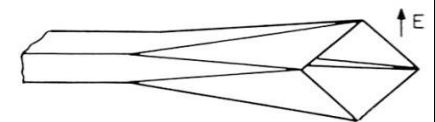
(a)



(c)



(b)



(d)

## Obr.1.1 b) Apertúrové antény - reflektorové

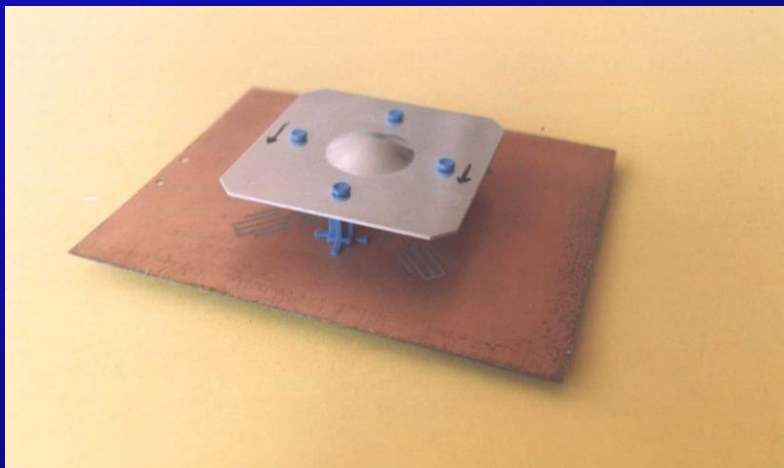


## Obr.1.1 b) Apertúrové antény – reflektorové (2)



Najväčší jednoduchý rádio-teleskopický guľový reflektor (304.8 m)  
Národnej astronómie a Ionosférického centra v (USA), Arecibo,  
Puerto Rico

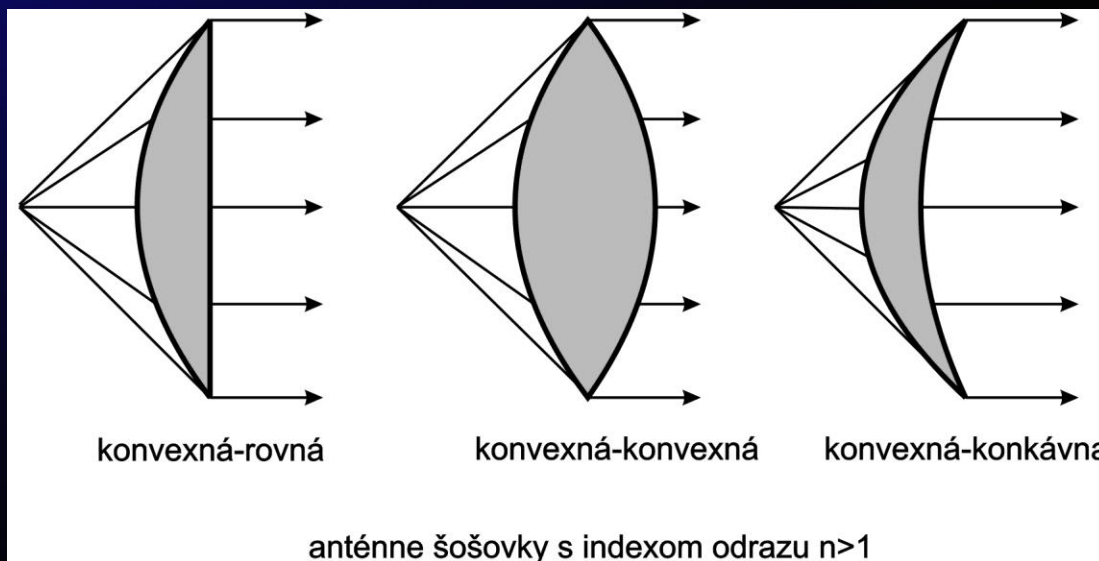
# Obr.1.1 b) Apertúrové antény



a) mikropásikové



b) štrbinové



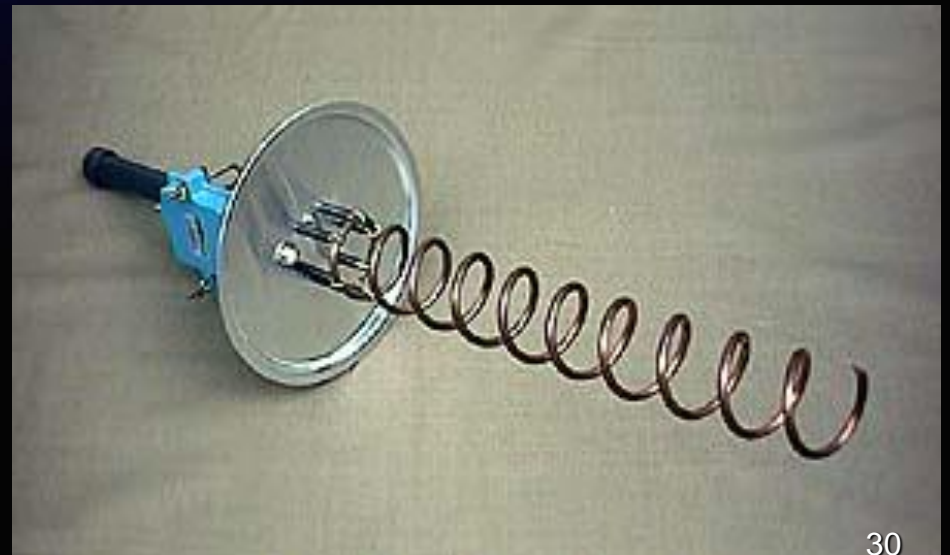
c) šošovkové

## Obr.1.1 c) Špirálové a skrutkovicové antény



a) špirálové antény

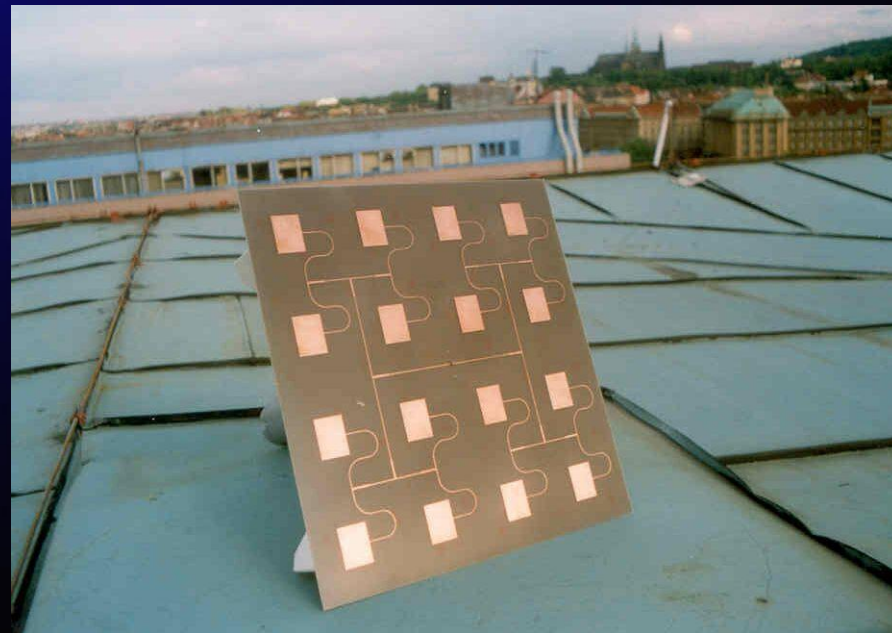
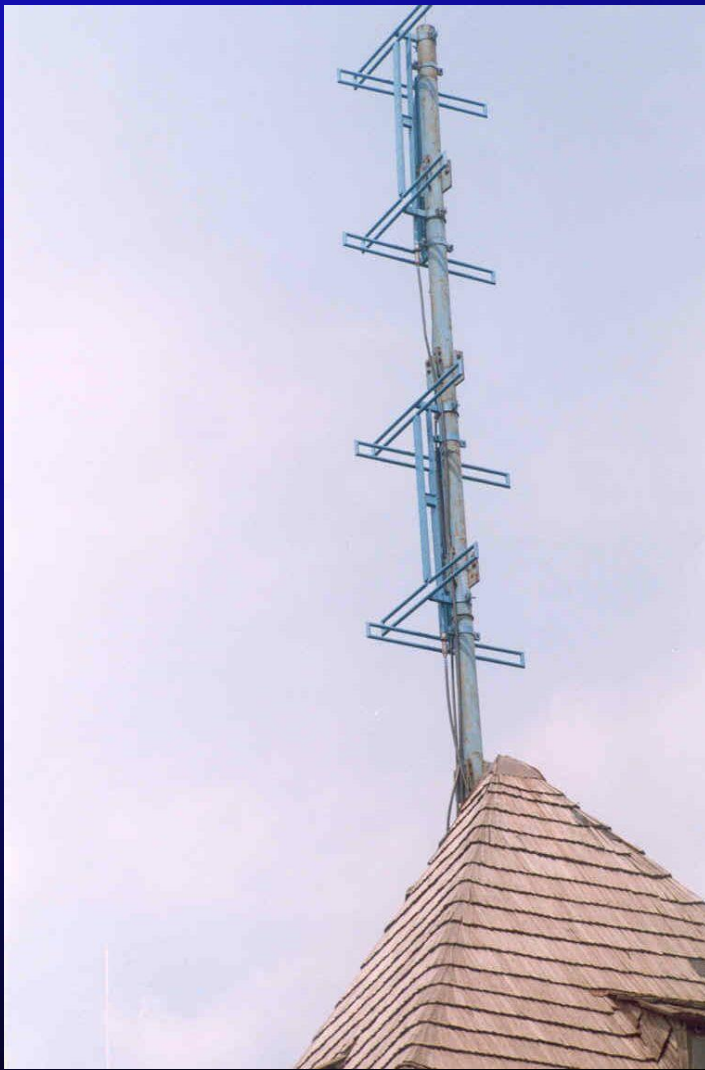
b) skrutkovicové antény



