



Prenosové médiá 10

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.

(lubos.ovsenik@tuke.sk; tel. 421 55 602 4336)

https://data.kemt.fei.tuke.sk/PM_PS_Prenosove_media/

BEZDRÔTOVÝ PRENOS (Wireless) 4

(VÝZNAM ANTÉN A ICH ZÁKLADNÉ PARAMETRE)

- Definícia pojmu „ANTÉNA“
- Rozdelenie antén
 - Delenie antén podľa tvaru žiariča
 - Delenie antén podľa usporiadania žiariča
 - Delenie antén podľa typu vlny
- Základné vlastnosti/parametre antén
 - Impedančné vlastnosti/parametre antén
 - Smerové vlastnosti/parametre antén
 - Ďalšie vlastnosti/parametre antén
- Elektromagnetické pole elementárnych zdrojov
 - Elementárny elektrický dipól (Hertzov)
 - Elementárny magnetický dipól
 - Elementárna apertúra
 - Elementárna štrbina
 - Elektromagnetické pole sústavy zdrojov

Definícia pojmu „ANTÉNA“

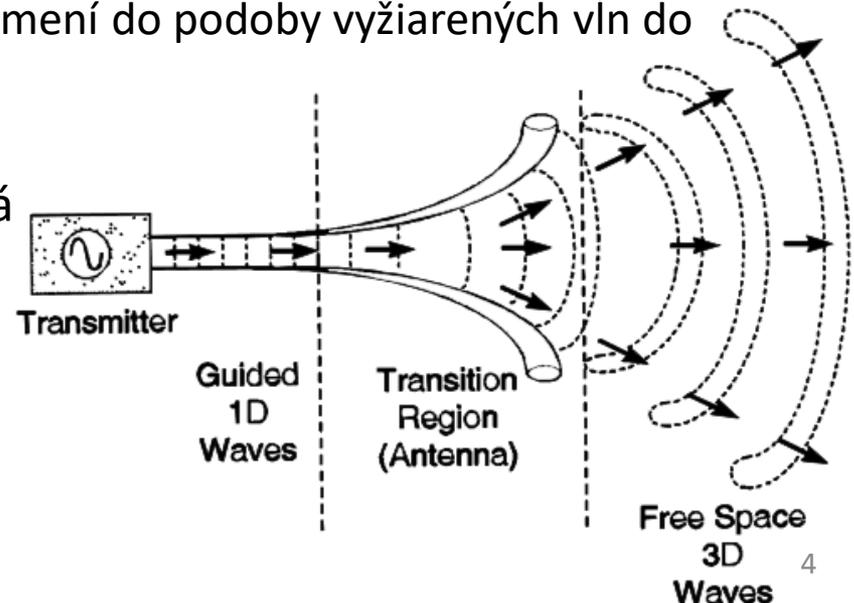
Anténa – je tá časť vysielacieho alebo prijímacieho systému, ktorá je navrhnutá pre vysielanie alebo príjem elm vln

(Podľa IEEE Standard Definitions of Transfer Antennas v IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. AP-17, No.3, May 1969 + Vol. AP-22, No.1, January 1974)

- **anténa** je významným prvkom rádiového spoja, ktorého úlohou je:
 - **transformovať** vedenú elektromagnetickú vlnu na kvázi rovinnú vlnu, šíriacu sa vo voľnom priestore (**VA**) naopak (**PA**)
 - **prispôbovať** prenosové vedenie k voľnému priestoru
 - **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 (PP, C/I, BER, ...)

- **prakticky** môžeme anténu chápať ako **skupinu elementárnych zdrojov** usporiadaných tak, aby **spĺňali určité podmienky**, predovšetkým aby vytvárali požadovaný tvar smerovej charakteristiky pre elm vlnu istej frekvencie (VA – vysielač anténa)
- **anténa mení charakter šírenia** zo šírenia v umelo vytvorenom reťazci (napájač) na šírenie v všeobecnom priestore
- **podľa smeru** tejto zmeny sa antény delia na **vysielacie (VA)** a **prijímacie (PA)**
 - **vysielač anténa** pracuje ako určitý **transformátor meniaci** vlnenie pozdĺž vedenia na vlnenie vo voľnom priestore
 - obr. ukazuje, ako vlny zadržované v prenosovom jednorozmernom vf vedení postupujú k anténe, ktorá ich premení do podoby vyžiarených vln do trojrozmerného priestoru

- funkcia **prijímacej antény** je opačná



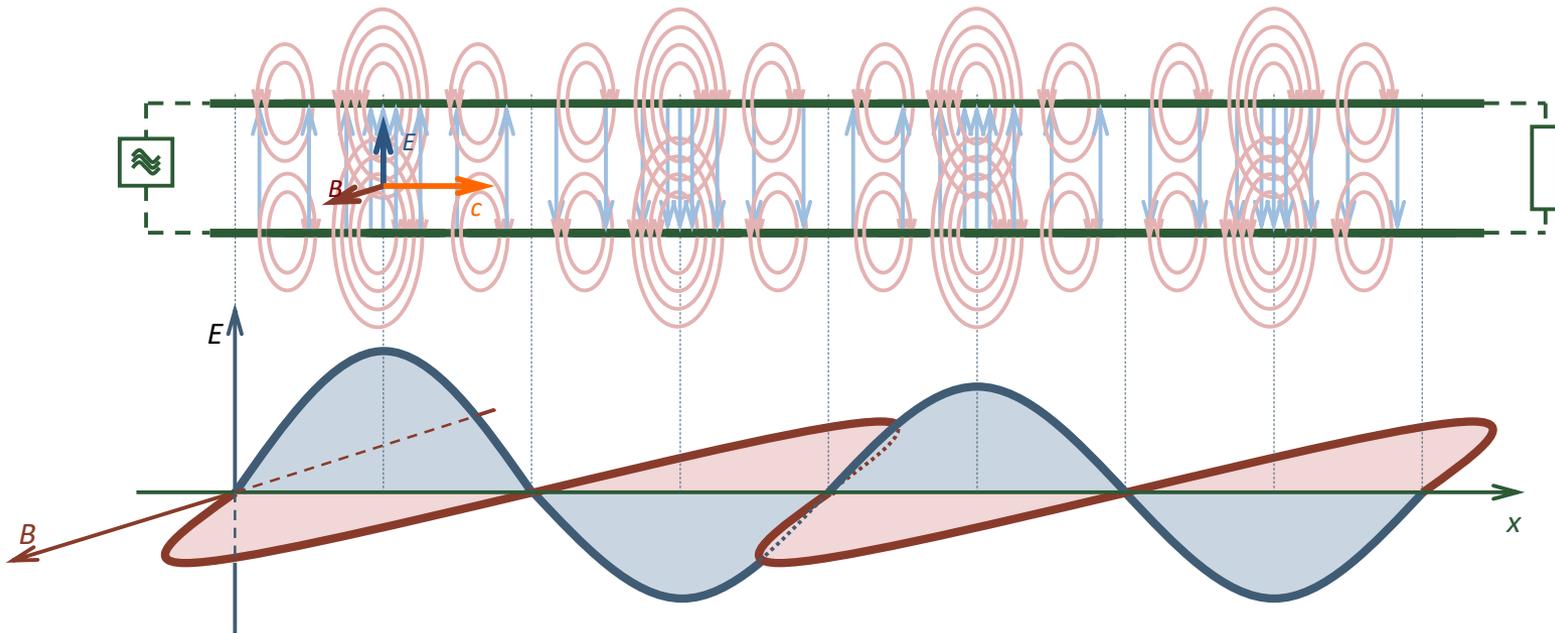
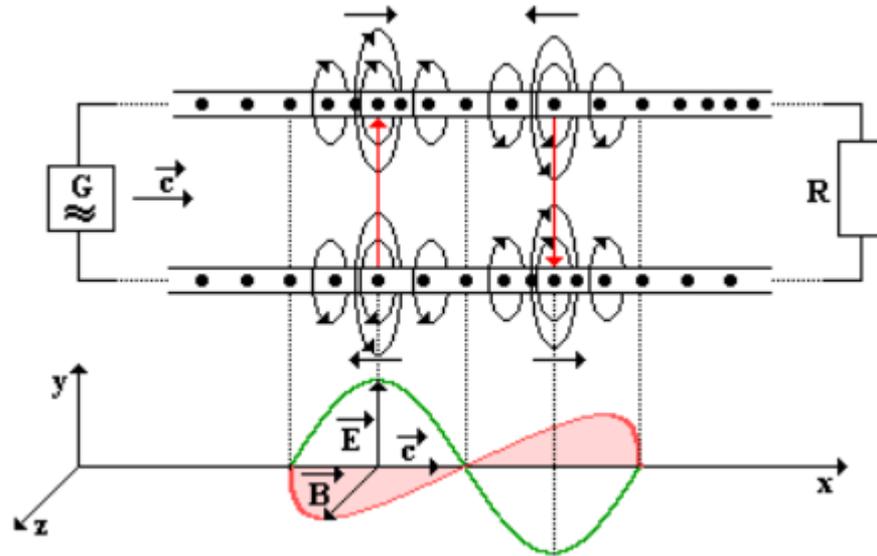
MECHANIZMUS VYŽAROVANIA ELM VLNY

Ak vytvorí **harmonicky premenlivý zdroj** napätie medzi dvoma symetrickými doskami, vzniká medzi týmito doskami **elektrické pole**, ale aj prechádzajúci prúd, ktorý spôsobí ďalej vznik **magnetického poľa**