## Obr.1.2 a) Podľa usporiadania žiariča - individuálne

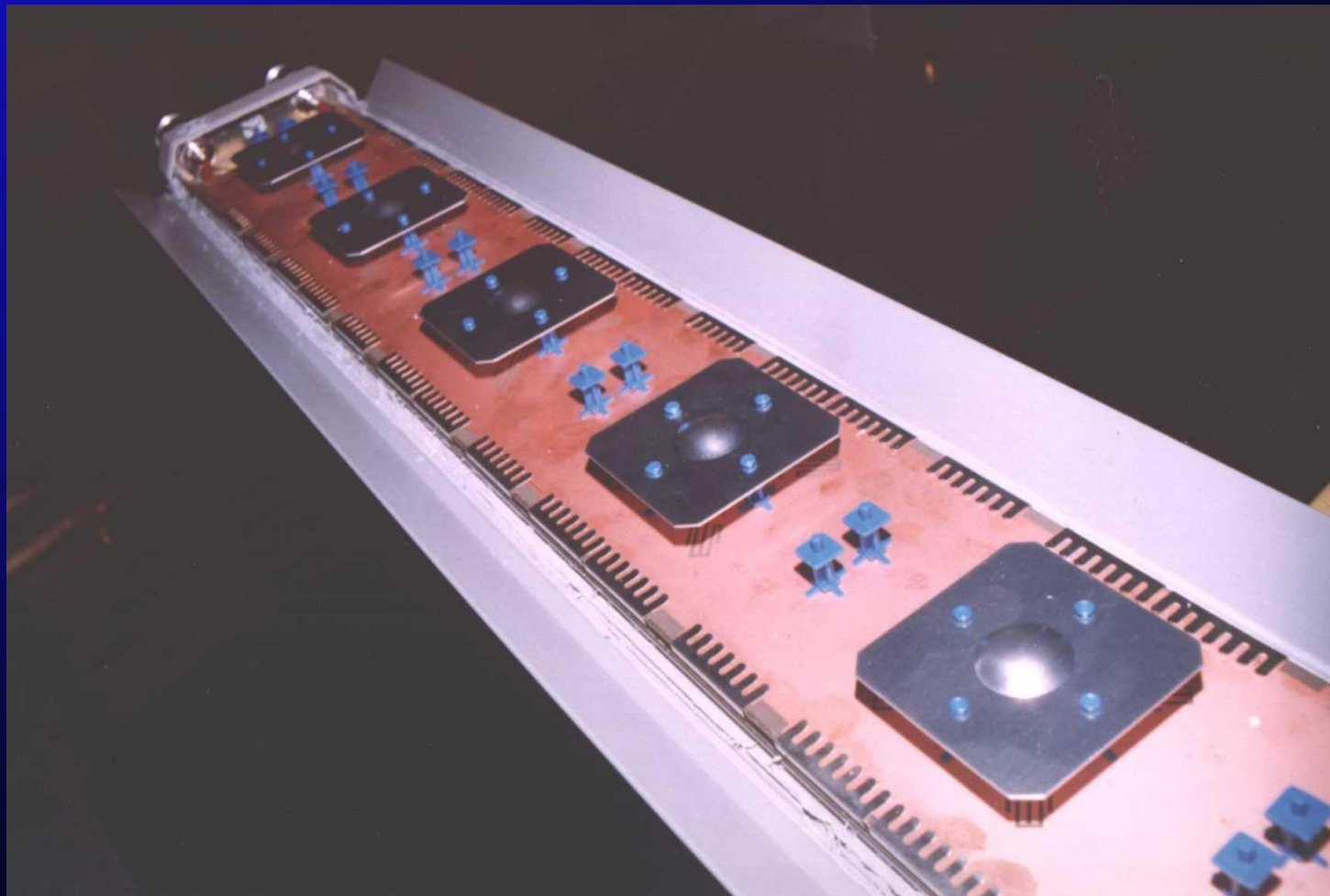


## Obr.1.2 b) Podľa usporiadania žiariča - anténne sústavy

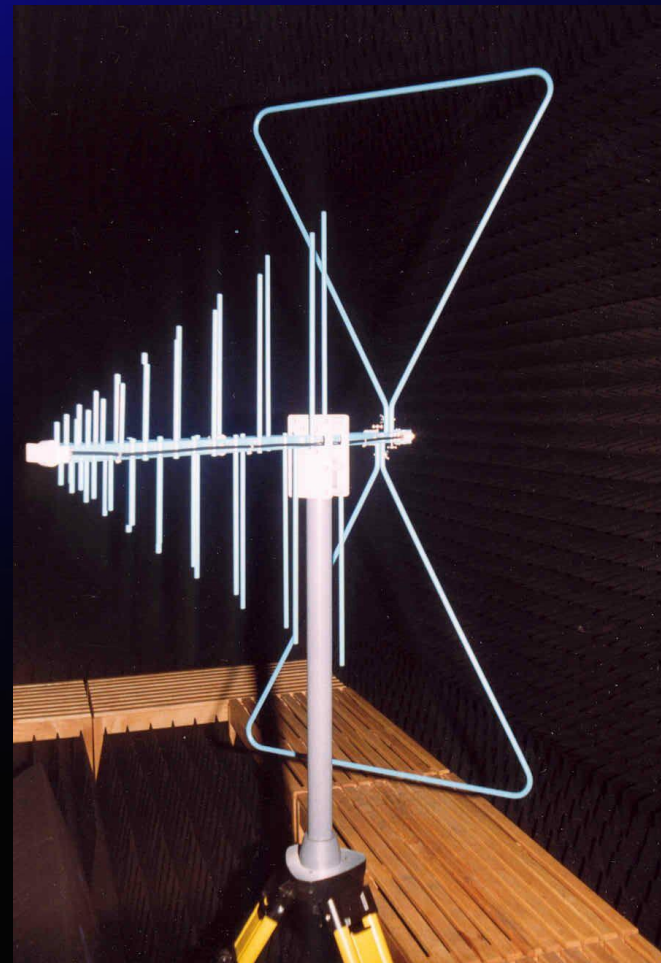
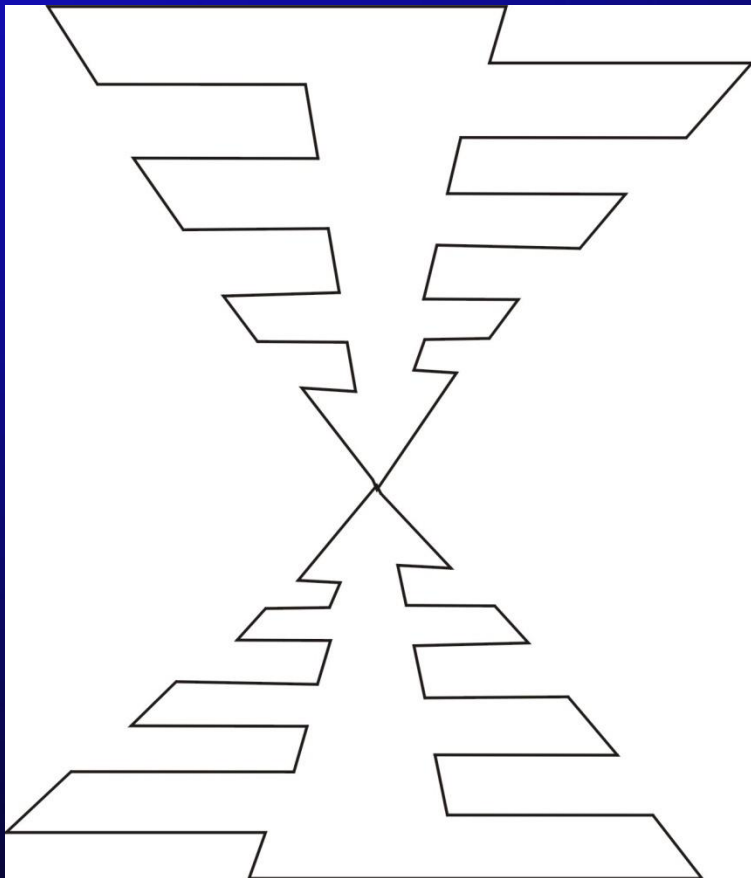




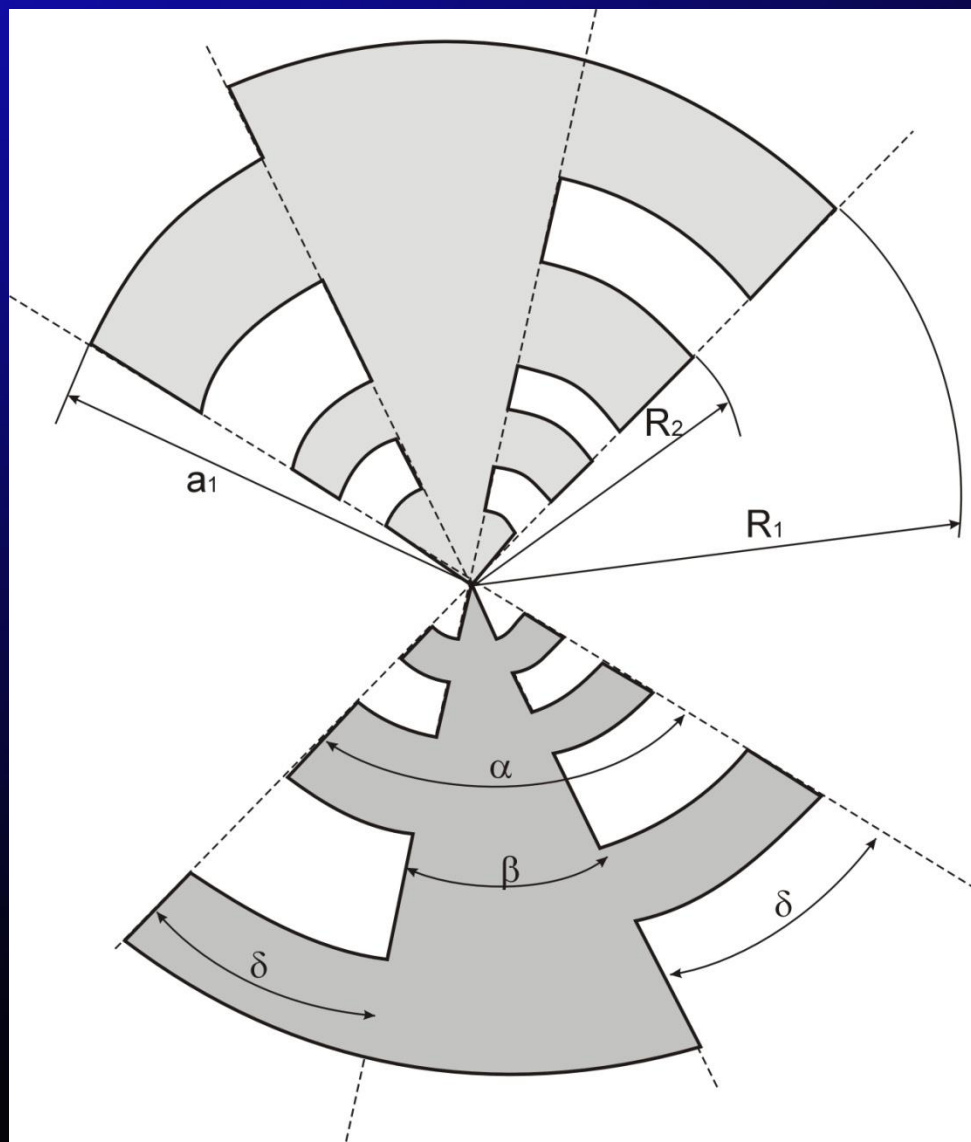
## Obr.1.2 c) Podľa usporiadania žiariča - anténne rady



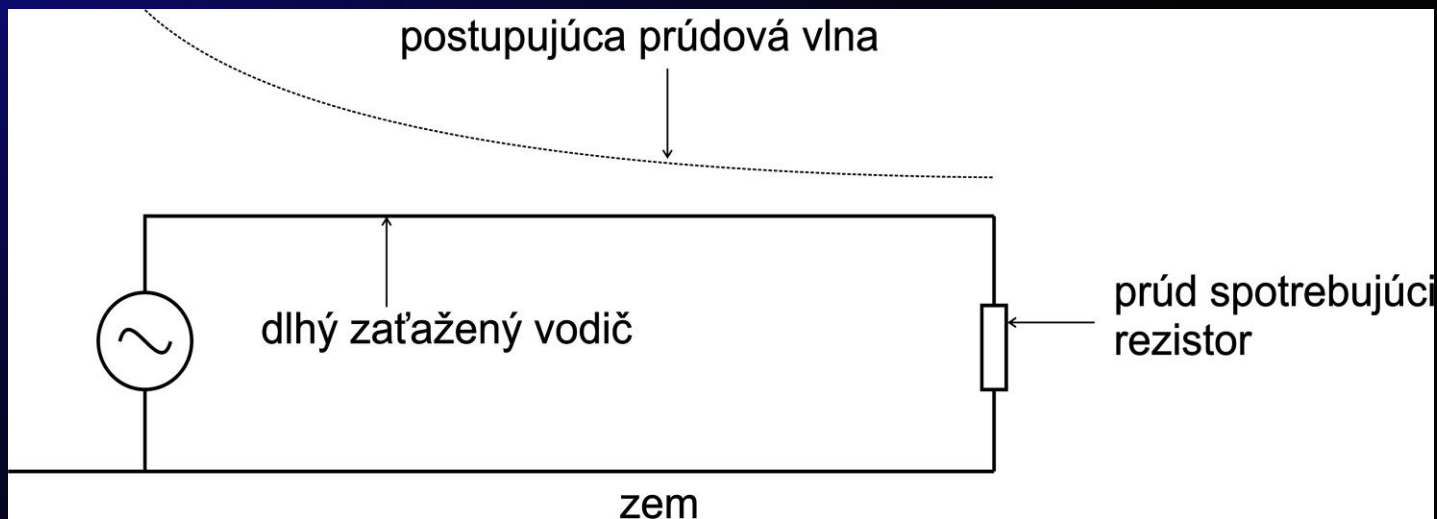
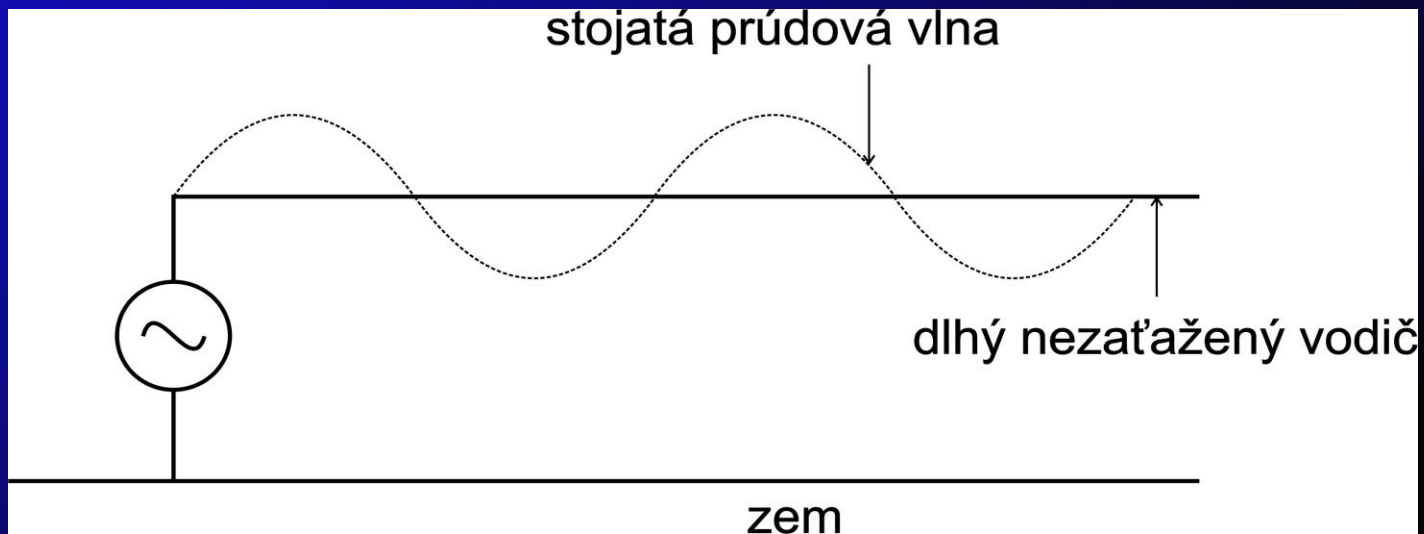
## Obr.1.2 d) Podľa usporiadania žiariča - Logicko-periodické antény