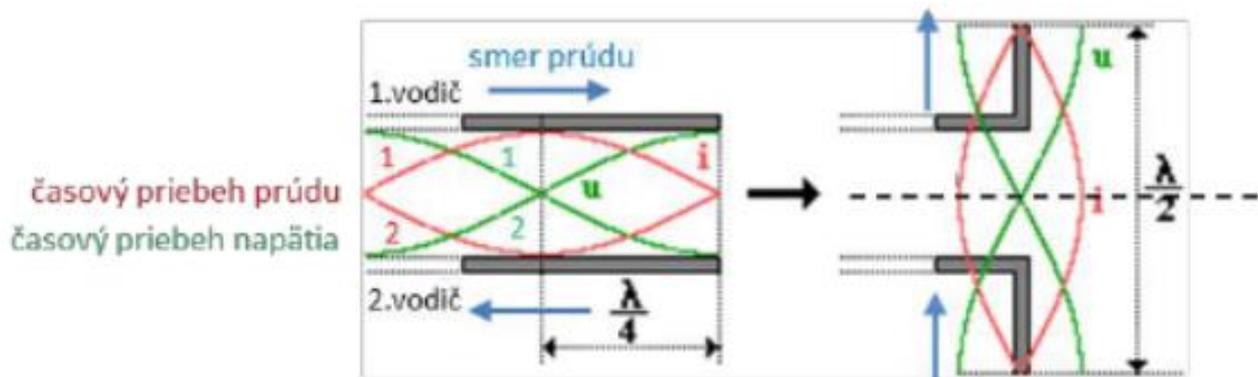
- ak je pripojené **dvojvodičové vedenie k zdroju harmonického napätia vysokej frekvencie**, je napätie medzi vodičmi popisné rovnicou postupnej elektromagnetickej vlny
 - to znamená, že ani náboj vodičov nie je rozložený rovnomerne a medzi vodičmi je v rôznych miestach rôzna elektrická intenzita
 - **medzi vodičmi teda vzniká elektrické pole s nerovnomerným rozložením siločiar**
 - pre určitý okamžik je elektrické pole znázornené na obr. (symbolom sú • značené vodivostné elektróny)

Obr. Mechanizmus vyžarovanie elm vlny

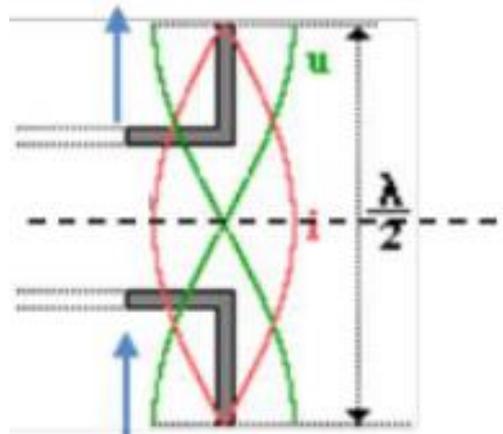


- ak je na konci vedenia pripojený rezistor (spotrebič), na ktorom sa všetka elektromagnetická energia mení na inú formu energie (vnútorná energia, ...), má prúd na vedení rovnakú fázu ako napätie
 - v miestach najväčšieho napätia bude teda na vedení tiež najvyšší prúd
 - súčasne s elektrickým poľom bude teda vznikať okolo vedenia aj magnetické pole
 - na obr. je znázornené magnetickými indukčnými čarami v tvare sústredných kružníc
 - vektor magnetickej indukcie je kolmý na vektor intenzity elektrického poľa

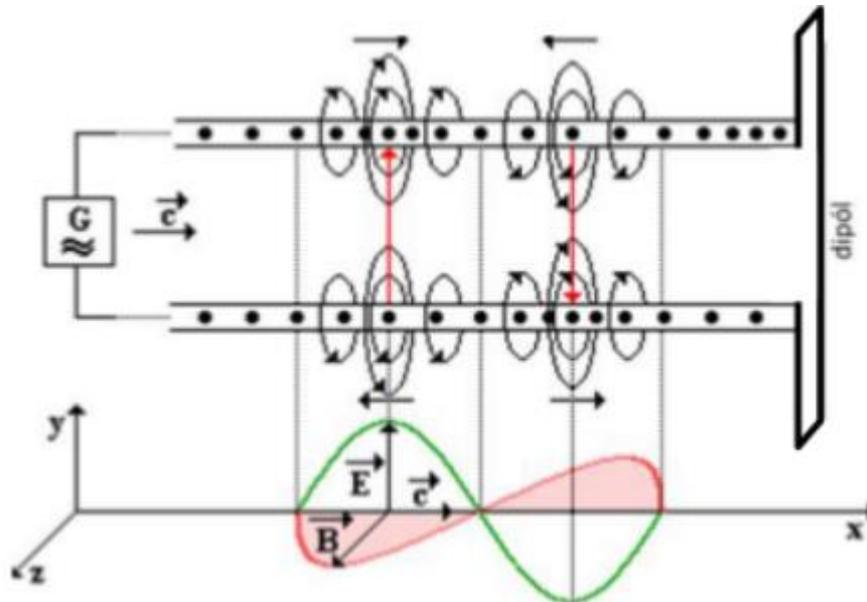
- keď začneme oddiaľovať od zdroja vzdialenejšie konce vodičov od seba, dostaneme vlastne dipólovou anténu
 - dipól je teda možné vytvoriť z dvojvodičového vedenia dĺžky $\lambda/4$, ktoré je zdrojom elm vlnenia



- prúdy v oboch vodičoch štvrt'-vlnového vedenia majú v každom okamihu rovnakú veľkosť, ale opačný smer (fázu)
 - okolo vodičov vzniknú magnetické polia, ktorých indukčné čiary majú
 - medzi vodičmi rovnaký smer
 - v okolí vodičov smer opačný
 - výsledné pole je najintenzívnejšie medzi vodičmi a v ich okolí jeho veľkosť klesá
 - preto takáto sústava len nepatrne vyžaruje energiu elm poľa a môžeme ju považovať za uzavretý systém
- **aby nastalo vyžarovanie energie**, je potrebné **roztvoriť konce dvojvodičového vedenia** do smeru kolmého k vedeniu (vid'. obr.), aby prúd pretekal oboma vodičmi (časťami dipólu) rovnakým smerom

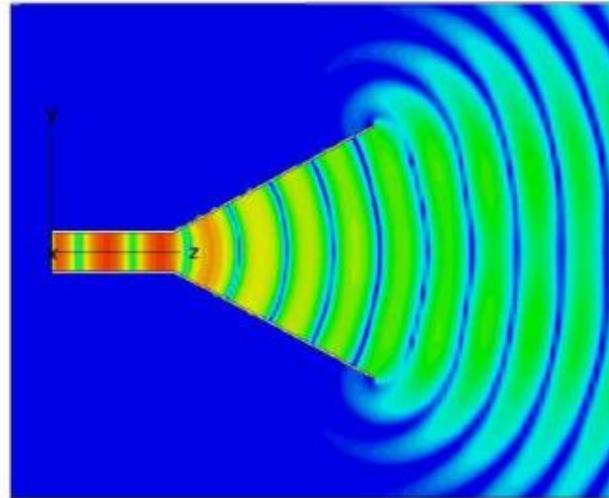


- magnetické pole vytvorené prúdmi vo vodičoch dipólu sa zväčší a zasahuje do celého priestoru v okolí dipólu
- napätie na koncoch dosahuje periodicky najvyššie hodnoty a vzniká elektrické pole, ktoré tiež zasahuje do prostredia
 - dochádza k **vyžarovaniu elm poľa do prostredia**
- tento jednoduchý dipól má dĺžku $\lambda/2$ vyžarovanej vlnovej dĺžky elm vlnenia
 - v **smere kolmom k dipólu** (t.j. v smere kolmom k jeho pozdĺžnej osi) sa **vyžaruje najväčšia energia**
 - v **smere pozdĺžnej osi** sa **energia nevyžaruje**



■ mechanizmus vyžarovania elm vln v/z antény a ich šírenie

- intenzita elektrického poľa v anténe pôsobí na voľné náboje v tejto anténe a uvádza ich do pohybu
- v anténe vzniká vynútený prúd harmonického priebehu
- tento prúd je príčinou vzniku harmonického magnetického poľa v blízkosti antény
- harmonicky sa meniace magnetické pole indukuje (podľa Maxwellových rovníc) pole elektrické, to opäť pole magnetické a tak to pokračuje v priestore ďalej
- v istej vzdialenosti od antény sa už šíri elektromagnetická vlna, ktorú pôvodný zdroj (vysielač) ďalej neovplyvňuje
 - je to podobné ako u vln na vode po dopade telesa do vody
- elektrické náboje a ich silové pôsobenie je nutné pre vybudenie poľa, ale nie pre udržanie vln v priestore



OBLASTI ELM POĽA ANTÉNY

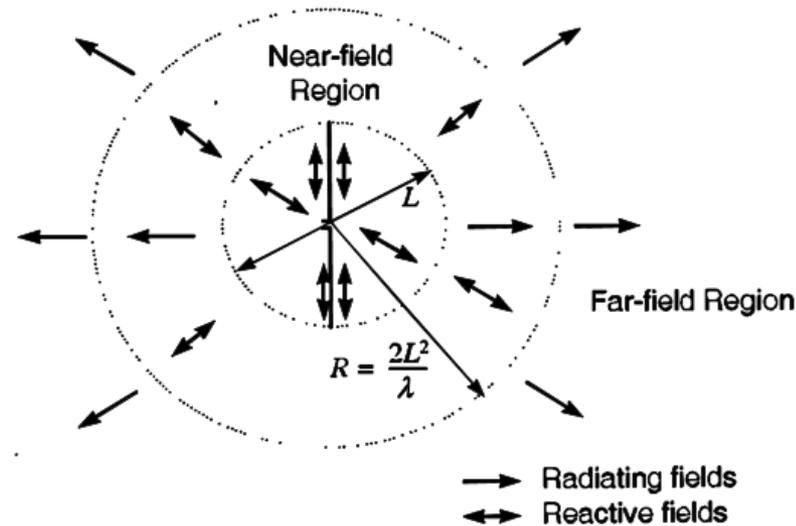
- **Blízka oblasť poľa** (reactive near-field region) - je oblasť v **bezprostrednej blízkosti** antény
 - elektromagnetické pole v tejto oblasti **nemá ešte charakter** elm vlny
 - fázová rýchlosť, t.j. rýchlosť pohybu siločiar od zdroja je väčšia ako rýchlosť prenosu energie
 - ak sa vzdáľujeme od antény fázová rýchlosť klesá, až po hodnotu skupinovej rýchlosti, ktorú dosahuje vo voľnom priestore
 - tato rýchlosť je potom skutočnou rýchlosťou prenosu energie
 - blízka oblasť poľa sa nachádza v priestore medzi anténou a guľou o polomere

$$R_1 = 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

- kde λ je vlnová dĺžka a D najväčší rozmer antény
- výkon v tejto oblasti je vyžiarený z antény a celý navrátený do antény, ide teda len o výmenu jalového výkonu