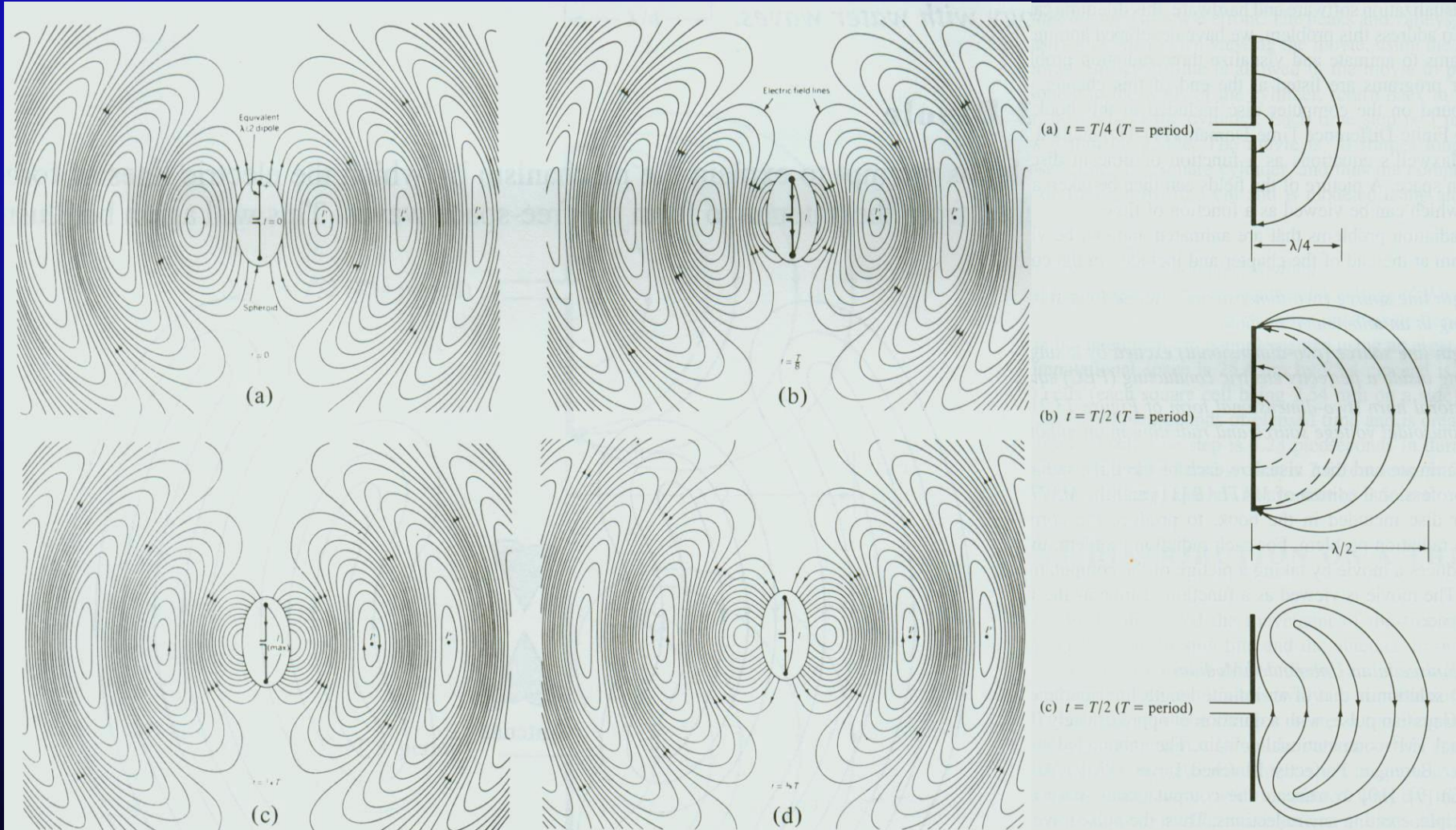
# Obr.1.2 d) Podľa usporiadania žiariča - Logicko-periodické antény



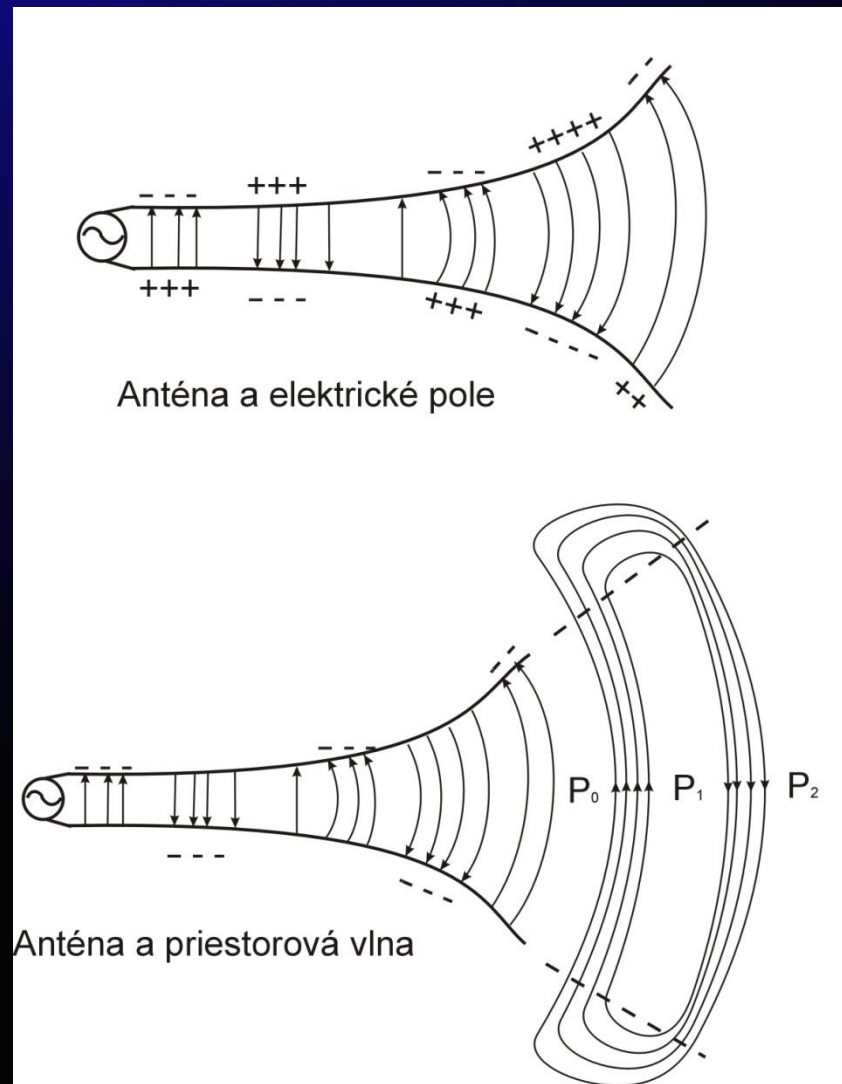
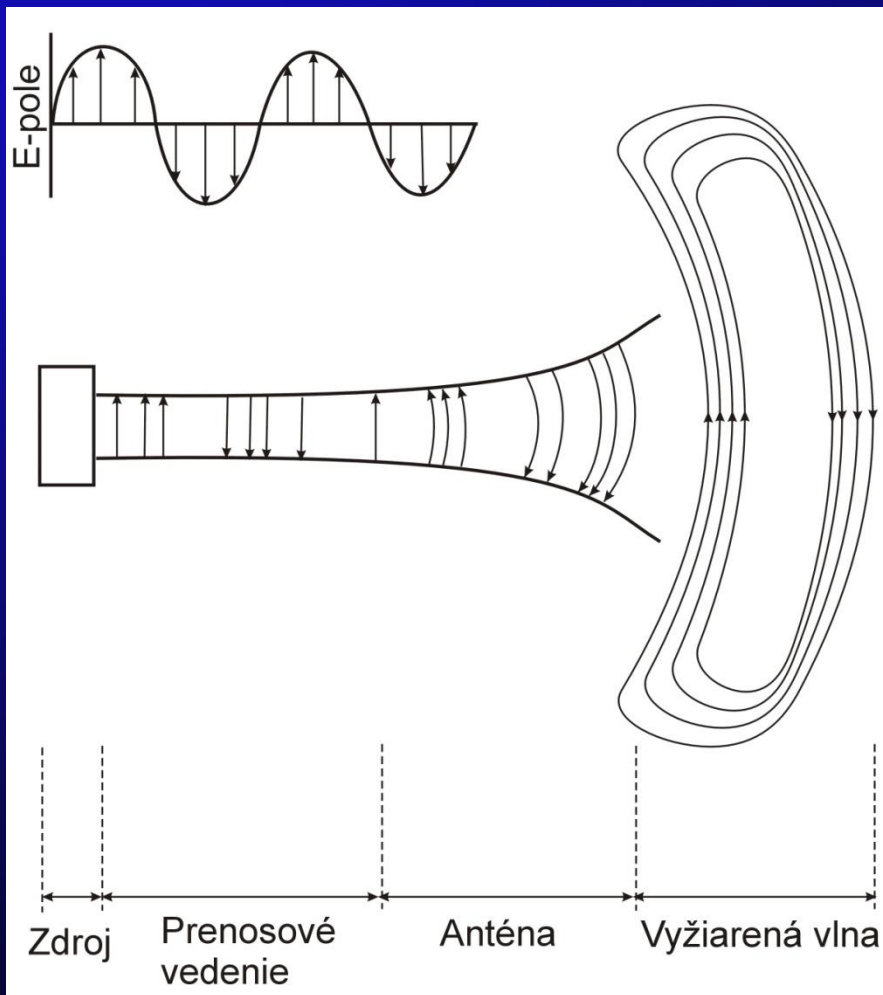
## Obr.1.3 Antény so stojatou a postupnou vlnou



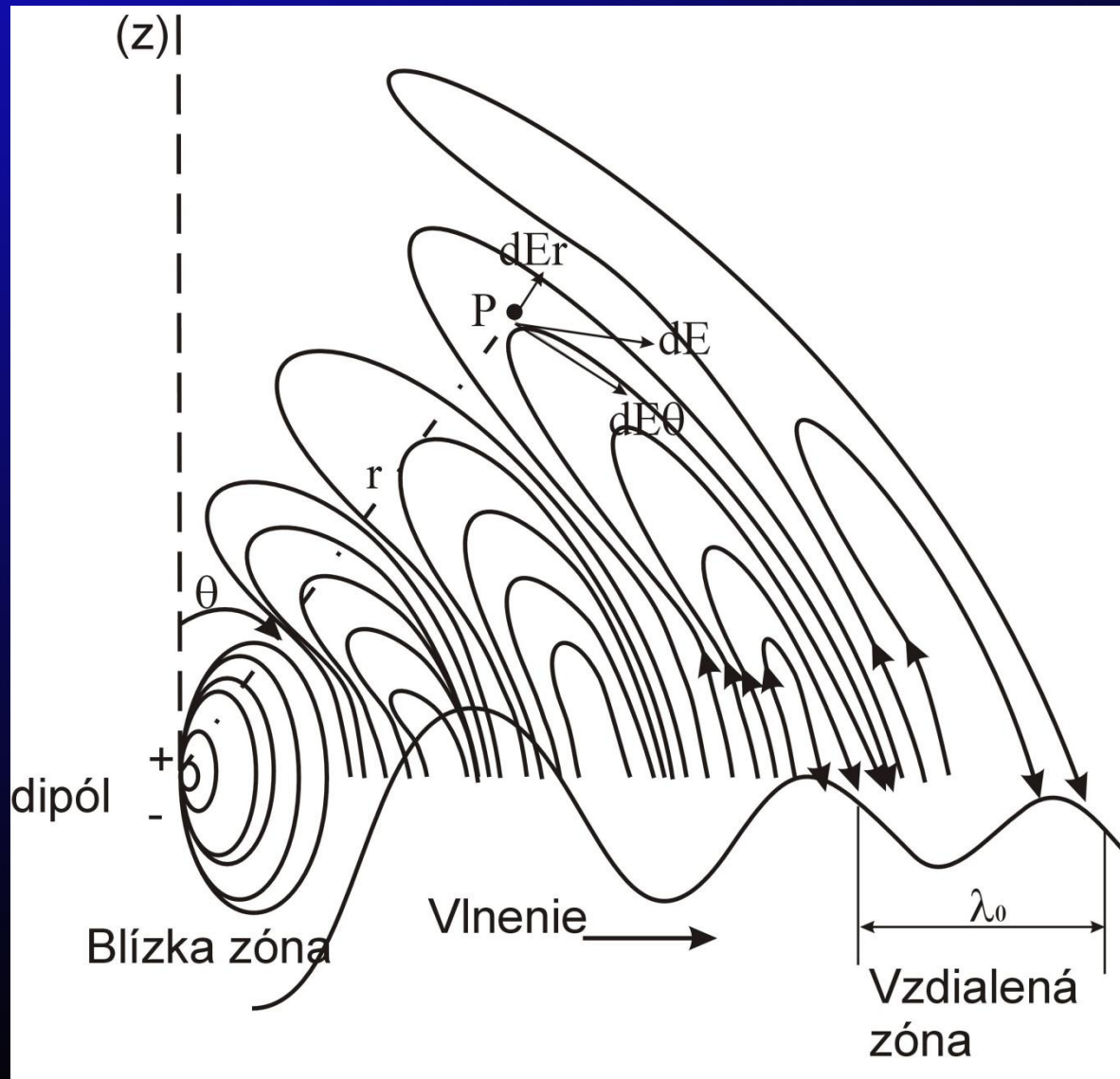
# Vyžarovací mechanismus antén - polvlnový dipól



# Vyžarovací mechanizmus antén - lieviová anténa



# Vyžarovací mechanizmus antén - elementárny dipól, oblasti



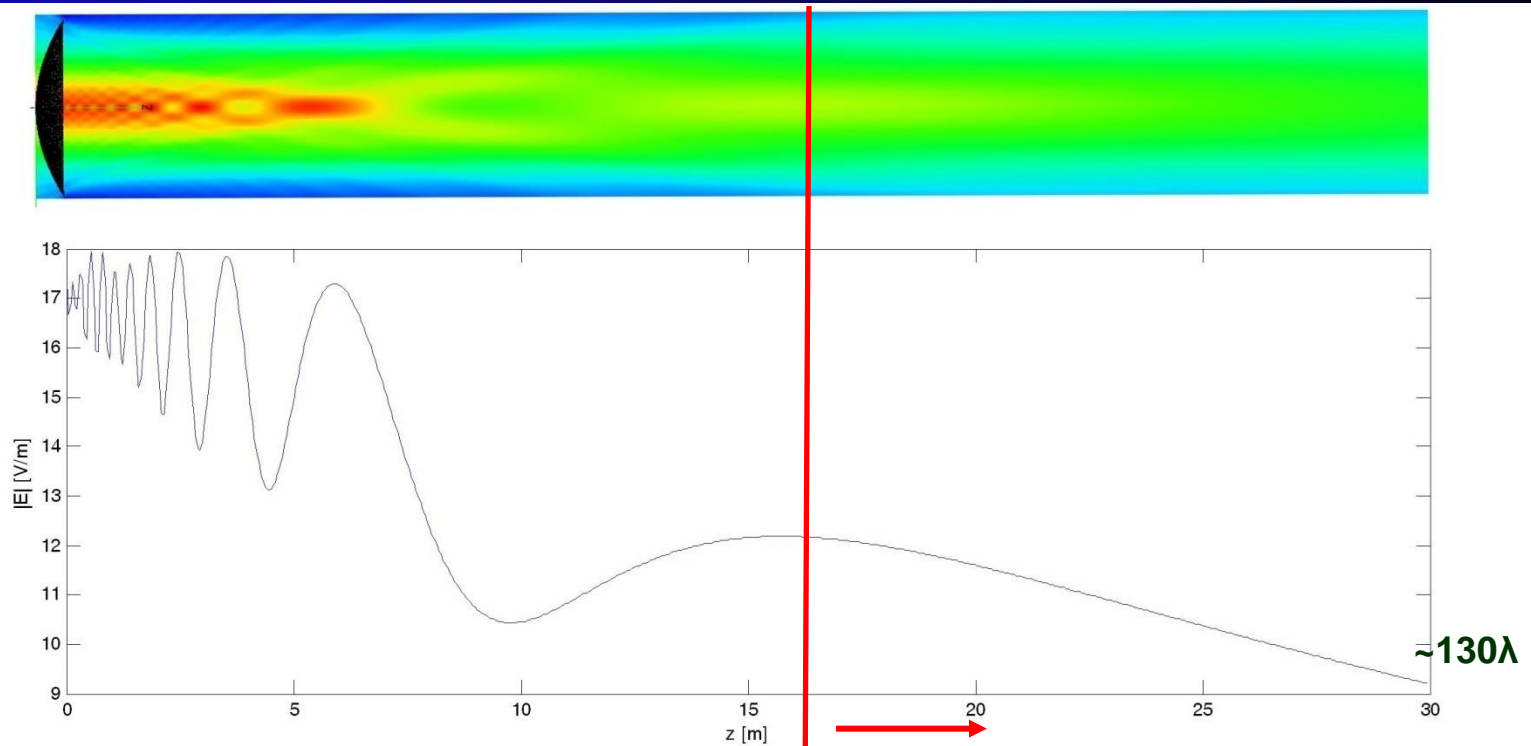
# Oblasti v okolí antény podľa toku energie a zložiek poľa



- **Blízka reaktívna oblasť**  $r < r_1$   $(r < \lambda / 2\pi)$ 
  - priame okolie antény (Rayleighiho zóna)
- **Blízka žiarivá oblasť**  $r < r_2$   $(r < 2D^2 / \lambda)$ 
  - Zóna medzi reaktívnou a vzdialenou zónou
  - Rozdelenie uhlového poľa závisí na vzdialenosti od antény (Fresnelové zóny)
- **Vzdialená žiarivá oblasť**  $(r > 2D^2 / \lambda)$ 
  - Rozdelenie uhlového poľa je nezávislé od vzdialenosti antény (Fraunhoferova oblasť, vzdialené pole)



# Parabolická anténa $\text{Ø}16.4\lambda$ blízke elektrické pole

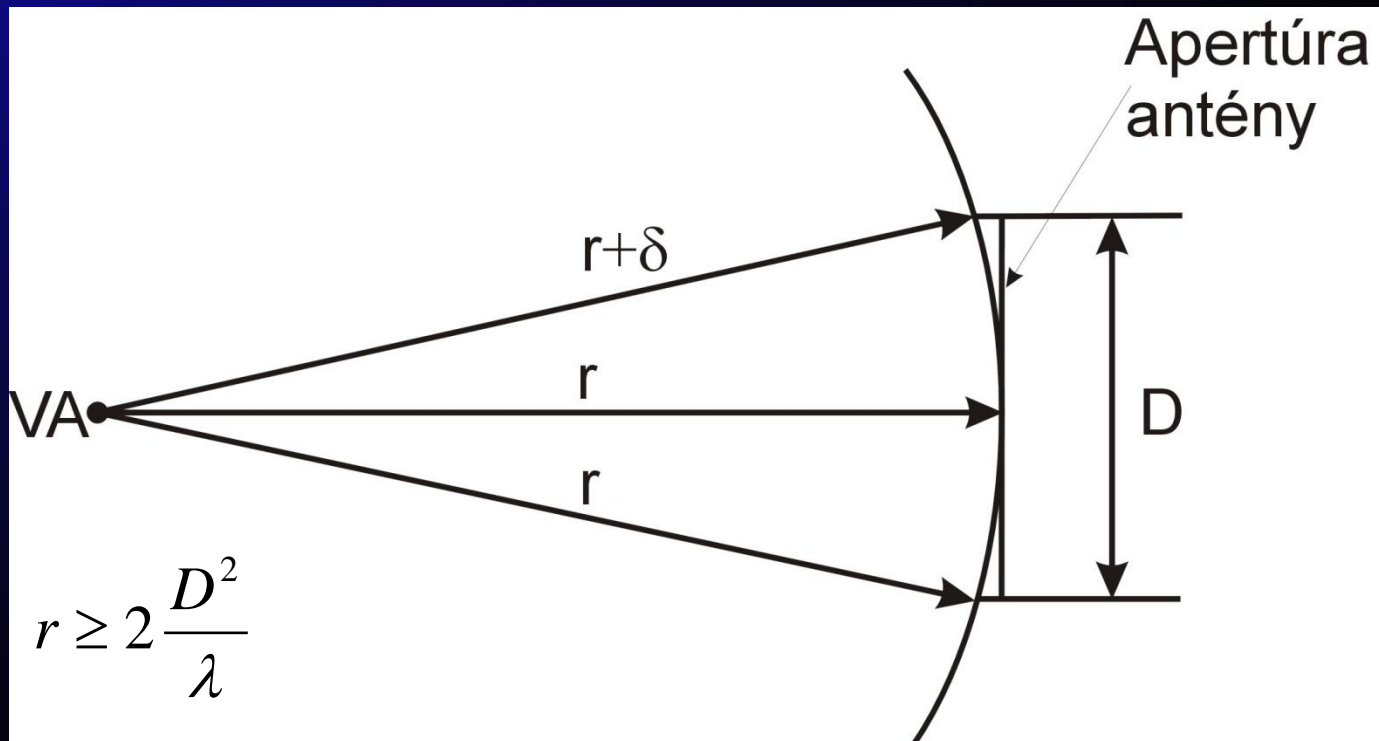


Blízka Rayleighiho a  
Fresnelova zóna

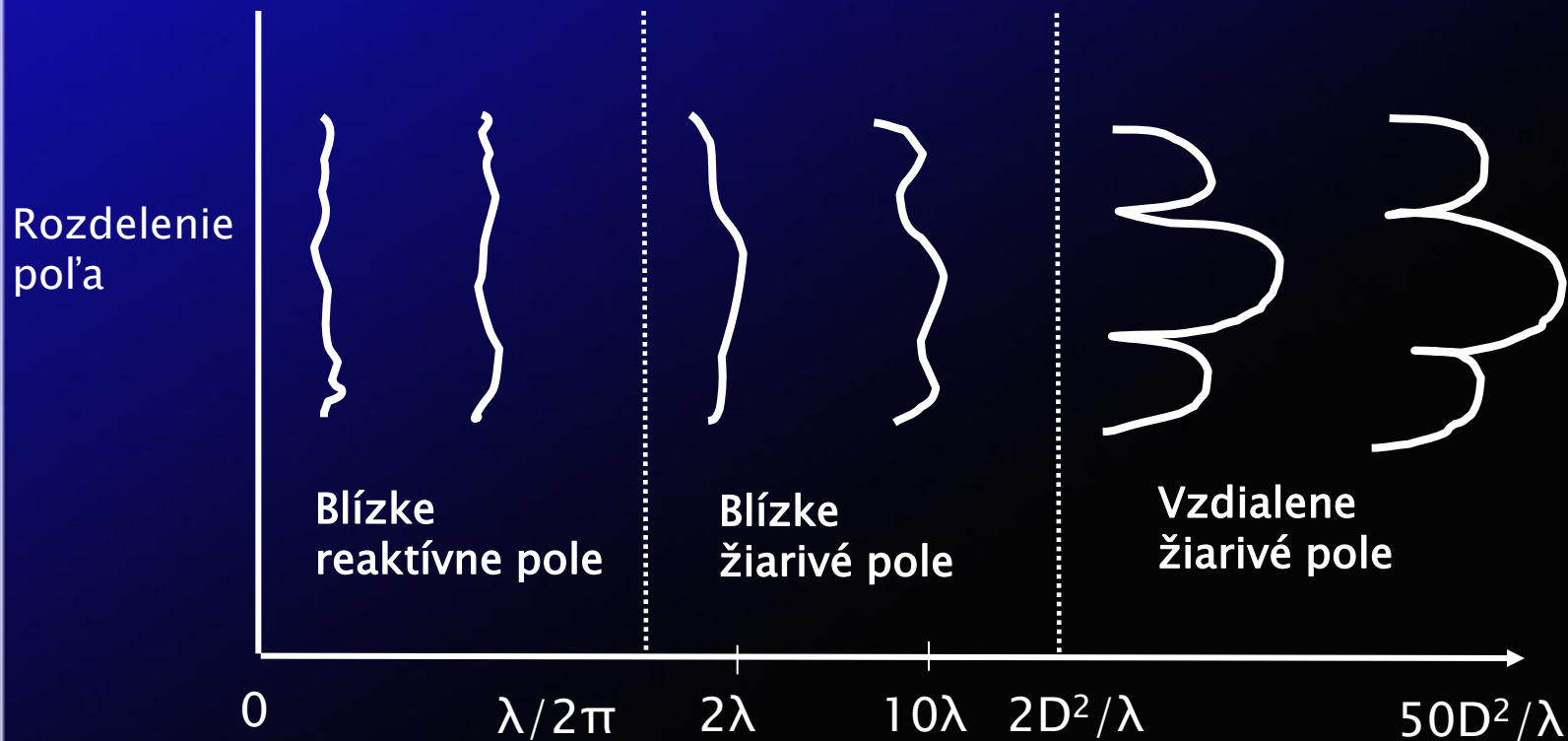
Vzdialená (Fraunhoferova)  
zóna

# Definícia vzdialenej oblasti

- Rovinná vlna  $\mathbf{E} \perp \mathbf{H} \perp \mathbf{k}$ 
  - dovolená fázová chyba na apertúre  $< \lambda/16 \Rightarrow R \geq 2D^2/\lambda$
  - amplitúdová chyba na apertúre  $< 0,25 \text{ dB}$



# Tvar vyžarovacej charakteristiky v blízkom / vzdialenom poli



# Parametre antény

## ■ Základné parametre:

### ■ impedančné; (obr.1.4)

vstupná impedancia, pomer stojatých vln (PSV), činiteľ odrazu, impedančná šírka pásma