- **Blízka žiarivá oblasť poľa** (radiating near-field region) (Fresnelova oblasť) - je oblasť zahrnujúca všetky body v ktorých sa prejaví medzi najkratšou a najdlhšou dráhou od antény chyba fázy menšia ako $\pi/8$ (t.j. $\lambda/16$)
 - je to v podstate oblasť ktorej spodnú hranicu tvorí povrch gule ohraničujúcu blízku oblasť poľa, hornú hranicu potom guľa o polomere

$$R_2 = \frac{2D^2}{\lambda}$$



- **Vzdialená oblasť** (far field) tiež vzdialená zóna antény alebo Fraunhoferova oblasť - začína na hranici R_2 a pokračuje v podstatědo nekonečna
 - v tejto oblasti môžeme radiálne zložky intenzít zanedbať a vlna má charakter TEM vlny
 - presné merania antén robíme práve v tejto oblasti

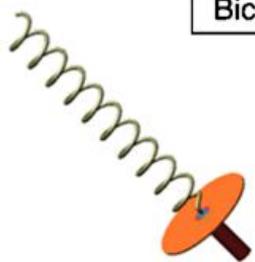
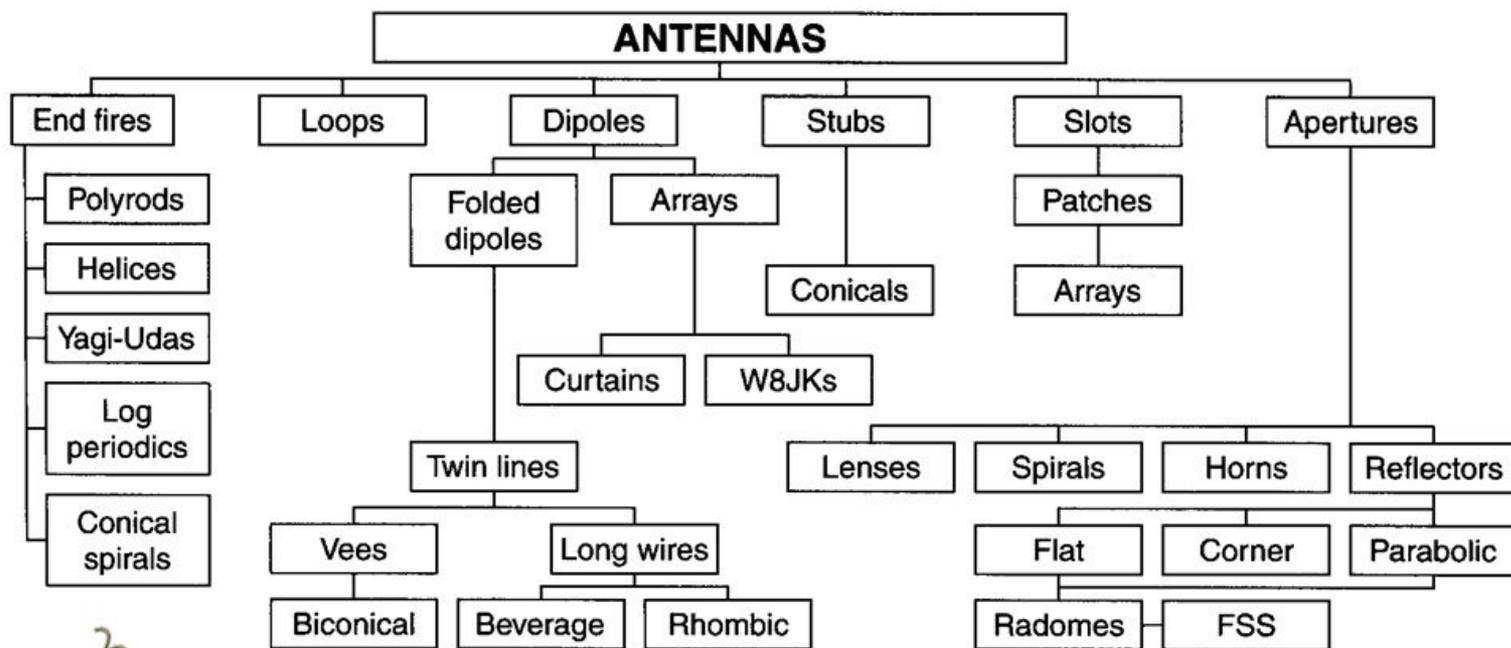
Rozdelenie antén

- **antény delíme podľa rôznych hľadísk** - delenie úzko súvisí **s ich použitím**, my si spomenieme len tie najbežnejšie delenia:
 - **podľa smeru premeny vysokofrekvenčnej energie** na antény vysielacie a prijímacie
 - **podľa frekvenčného pásma** na antény pre DV, SV, KV, VKV, atď.
 - **podľa rozloženia VF napätia (a prúdu)** na antény so stojatou vlnou (rezonančné antény) a antény s postupujúcou vlnou (nerезonančné)
 - **podľa smeru vyžarovania** alebo najväčšej citlivosti na antény všesmerové a antény so smerovými účinkami
 - **podľa oboru použitia** na antény rozhlasové, televízne, GSM, GPS, zameriavacie, atď.
 - **podľa šírky pásma**, v ktorom je anténa schopná pracovať, na antény úzkopásmové, širokopásmové a extrémne širokopásmové
 - **podľa počtu prvkov** na antény jednoduché (jednoprvkové) a zložené (viacprvkové)
 - **podľa povahy zdrojov elektromagnetického poľa** v anténe na antény vodičové (lineárne) a plošné (apertúrové) antény

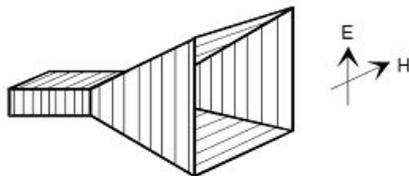
■ Základné delenie antén

- podľa tvaru žiariča
- podľa usporiadania žiariča
- podľa typu vlny

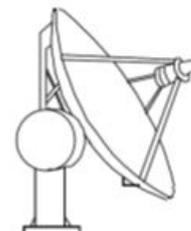
Antenna types



Helical antenna



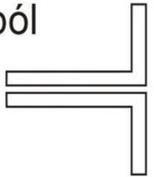
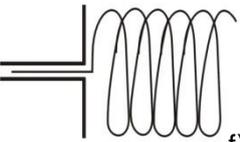
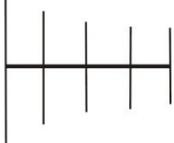
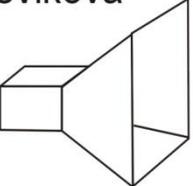
Horn antenna



Parabolic reflector antenna

Delenie antén podľa tvaru žiariča

- **lineárne** – prútové (obr. a,g), slučkové (obr. b)
- **apertúrové** - lievnikové (obr. h), reflektorové, mikropásikové (obr. c), štrbinové (obr. d,i), šošovkové
- **dielektrické**
- **špirálové** (obr. e) a **skrutkovicové** (obr. f)

Dipól  a)	Slučková  b)	Plátková  c)
Štrbinová  d)	Špirálová  e)	Skrutkovicová  f)
Yagi-Uda  g)	Lievniková  h)	Bočnicová  i)

Obr. Ukážka **lineárnych prútových** (vodičových) antén



■ **použitie** napr.:

- príjem rozhlasových signálov (automobily,...)
- WiFi router
- vysielачky
- príjem TV signálov (DVB-T)

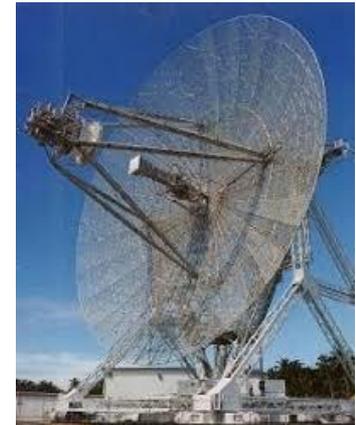
Obr. Ukážka lineárnych slučkových antén



■ použitie napr.:

- príjem TV signálov (DVB-T- indoor)
- príjem rozhlasových signálov (rozhlasový prijímač – indoor)

Obr. Ukážka **apertúrových lievnikových antén**



■ **použitie** napr.:

- meracia referenčná anténa
- UWB radarová technika (senzory,...)
- žiarič reflektorových antén, atď.