### ■ smerové; (obr.1.5)

smerový diagram (E, H rovina),

šírky zväzkov (E, H rovina)

predozadný pomer

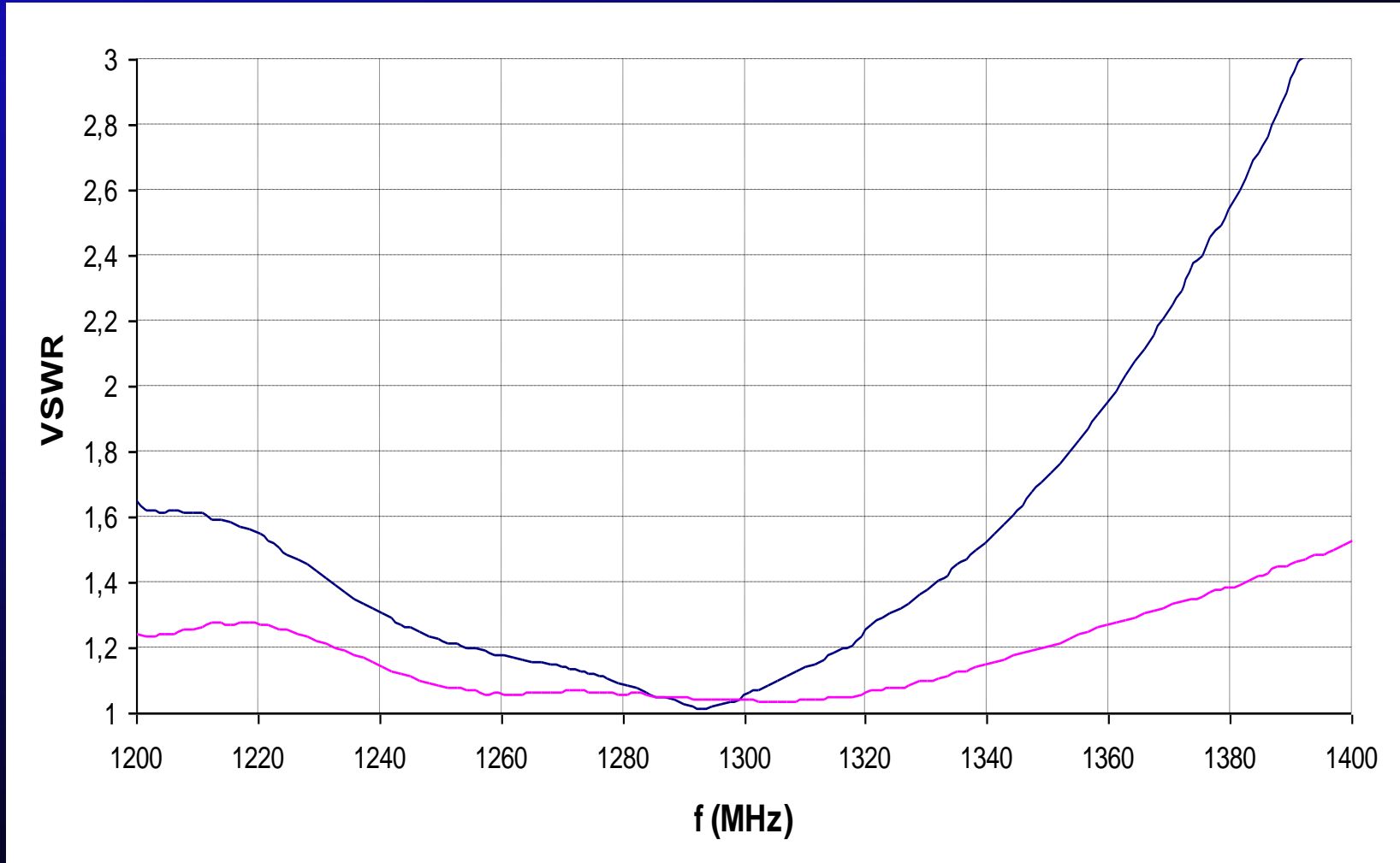
smerovosť, účinnosť, zisk, polarizácia, osový pomer

## ■ Ďalšie parametre:

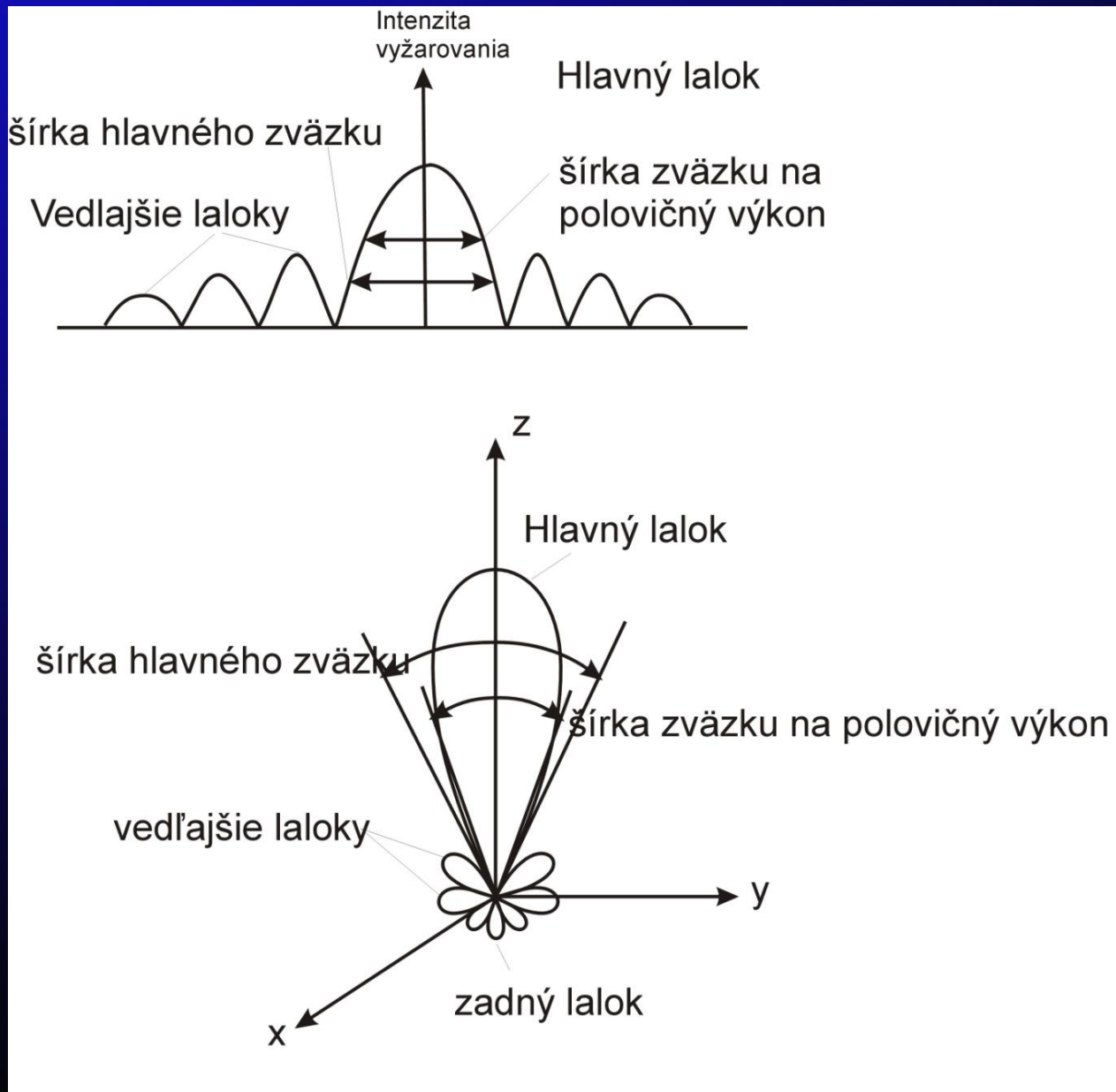
### ■ impulzné charakteristiky

Všetky parametre antény sú navzájom zviazané a záleží na veľkostiach, orientácii a priestorovom rozložení zdroja vyžarovaného poľa – prúdu na anténe (impedancii, prispôsobení, smerovosti, zisku, účinnosti, stratách, prispôsobení, polarizácii ...)

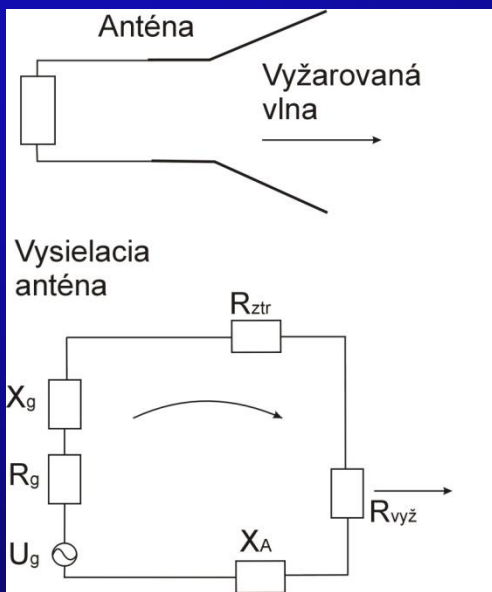
## Obr.1.4 Impedančné parametre antény



## Obr.1.5 Smerové parametre antény



# Vstupná impedancia, vyžiarený výkon



■ **vstupná impedancia** je pomer napätia a prúdu na vstupných svorkách

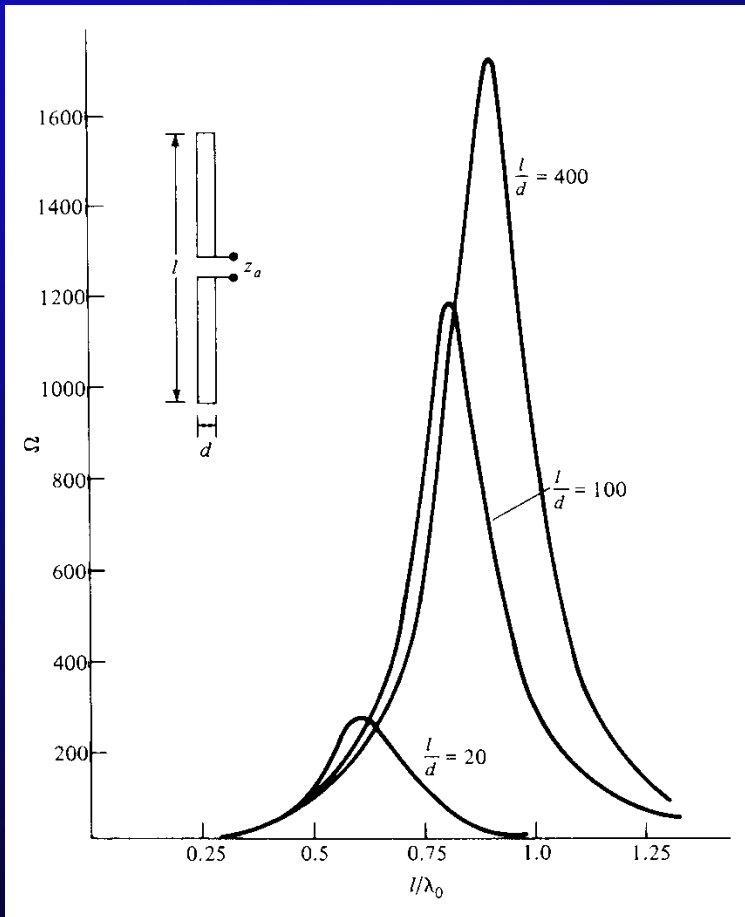
$$Z_A = R_A + jX_A$$

$$Z_g = R_g + jX_g$$

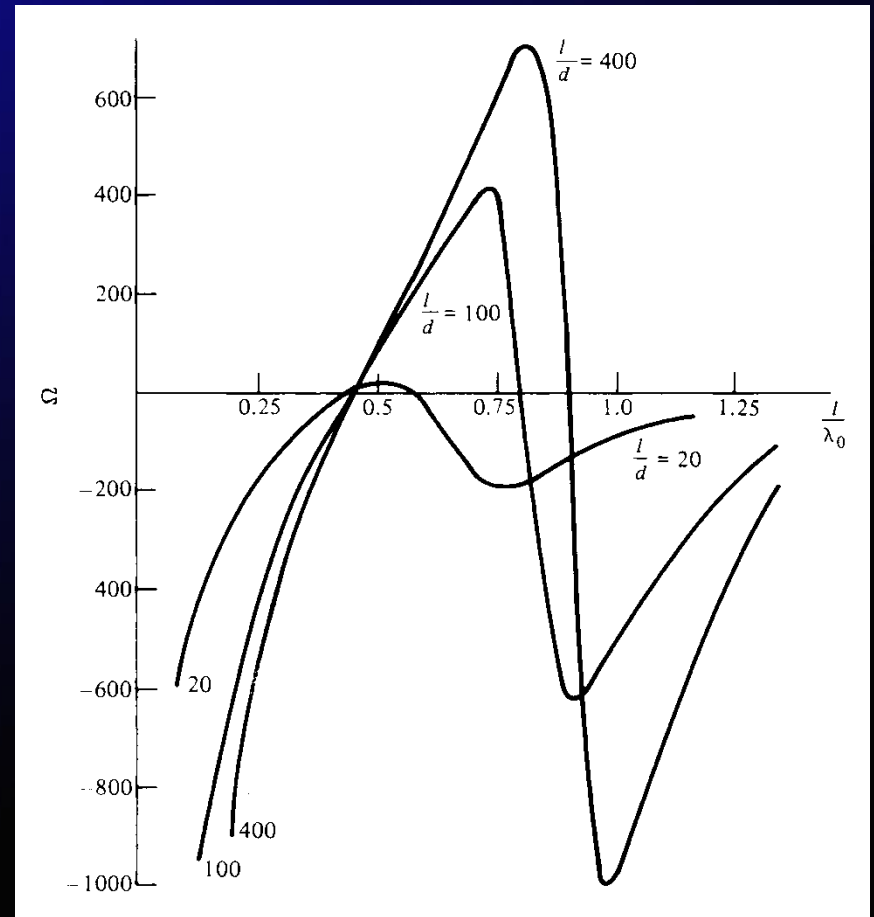
$$I_g = \frac{U_g}{Z} = \frac{U_g}{Z_A + Z_g} = \frac{U_g}{(R_{vyz} + R_{ztr} + R_g) + j(X_A + X_g)}$$

$$P_{vyz} = \frac{1}{2} |I_g|^2 R_{vyz} = \frac{|U_g|^2}{2} \left[ \frac{R_{vyz}}{(R_{vyz} + R_{ztr} + R_g) + (X_A + X_g)^2} \right]$$