Obr. Ukážka **apertúrových reflektorových antén**

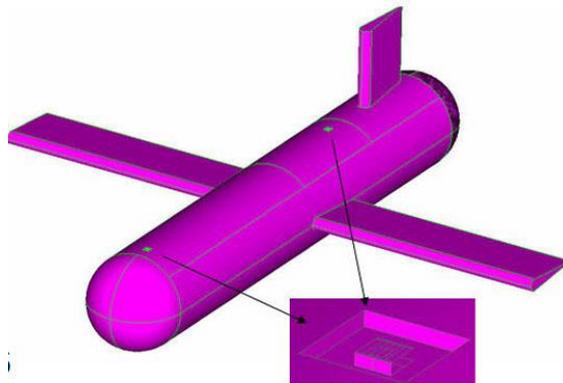
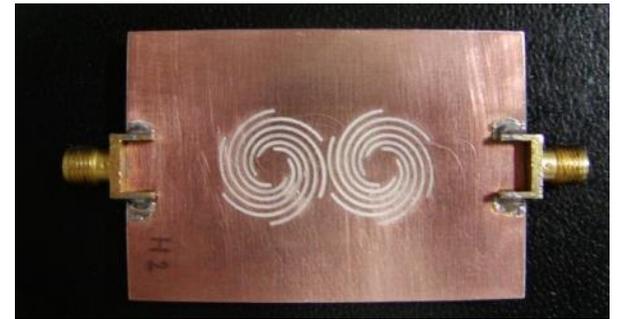
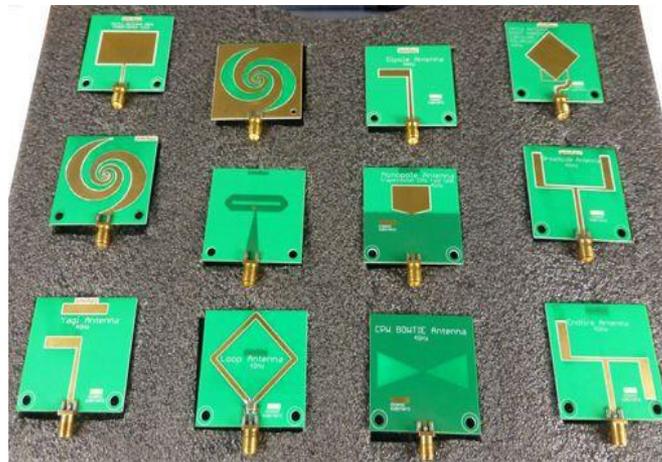
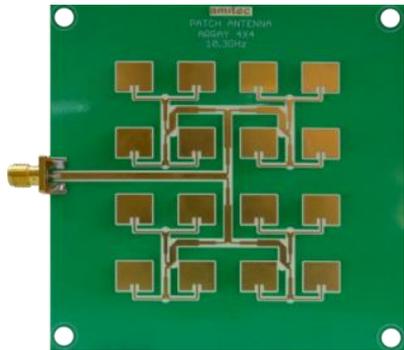


■ **použitie** napr.:

- TV prenos (DVB-S)
- skúmanie kozmu
- WiFi, GSM, atď.



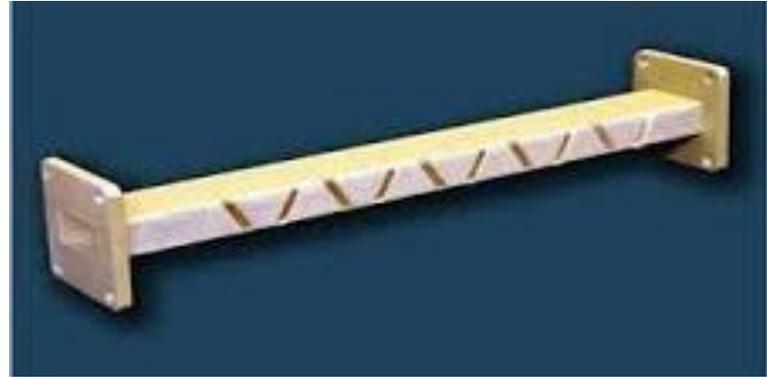
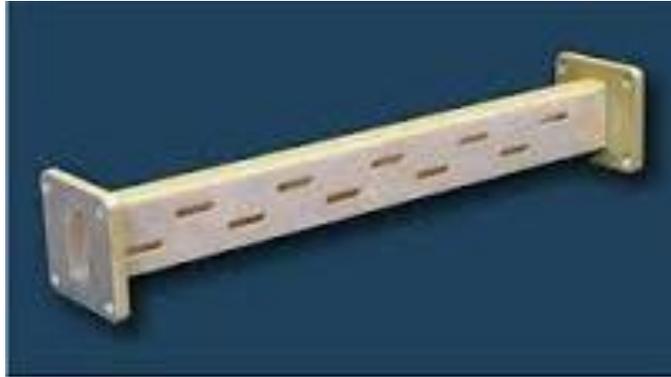
Obr. Ukážka apertúrových mikropásikových antén



■ **použitie** napr.:

- GSM (mobilne telefóny)
- GPS, WiFi,...
- doprava (autá, vlaky, lode, lietadla), navádzanie rakiet. atď.

Obr. Ukážka apertúrových štrbinových antén

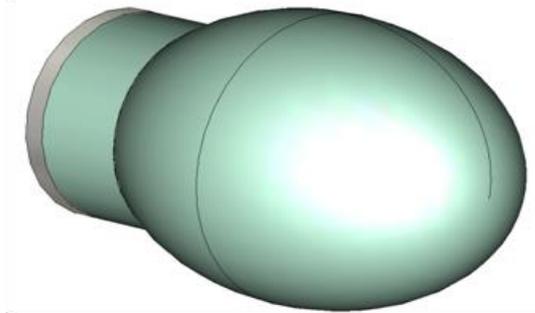


■ použitie napr.:

- GSM
- vojenská technika, atď.



Obr. Ukážka **apertúrových šošovkových antén**



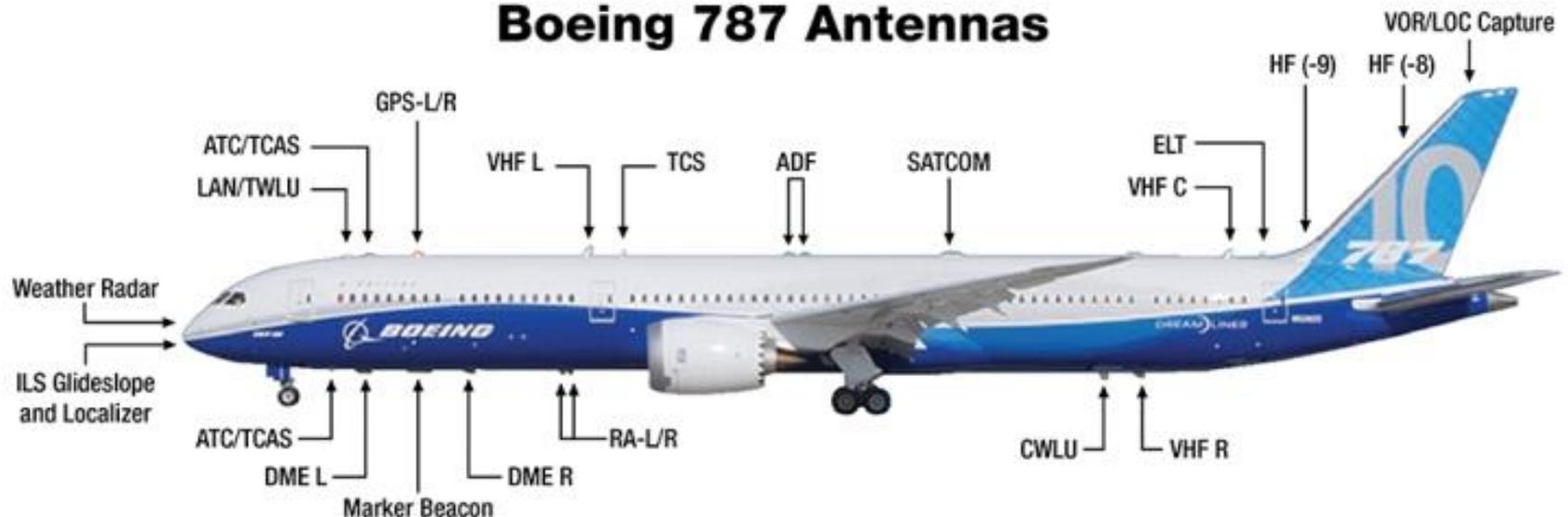
■ **použitie** napr.:

- meracie antény (senzorové systémy počasia,...)
- telekomunikačné – satelitná komunikácia (lode), atď.

Obr. Ukážka dielektrickej antény



Boeing 787 Antennas



- **LAN/TWLU** Terminal wireless local area network (LAN) unit
- **ATC/TCAS** Air traffic control/traffic collision and avoidance system
- **DME** Distance measuring equipment
- **RA** Radio altimeter

- **GPS** Global positioning system
- **TCS** Terminal cellular system
- **ADF** Automatic direction finder
- **CWLU** Crew wireless LAN unit

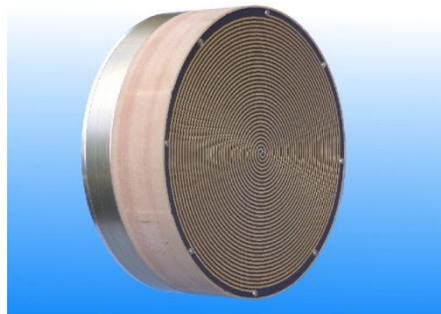
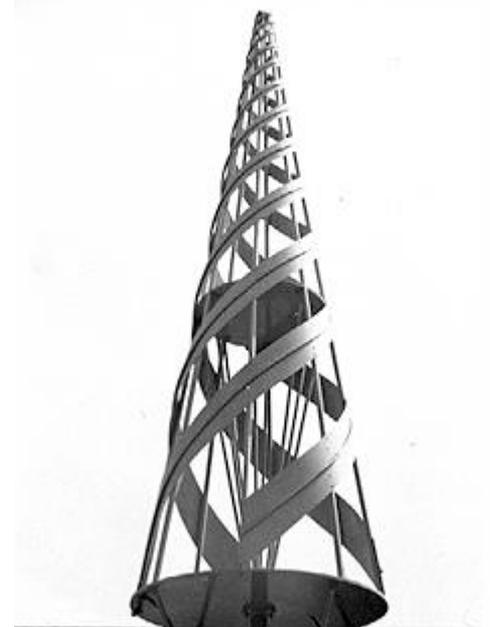
- **ELT** Emergency locator transmitter
- **HF** High-frequency radio
- **VOR** VHF omni-directional ranging

Source: Boeing

■ použitie napr.:

- hlavne v rádiových zariadeniach lietadiel, ktoré pracujú na centimetrových alebo decimetrových vlnových dĺžkach

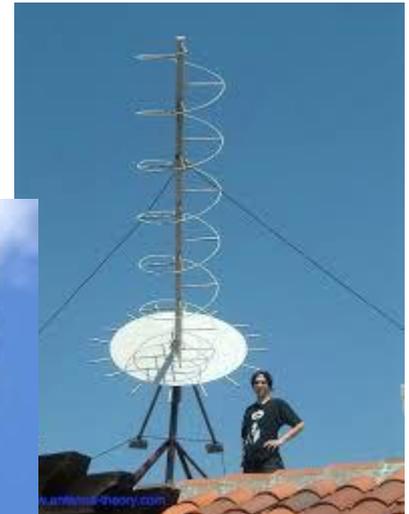
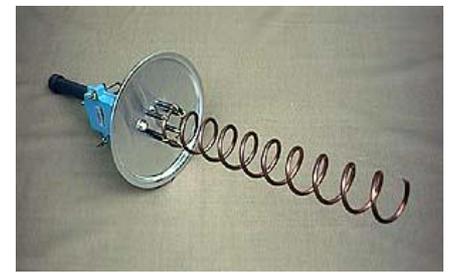
Obr. Ukážka špirálových antén



■ **použitie** napr.:

- GPS
- UWB systémy a senzorové systémy
- vysokorýchlostné satelitné a pozemné komunikačné siete (špirálové sústavy)
- vojenská technika (lietadlá, ...)

Obr. Ukážka skrutkovicových antén

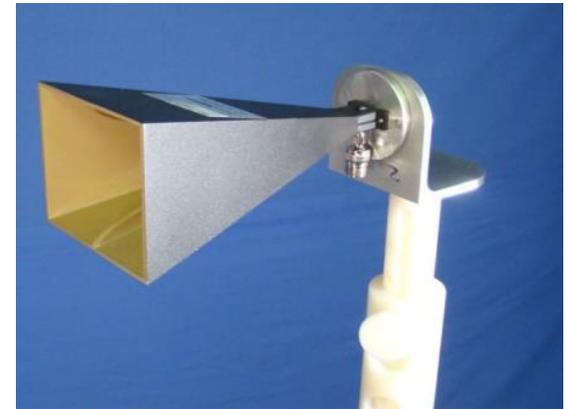


- **použitie** napr.:
 - satelitný prenos VKV
 - GSM, WiFi

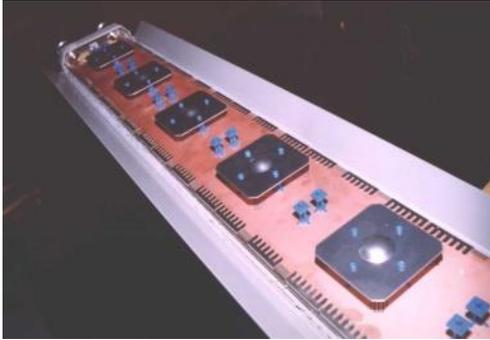
Delenie antén podľa usporiadania žiariča

- **individuálne** antény
- anténne **radý**
- anténne **sústavy**
- **logicko - periodické** antény

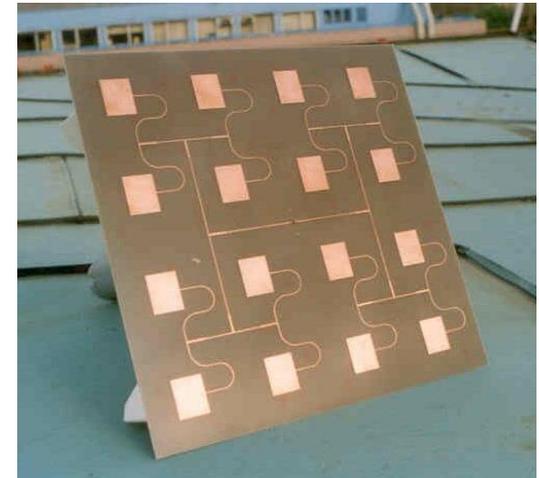
Obr. Ukážka **individuálneho** usporiadania antén



Obr. Ukážka usporiadania antén do radu



Obr. Ukážka usporiadania anténnych sústav



Obr. Ukážka logicko-periodického usporiadania antén

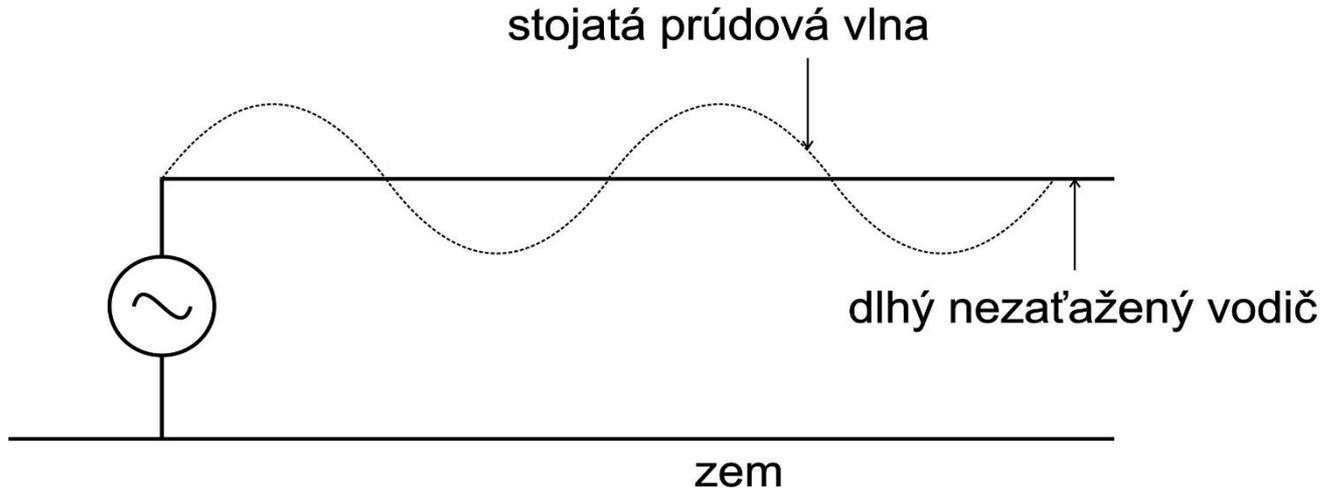


■ **použitie** napr.:

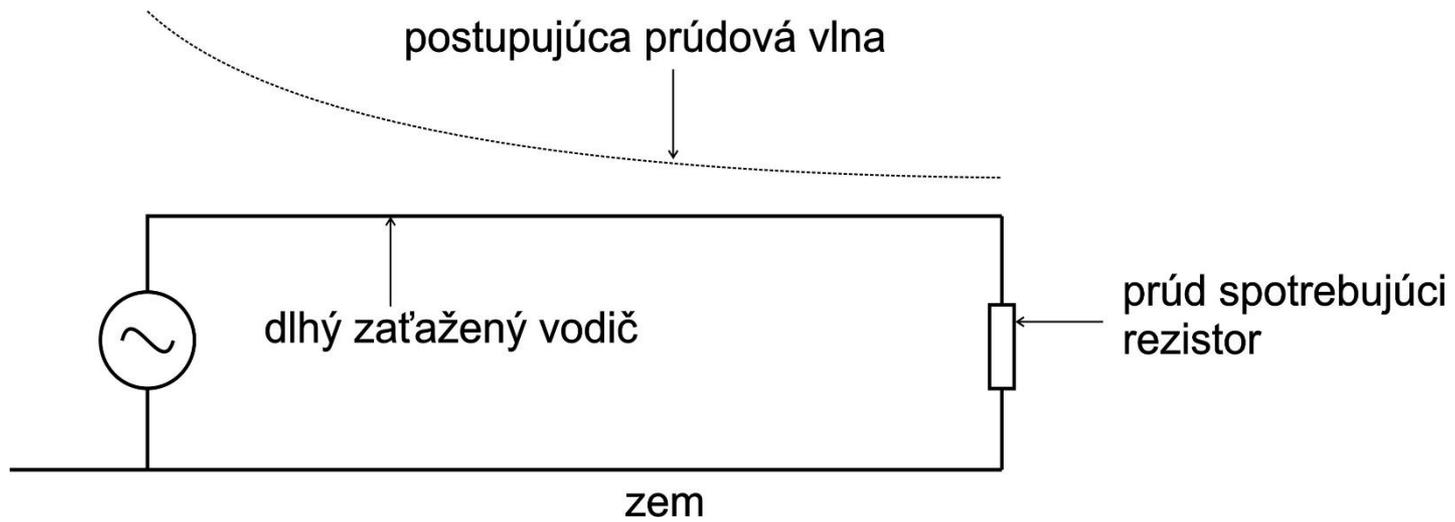
- prenos v pásmach VKV a UKV (TV, WiFi,...)
- satelitná komunikácia, atď.