# Vstupná impedancia - dipól



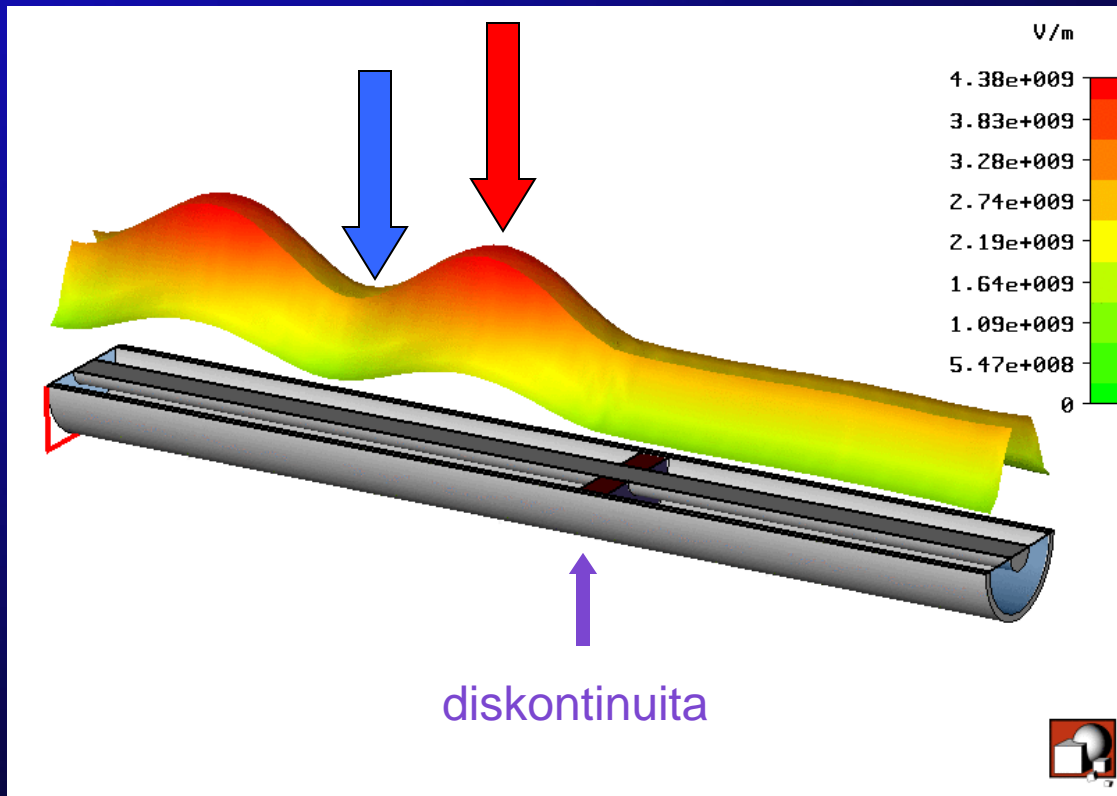
Rezistencia



Reaktancia



# Činiteľ odrazu $\Gamma$ , PSV



$$\Gamma = \frac{E_{REFL}}{E_{EXCIT.}}$$

$$\Gamma = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

$$PSV = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$$

$$P_{REFL} = P_{EXCIT} \cdot |\Gamma|^2$$

# Efektívna plocha a dĺžka antény

- $A_{\text{ef}} = P_{\text{p}}/S_{\text{dop}}$ 
  - efektívna (absorpčná) plocha, z ktorej je výkonová hustota prevedená na výkon na svorkách antény
  - závisí na zisku antény a vlnovej dĺžke

$$A_{\text{ef max}} = (\eta_c \eta_d) \cdot (1 - |\mathbf{R}|^2) \cdot |\boldsymbol{\rho}_p \boldsymbol{\rho}_v^*|^2 \cdot \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \cdot D_{\text{max}}$$

- $L_{\text{ef}} = U_i/E$ 
  - efektívna dĺžka antény, dĺžka pri ktorej sa vplyvom dopadajúcej intenzity elektromagnetického poľa naindukujú na svorkách antény napätie  $U$

# Efektívna plocha antény

$$\frac{P_z}{S_{\text{dop}}} = \frac{|I_z|^2 R_z}{2S_{\text{dop}}} = \frac{|U_z|^2}{2S_{\text{dop}}} \left[ \frac{R_z}{(R_{\text{vyz}} + R_{\text{ztr}} + R_z)^2 + (X_A + X_z)^2} \right]$$

$$A_{\text{ef}_{\text{max}}} = \frac{|U_z|^2}{8S_{\text{dop}}} \left[ \frac{R_z}{(R_{\text{ztr}} + R_{\text{vyz}})^2} \right] = \frac{|U_z|^2}{8S_{\text{dop}}} \left[ \frac{1}{R_{\text{ztr}} + R_{\text{vyz}}} \right]$$

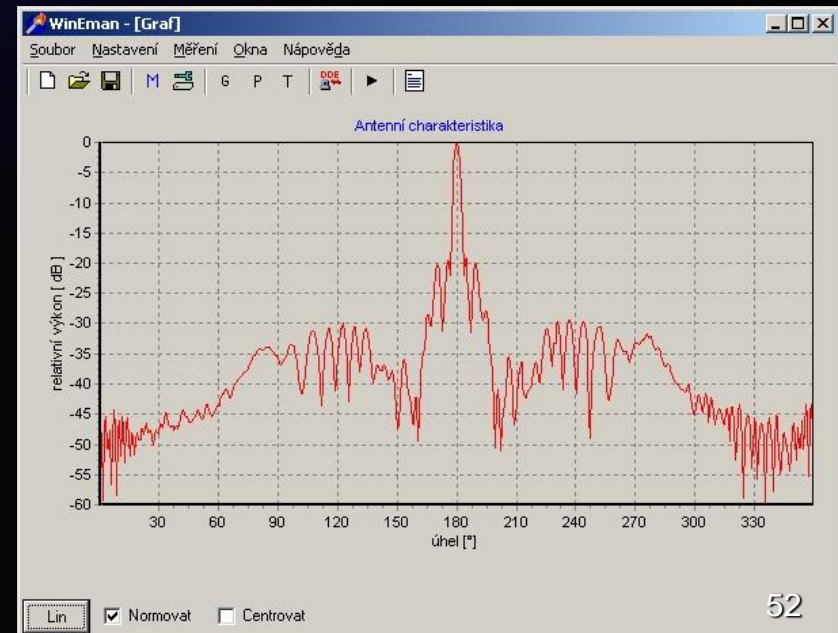
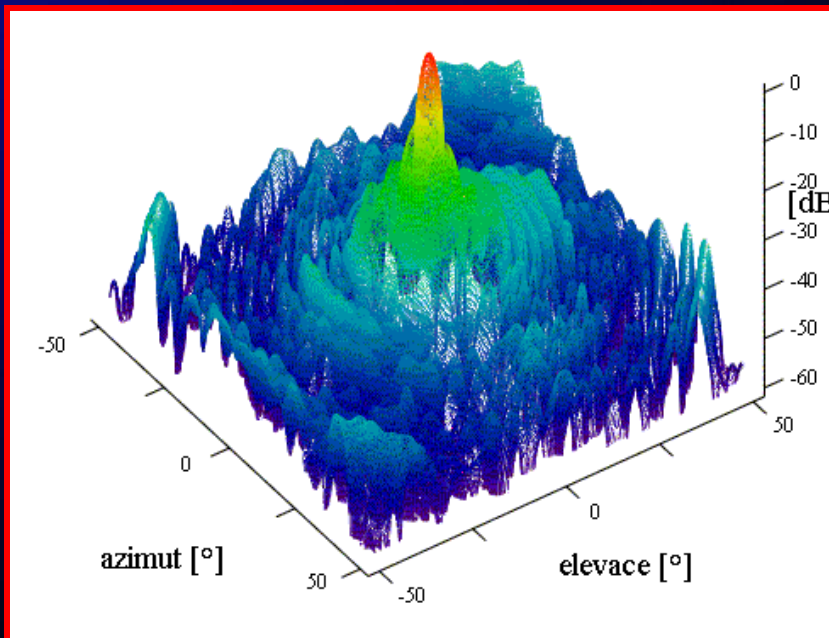
# Vyžarovacie / smerové charakteristiky

## ■ Vyžarovací/smerový diagram

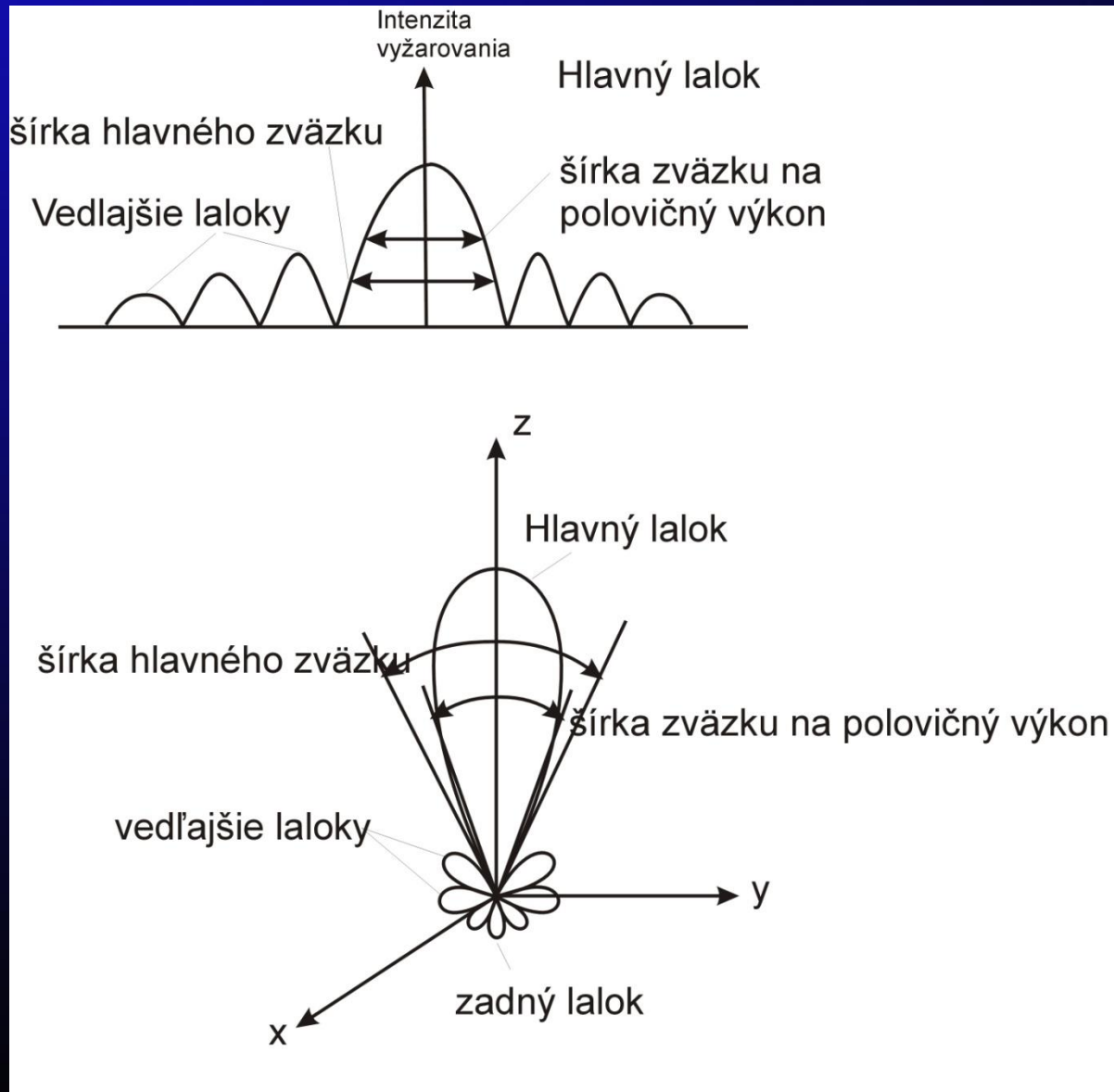
- grafické znázornenie hodnôt amplitúdy a fázy intenzity elektrického poľa  $E$  vo vzdialenosti  $r > 2D^2/2$

$$E = C.Ae^{j\psi} a_0 F(\vartheta, \varphi) \cdot \frac{e^{-jkr}}{r}$$

- určuje/meria sa v hlavných rezoch (E a H rovinách)



# Vyžarovacie / smerové charakteristiky



# Smerovosť antény

- **Smerovosť  $D$  (directivity)** je pomer intenzity vyžarovania  $U$  v danom smere ku intenzite vyžarovania referenčnej antény  $U_0$ . Väčšinou je použitá ako referenčná anténa izotropický (izotropný) žiarič.

$$D(\vartheta, \varphi) = \frac{U(\vartheta, \varphi)}{U_0} = \frac{4\pi U(\vartheta, \varphi)}{P_{\text{vyz}}} \quad D_{\text{max}} = \frac{U_{\text{max}}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\text{max}}}{P_{\text{vyz}}} \quad U_{\text{max}} = B_0 F_{\text{max}}^2(\vartheta_0, \varphi_0)$$

$$P_{\text{vyz}} = \oint_{\Omega} U(\vartheta, \varphi) d\Omega = B_0 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F^2(\vartheta, \varphi) \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$$

$$D_{\text{max}} = 4\pi \frac{F_{\text{max}}^2(\vartheta_0, \varphi_0)}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F^2(\vartheta, \varphi) \sin \vartheta d\vartheta d\varphi} = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F_n^2(\vartheta, \varphi) \sin \vartheta d\vartheta d\varphi}$$