Delenie antén podľa typu vlny

- so stojatou (rezonujúce, neprispôsobené) vlnou



- s postupnou / unikajúcou (nerezonujúce, prispôsobené) vlnou



Základné vlastnosti/parametre antén

■ základné parametre antén:

■ impedančné

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

■ smerové

- smerový diagram (E, H rovina)
- šírky zväzkov (E, H rovina)
- predo-zadný pomer
- smerovosť, účinnosť, zisk
- polarizácia, osový pomer, atď.

■ ďalšie parametre

- mechanické prevedenie (parametre)
- rezonancia antény, impulzné charakteristiky

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

Impedančné vlastnosti/parametre antén

VSTUPNÁ IMPEDANCIA ANTÉNY (Z_{vst})

- VF energia sa do žiariča (VA) privádza napájacím VF vedením
- účinný prenos VF energie nastane vtedy, keď vstupný odpor antény má charakter čisto činného odporu
 - každá anténa má však v skutočnosti okrem činnej aj reaktančnú zložku
- je preto správnejšie hovoriť o vstupnej impedancii Z_{vst} antény
 - túto môžeme vyjadriť ako pomer napätia a prúdu v napájacom bode antény

$$Z_{vst} = \frac{U_a}{I_a} = R_a + jX_a$$

- reálna časť vstupnej impedancie (R_a) - predstavuje činný odpor antény a zodpovedá činnému výkonu v anténe, ktorý sa $P = I^2 (R_s + R_z)$
 - čiastočne mení na teplo v odporoch vodičov a zeme, v dielektriku izolantov (neužitočná energia)
 - podstatná časť sa však vyžiari ako elm vlnenie do priestoru (užitočná energia)

■ ak rozložíme **odpor** (R_a) na časť $P = I^2 (R_s + R_z)$

■ ktorá **zodpovedá stratám**

▪ R_s - **stratový odpor** (súvisí s Jouleovým výkonom v anténe)

■ ktorá je **úmerná vyžiarenej energii**

▪ R_z - **vyžarovací odpor žiariča**

■ **reaktančná zložka** (jX_a) – nespotrebuje žiadny výkon

■ zhoršuje **vlastnosti antény** ako žiariča (spotrebiča energie)

■ a **spôsobuje frekvenčnú citlivosť** antény

■ vstupná impedancia antény (Z_{vst}) musí byť aspoň približne rovnaká ako impedancia prívodného kábla (charakteristická impedancia Z_v), tak aby nedochádzalo k odrazom a k nárastu odrazeného výkonu, pokiaľ tomu tak nie je, používajú sa tzv. impedančné transformátory, ktoré sú obvykle spojené so symetrizačnými členmi

■ v TV technike má väčšina antén impedanciu 300Ω , tá sa priamo u svoriek antény transformuje na impedanciu VF kábla (koaxiálny kábel), ktorá je obvykle 75Ω

Vstupná impedancia antény, príp. vstupný odpor, sa musí prispôbiť k impedancii napájača, v opačnom prípade prenos energie napájačom do antény je zmenšený o straty spôsobené stojatým vlnením vo vedení !!!

CHARAKTERISTICKÁ IMPEDANCIA ANTÉNY (Z_v)

Lineárnu anténu si môžeme predstaviť ako krátke VF vedenie, po ktorom sa šíri VF energia

- ako každé VF vedenie má teda aj **anténa svoju vlnovú impedanciu (Z_v)**, ktorej **veľkosť závisí od rozmerov** antény
 - antény môžeme prirovnať ku **krátkym bezstratovým vedeniam** - preto ich vlnovú impedanciu vyjadríme

$$Z_v = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

- vlnovú impedanciu **vertikálnych antén**, ktorých výška je menšia ako dĺžka vlny (DV a SV), vypočítame (λ - vlnová dĺžka vo voľnom priestore [m])

$$l < \lambda \quad Z_v = 60 \left(\ln \frac{\lambda}{\pi r} - 0,577 \right); [\Omega]$$

- vlnovú impedanciu **horizontálnych antén**, ktorých výška je menšia ako dĺžka vlny (DV a SV), vypočítame (r - polomer vodiča [m])

$$l < \lambda \quad Z_v = 120 \left(\ln \frac{\lambda}{\pi r} - 0,577 \right); [\Omega]$$

ČINITEĽ ODRAZU ANTÉNY (ρ)

Činiteľ odrazu popisuje, ako **dobro je anténa impedančne prispôsobená**

- činiteľ odrazu je definovaný ako pomer odrazenej vlny ku postupujúcej vlně

$$\rho = U_{odr}/U_{pos}$$

- v prípade **ideálneho prispôsobenia** by bolo „ ρ “ **rovné nule** a všetka energia prenesená do antény by bola vyžiarená alebo spotrebovaná na straty, a **energia odrazenej vlny by teda bola nulová**
- činiteľ odrazu sa môže uvádzať vo forme útlmu odrazu v „dB“ (S_{11}) alebo ako bezrozmerná veličina (ρ)
 - vzťah medzi S_{11} v „dB“ a bezrozmerným činiteľom odrazu ρ

$$\rho = 10^{\frac{S_{11}}{20}}$$

POMER STOJATÝCH VÍŇ ANTÉNY (PSV)

Impedančné prispôsobenie antény k napájaču je možné hodnotiť taktiež podľa veľkosti pomeru stojatých vĺn (PSV, VSWR(Voltage Standing Wave Ratio))

- pomer stojatých vĺn PSV (SWR) je definovaný ako pomer maximálnej a minimálnej veľkosti napätia na anténe (vedení)

$$PSV = U_{max}/U_{min}$$

- pričom ideálne prispôbena anténa má hodnotu $PSV = 1$
 - pre činiteľ odrazu „ ρ “ a PSV platí vzájomný vzťah

$$PSV = \frac{1+|\rho|}{1-|\rho|}$$

- $PSV < 1,1$ vysielača
- $PSV < 2$ širokopásmovej antény
- $PSV < 3$ prijímača

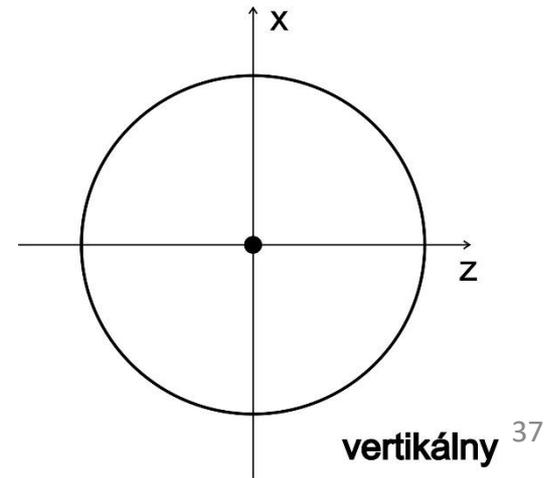
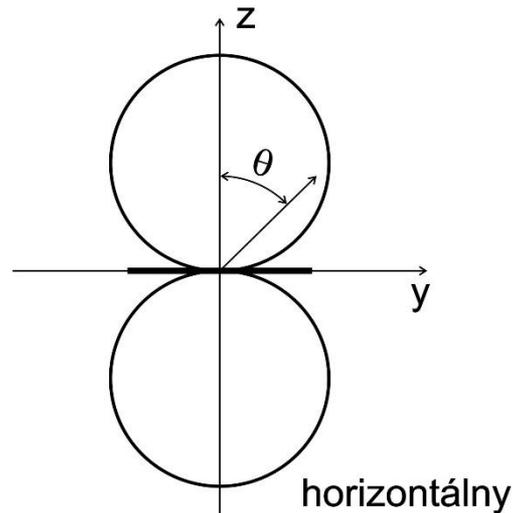
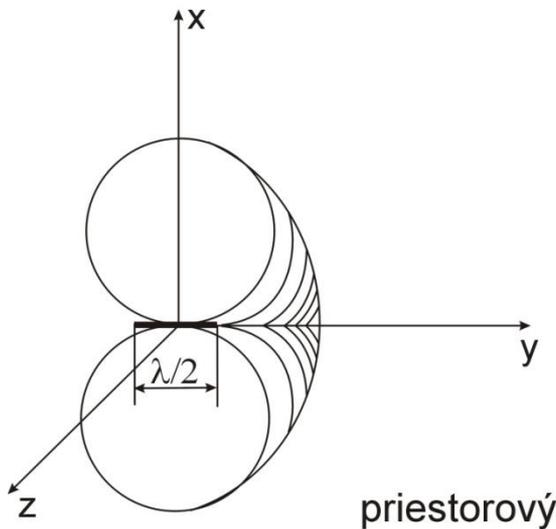
ŠÍRKA PRENÁŠANÉHO PÁSMSA ANTÉNY (B)

Udáva šírku prenášaného frekvenčného pásma

- šírka pásma (B - Bandwidth) je rozsah frekvencií, kde anténne parametre (napr. vstupná impedancia, vyžarovací diagram, atď.) spĺňajú určité prijateľné požiadavky, napr.:
 - pre širokopásmové antény sa šírka pásma vyjadruje ako pomer maximálnej a minimálnej frekvencie pásma (napr. 10:1)
 - pre úzkopásmové antény sa šírka pásma vyjadruje v percentách rozsahu vzťahnutého k strednej frekvencii (napr. 7 %)
 - spĺňajú minimálne požiadavky parametra S_{11} (činitel' odrazu v dB)
 - nech $S_{11} -10\text{dB}$ je hraničná hodnota, tak berieme ako šírku pásma všetky frekvencie, ktoré majú hraničný, alebo lepší činitel' odrazu

Smerové vlastnosti/parametre antén

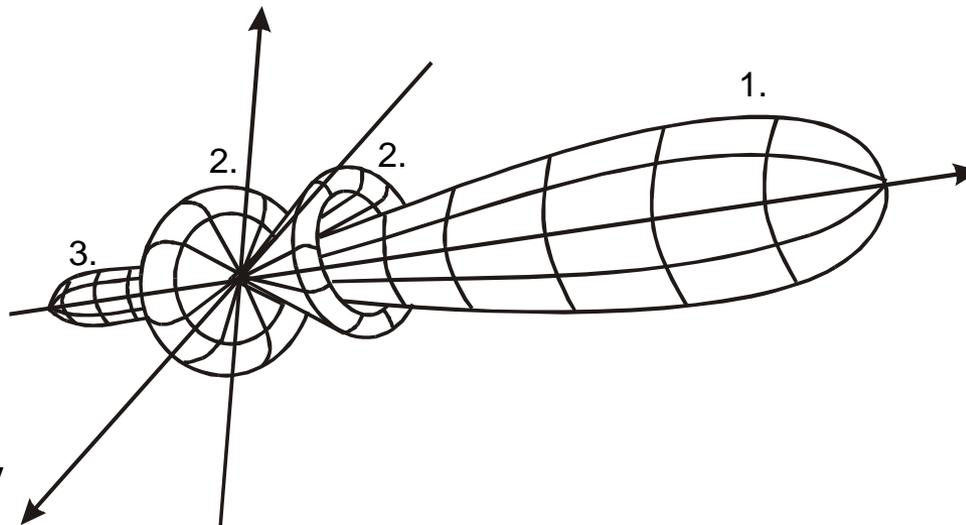
- Skutočnosť, že antény nevyžarujú/neprijímajú VF energiu vo/zo všetkých smeroch/v rovnako, je vyjadrená **smerovou funkciou**
- smerový účinok antén znázorňujeme **smerovým vyžarovacím diagramom** – **smerovou charakteristikou**
- Vyžarovací diagram je
 - priestorový (3D)
 - pre praktické použitie sa však nahrádza **rovinnými vyžarovacími diagramami (2D)** v **horizontálnej (yz)** a **vertikálnej rovine (xz)**



SMEROVÁ CHARAKTERISTIKA ANTÉNY

Smerová charakteristika je jedným z najdôležitejších parametrov antény, pretože popisuje priestorové rozloženie vyžarovanej energie (VA)

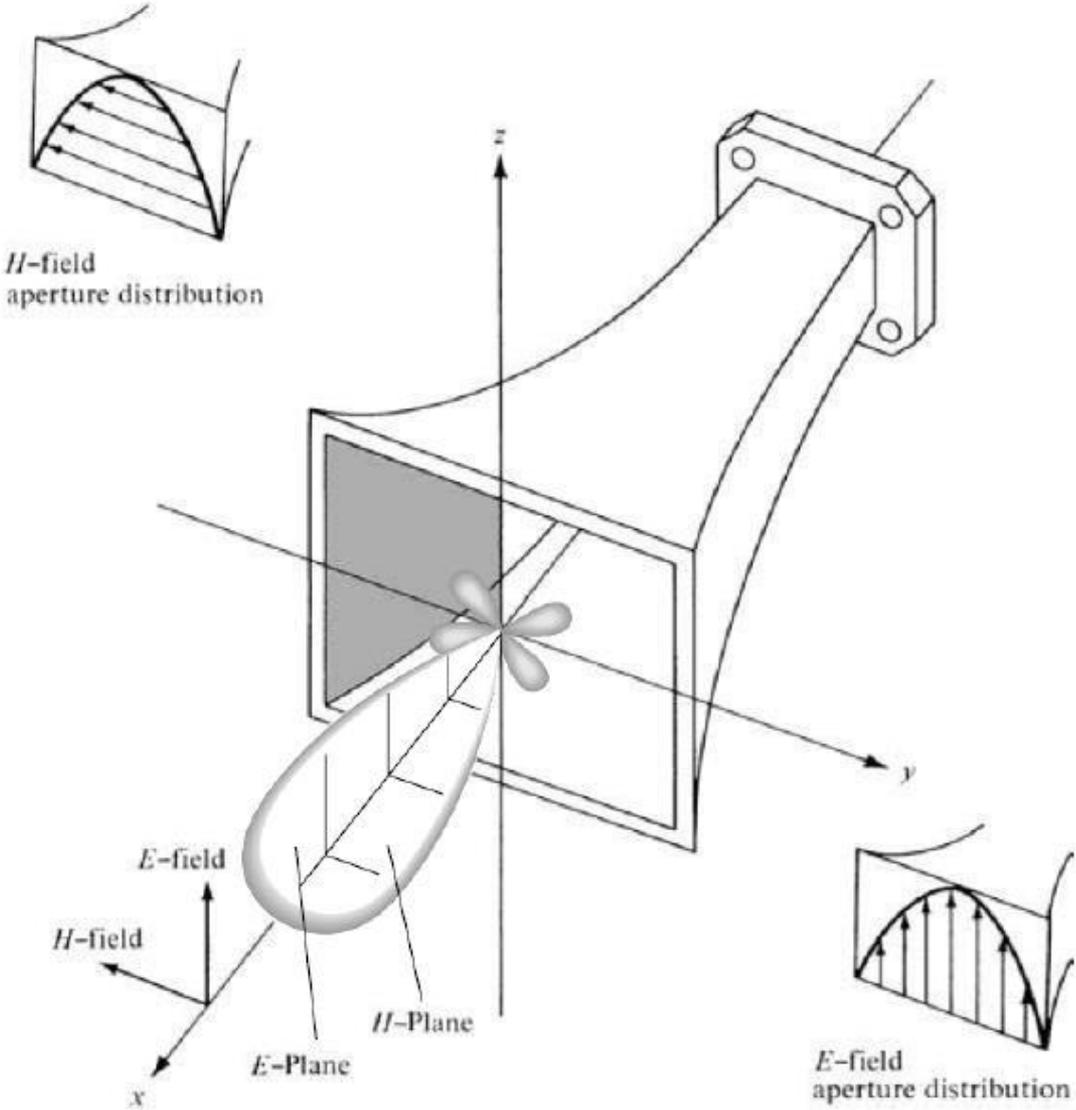
- smerová charakteristika tvorí uzavretú plochu, ktorá vo všeobecnosti pozostáva z niekoľkých častí (lalokov) rôzneho tvaru



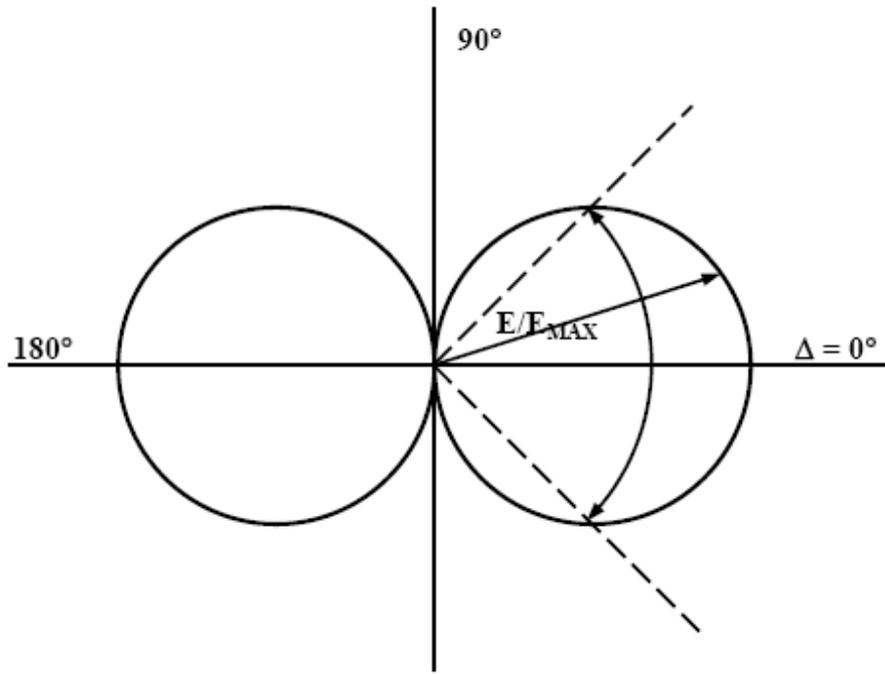
- 1 - hlavný lalok
- 2 - postranné laloky
- 3 - zadný lalok

- 3D zobrazenie je veľmi zložité preto sa obyčajne zobrazujú jej dva navzájom kolmé rezy – 2D zobrazenie
 - rezy rovinou E a rovinou H
 - rezy vertikálne a horizontálne

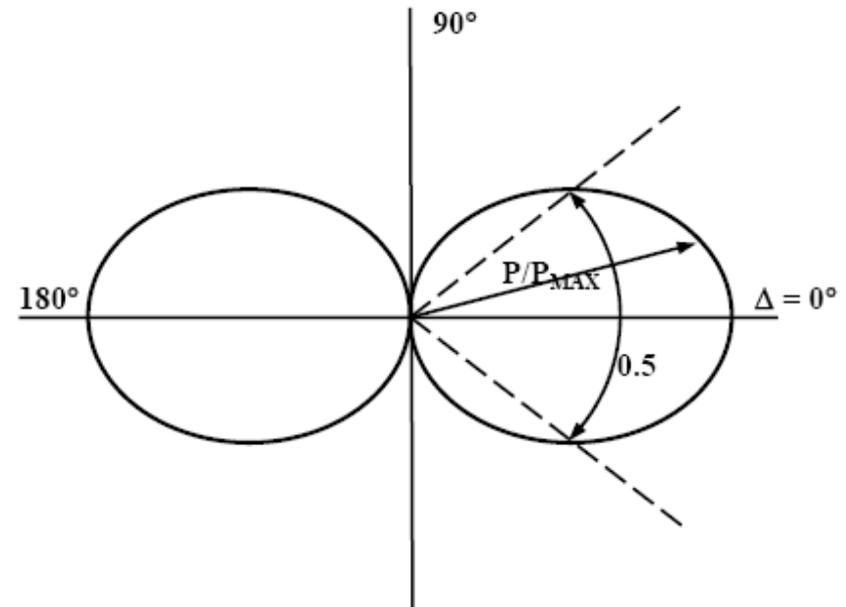
Obr. Vyžarovacia charakteristika (3D aj 2D) antény