# Účinnosť a zisk antény

- **Celkový výkon** vyžiarený anténou  $P_{\text{vyz}}$  a výkon  $P_{\text{vst}}$  na vstupe bezstratovej antény sú zviazané vzťahom:

$$P_{\text{vyz}} = \eta P_{\text{vst}}$$

- **Vyžarovacia účinnosť** antény

$$\eta_{\text{vyz}} = \frac{R_{\text{vyz}}}{R_{\text{ztr}} + R_{\text{vyz}}} = \eta_c \eta_d$$

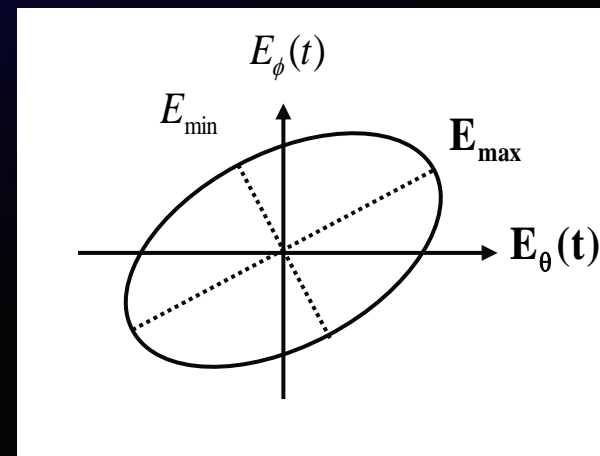
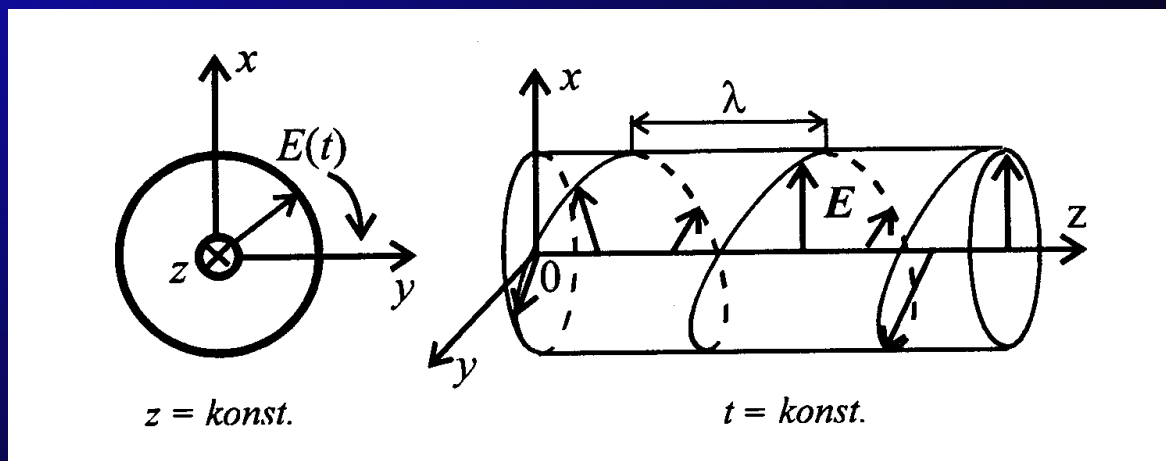
- **Zisk  $G$**  je obecné spojený so smerovosťou  $D$  vzťahom

$$G = \eta D$$

udáva sa v dBi resp. v dBd

# Polarizačné vlastnosti (1)

- **Polarizácia** vlny vyžarovaná anténou do daného smeru je priemet koncového bodu vektora intenzity elektrického poľa do roviny kolmej na smer šírenia (vo vzdialenom poli)



- **Druhy polarizácie**

- eliptická (obecne každá)
- lineárna (horizontálna, vertikálna)
- kruhová (pravotočivá, ľavotočivá)



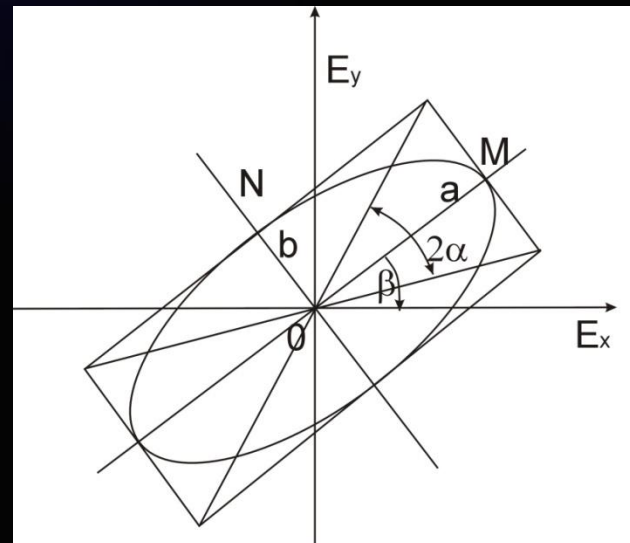
# Polarizačné vlastnosti (2)

$$OM = \left\{ \frac{1}{2} \left[ E_x^2 + E_y^2 + \left[ E_x^4 + E_y^4 + 2E_x^2 E_y^2 \cos(2\Delta\phi) \right]^{\frac{1}{2}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$ON = \left\{ \frac{1}{2} \left[ E_x^2 + E_y^2 - \left[ E_x^4 + E_y^4 + 2E_x^2 E_y^2 \cos(2\Delta\phi) \right]^{\frac{1}{2}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

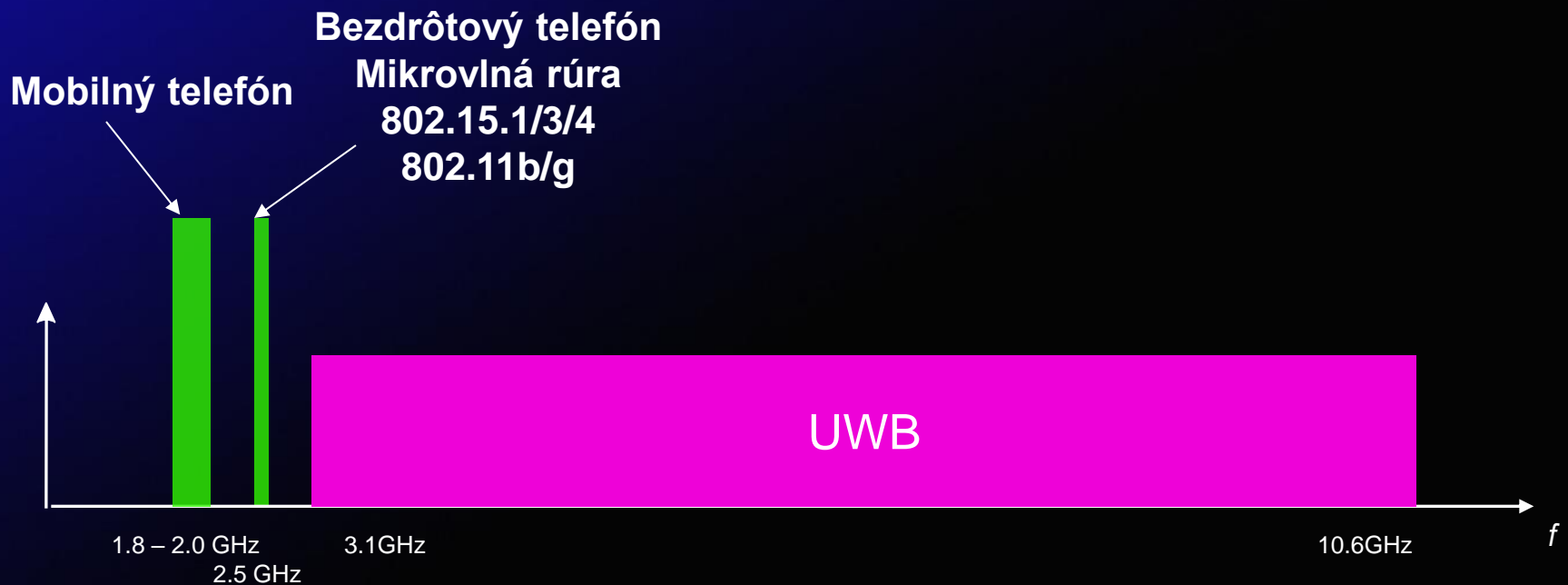
$$\beta = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left[ \frac{2E_x E_y}{E_x^2 - E_y^2} \cos(2\Delta\phi) \right]$$

$$AR = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \left| \frac{E_{OM}}{E_{ON}} \right|$$

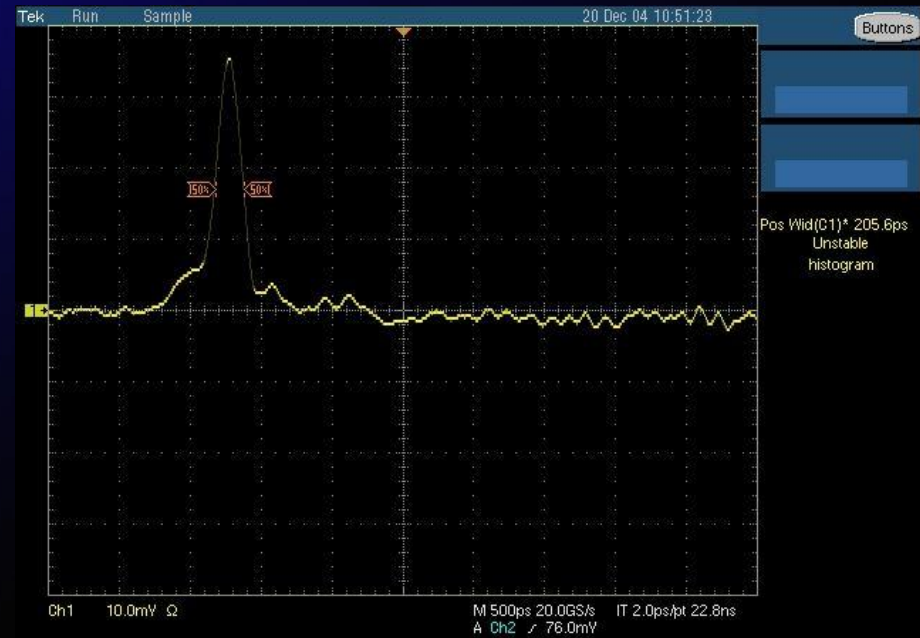
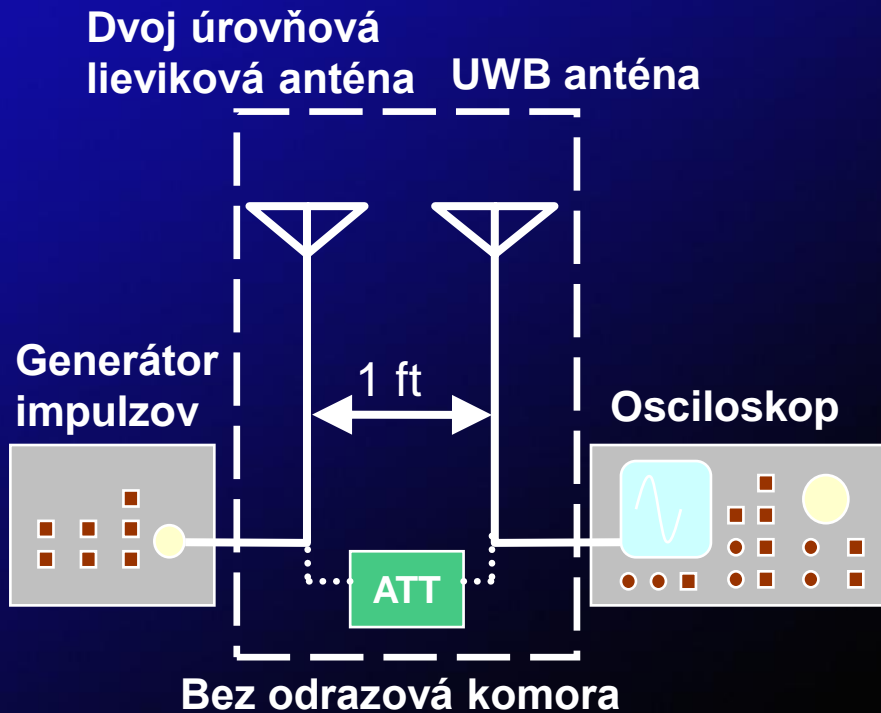


# Impulzné charakteristiky

- Meranie UWB antén (3,1 – 10,6 GHz, BW > 100%)
  - impulzné odozvy
  - skupinového oneskorenia

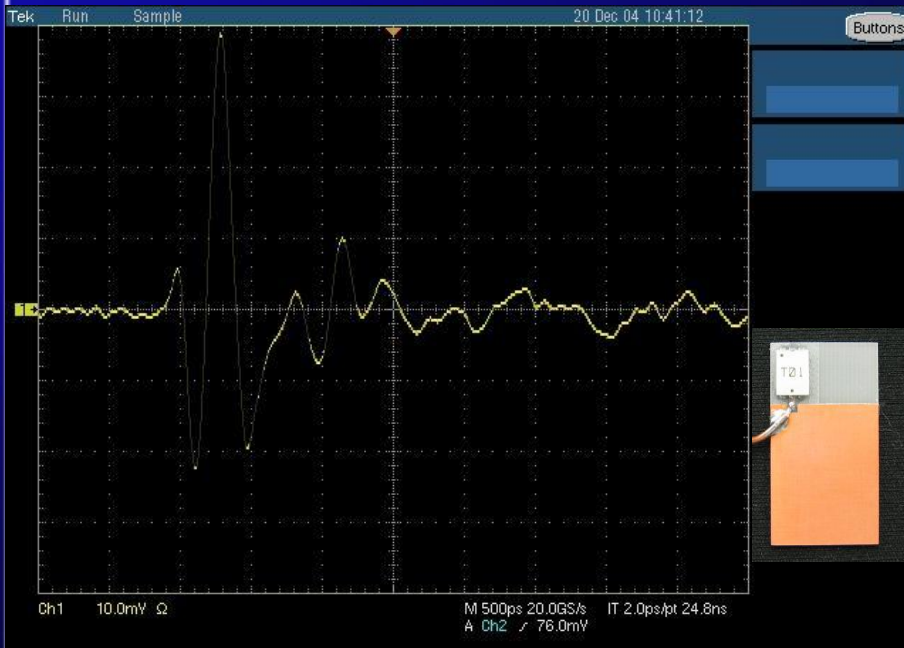


# Impulzná odozva (1)



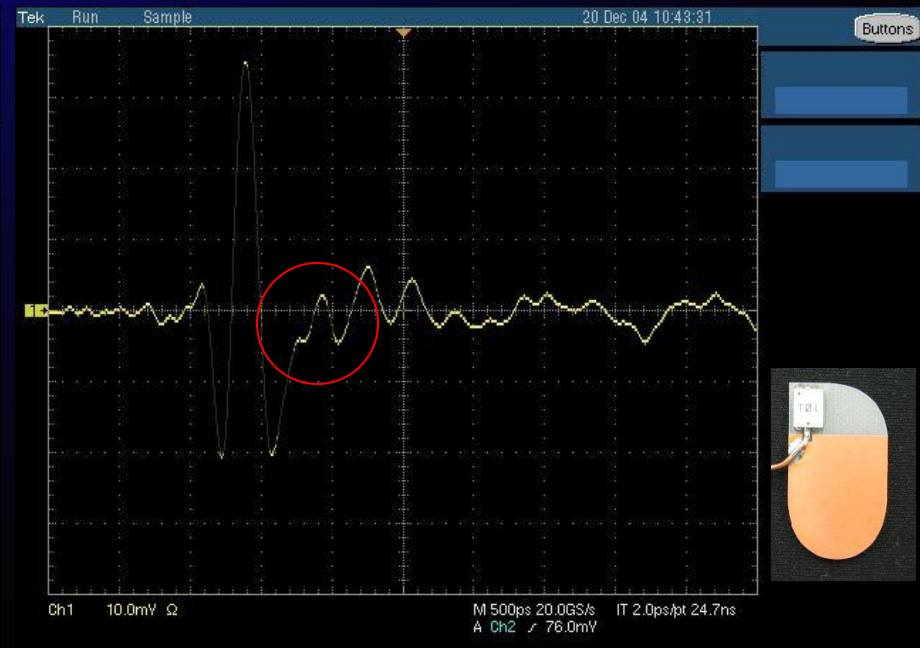
Vysielaný signál na vstupe dvoj úrovňovej lievikovej antény  
500ps/Div 10mV/Div

# Impulzná odozva (2)



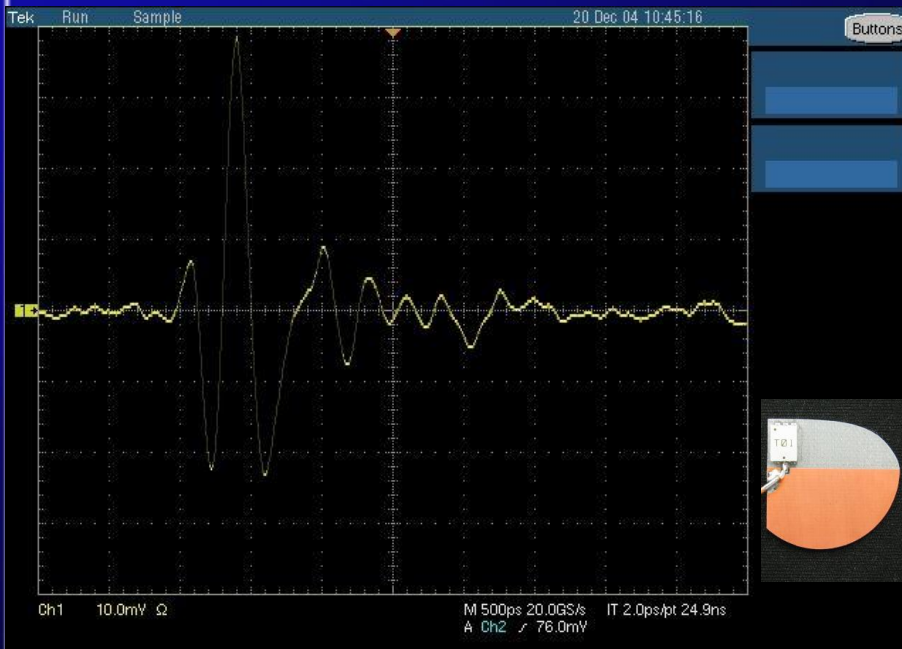
Prijatý signál anténou A  
500ps/Div 10mV/Div

prevzaté: Mick Aoki, Taiyo Yuden/TRDA



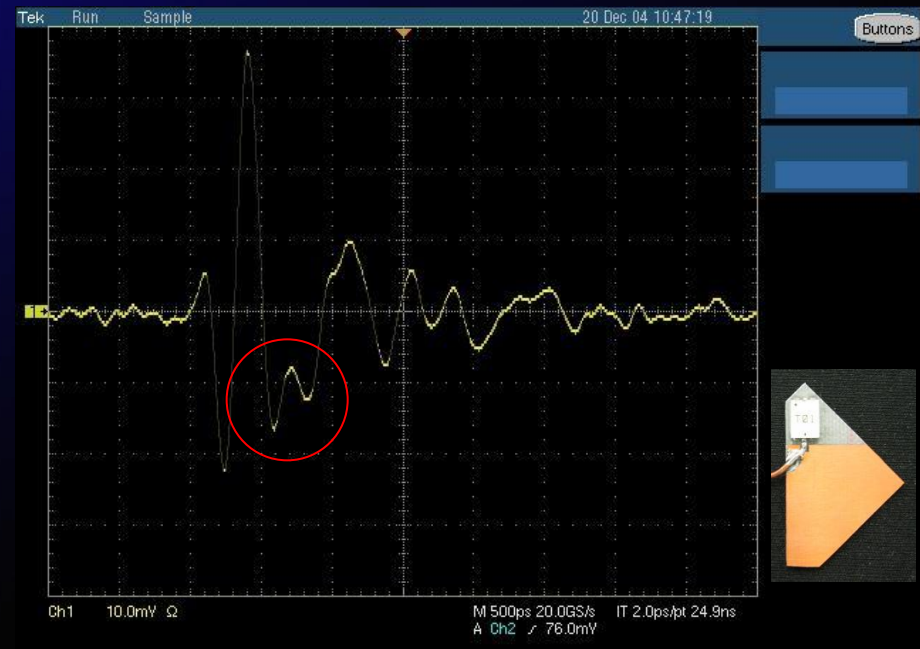
Prijatý signál anténou B  
500ps/Div 10mV/Div

# Impulzná odozva (3)



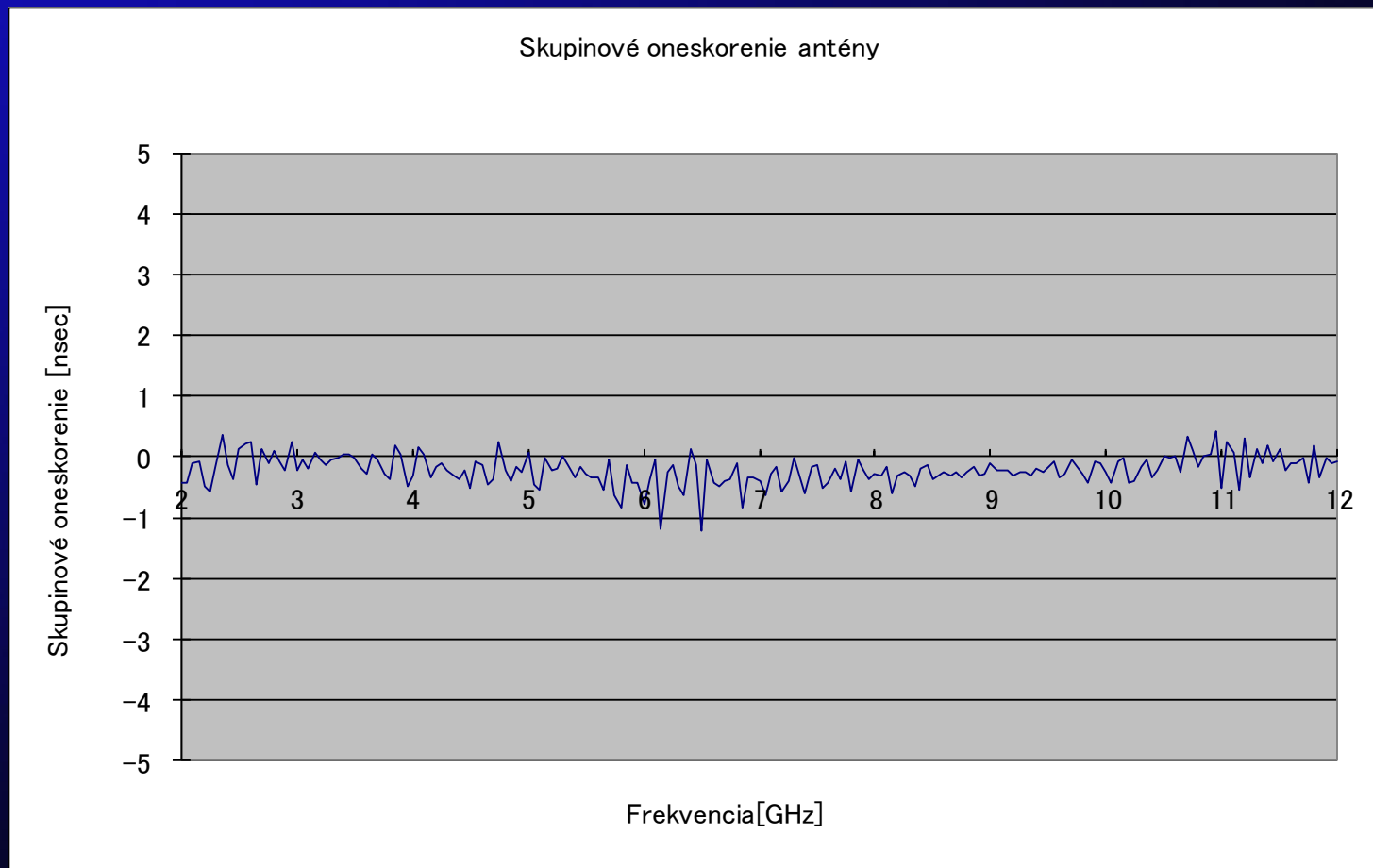
Prijatý signál anténou C  
500ps/Div 10mV/Div

prevzaté: Mick Aoki, Taiyo Yuden/TRDA



Prijatý signál anténou D  
500ps/Div 10mV/Div

# Skupinové oneskorenie



Príklad : Anténa A

prevzaté: Mick Aoki, Taiyo Yuden/TRDA

# Témy na zapamätanie

- História objavov: Farraday, Maxwell, Hertz, Marconi, ....
- Definícia antény
- Typy antén
- Parametre antény

# Kontrolné otázky

- Kto to bol Hans Christian Ørsted?
- Kto to bol François Arago?
- Kto to bol André-Marie Ampere?
- Kto to bol Michael Faraday?
- Kto to bol James Clerk Maxwell?
- Kto to bol Heinrich Hertz?
- Kto to bol Guglielmo Marconi?
- Kto to bol Alexander Stepanovič Popov?
- Ktorý z fyzikov objavil v r. 1820 súvis medzi elektrinou a magnetizmom?
- Ktorý z fyzikov objavil v r. 1820 princíp produkcie magnetizmu pomocou cylindricky stočeného medeného vodiča?



- Ktorý z fyzikov vyslovil v r. 1820 prvú teóriu magnetizmu?
- Ktorý z fyzikov objavil v r. 1831 elektromagnetickú indukciu?
- Ktorý z fyzikov vynášiel v r. 1887 oscilátor?
- Komu sa pripisuje vynález rádia (1896)?
- Ktorý z fyzikov publikoval v r. 1873 „Pojednanie o elektrine a magnetizme“, ktoré sa stalo známe ako séria štyroch rovníc, ktoré kompletne popisujú vzájomné pôsobenie elektrických a magnetických polí?
- Kto získal v r. 1933 patent na „FM“?
- Aký prvok je anténa?
- Definícia antény.
- Ktoré antény patria do rozdelenia podľa tvaru žiariča?
- Ako rozdeľujeme antény podľa usporiadania žiariča?

- Ako rozdeľujeme antény podľa typu vlny?
- Ktoré sú základné parametre antén?
- Ktoré sú impedančné parametre antén?
- Ktoré sú smerové parametre antén?

# Zoznam použitých skratiek a symbolov

## ■ Skratky:

- el- elektrický
- ELM,elm- elektromagnetický
- dB- decibel
- PSV- pomer stojatých vln

## ■ Značky:

- $A_{ef}$ - efektívna plocha antény
- $\alpha$  – tlmenie
- D- smerovosť
- E- intenzita elektrického poľa
- f- frekvencia
- G- zisk antény
- H- intenzita magnetického poľa
- $L_{ef}$ - efektívna dĺžka antény
- r- polomer

**Ďakujem za pozornosť**