Obr. Porovnanie poľovej (a) a výkonovej (b) smerovej charakteristiky tej istej antény (krátkeho dipólu)



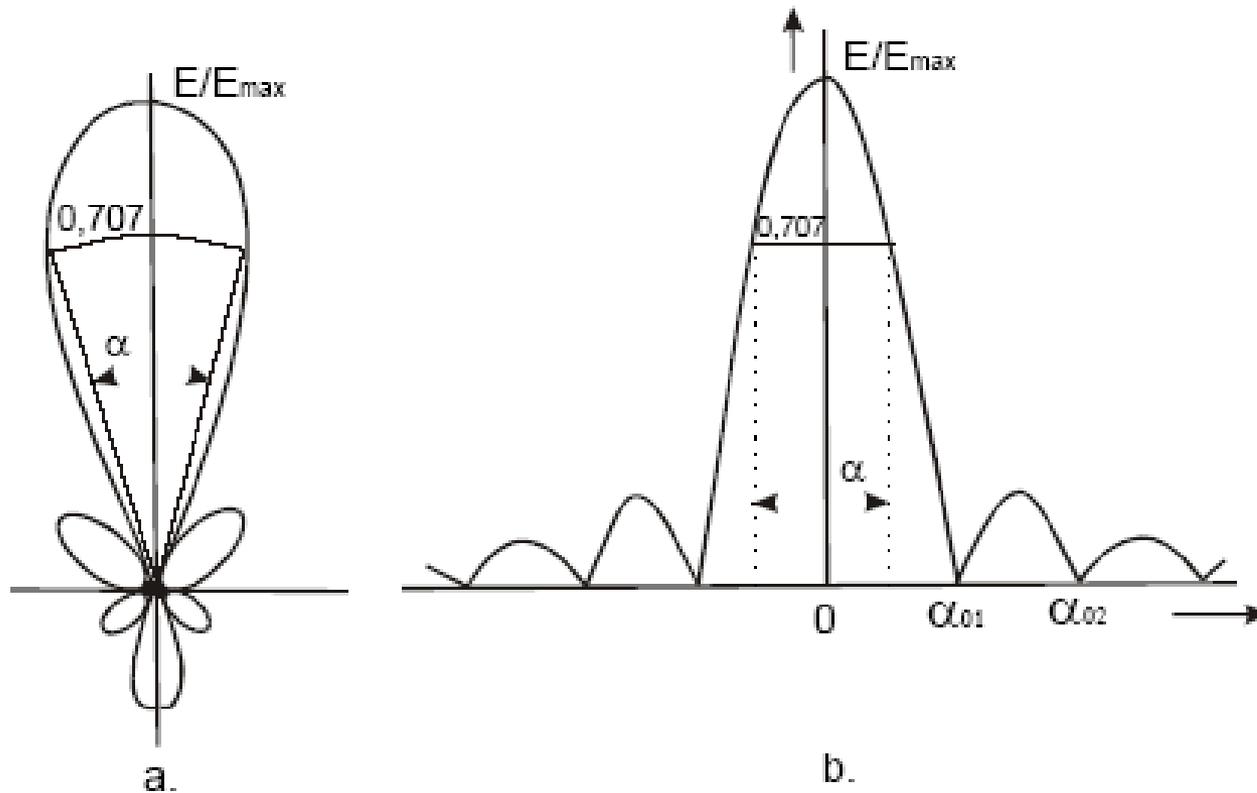
a) poľová charakteristika



b) výkonová charakteristika

- 2D zobrazenie smerových charakteristík môže byť:
 - zobrazenie rozloženia intenzity poľa – poľová charakteristika
 - zobrazenie popisujúce priestorové rozloženie vyžarovaného výkonu – výkonová charakteristika

- rezy smerovej charakteristiky sa znázorňujú v:
 - polárnej (a)
 - alebo v pravouhlej (b) súradnicovej sústave

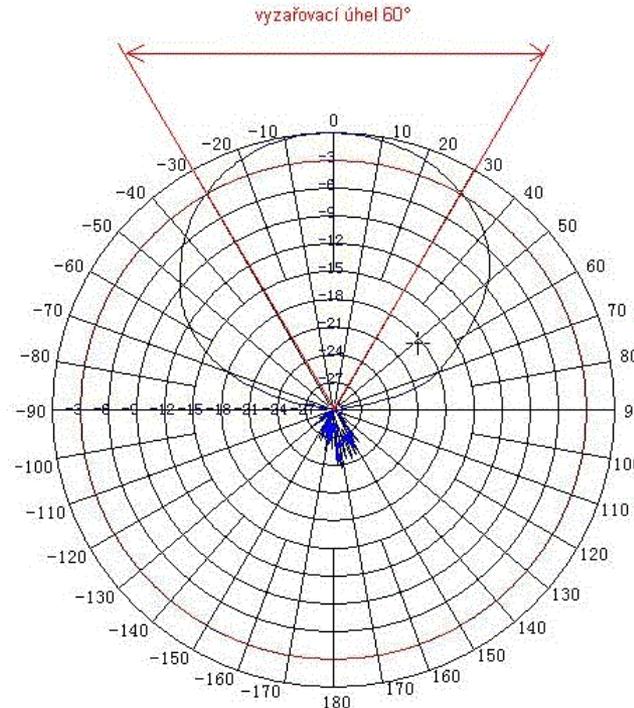


- uhol (α) medzi smermi v hlavnom laloku nazývame vyžarovací uhol antény

VYŽAROVACÍ UHOL ANTÉNY (α)

Je daný **smerovým diagramom** antény

- **uhol polovičného výkonu** antény (**šírka hlavného laloka**)
 - vypočíta sa ako rozdiel uhlov bodov, kde je pokles signálu intenzity vyžarovania o 3 dB (0.707) od požadovanej úrovne alebo maxima intenzity

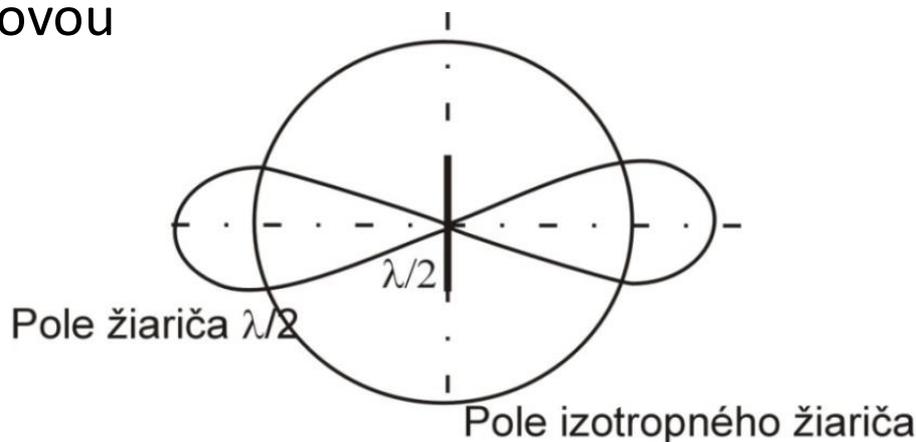


- uhol, pre ktorý je **vyžarovanie nulové**, nazývame **nulovým uhlom** (α_0)

SMEROVOŠŤ (SÚČINITEL' SMEROVOSTI) ANTÉNY (D)

Vyjadruje schopnosť antény vyžarovať v danom smere

- udáva, koľkokrát sa musí zvýšiť výkon vysielača pri prechode zo smerovej antény na nesmerovú (všesmerovú, izotropnú), aby sa dosiahlo v ľubovoľnom mieste príjmu rovnakej intenzity elm poľa ako s anténou smerovou



- výpočet:

- je to pomer vyžiareného výkonu izotropnou (všesmerovou) anténou „ P_i “ a smerovou anténou „ P_A “

$$D = \frac{P_i}{P_A}$$

- pomer maximálnej intenzity vyžarovania „ W_{max} “ a strednej intenzity vyžarovania „ W_{str} “

$$D = \frac{W_{max}}{W_{str}}$$

- **stredná intenzita** vyžarovania sa rovná celkovému výkonu vyžarovanému anténou delenému celkovým priestorovým uhlom

ÚČINNOSŤ ANTÉNY (η)

Je daná **energiou, ktorá sa vyžiari ako elm pole** z dodanej celkovej energie do antény (VA)

- je definovaná z pomeru výkonov P_a (príkon antény) a $P_{\check{z}}$ (celkový vyžiarený výkon)

$$\eta = \frac{P_{\check{z}}}{P_a} \cdot 100 \text{ [%]}$$

- ak poznáme **odpor vyžarovania $R_{\check{z}}$** a **stratový odpor R_s** antény, môžeme taktiež vypočítať účinnosť antény

$$\eta = \frac{R_{\check{z}}}{R_{\check{z}} + R_V + R_Z + R_d} = \frac{R_{\check{z}}}{R_{\check{z}} + R_S}$$

■ napájací výkon musí **kryť**:

- vyžiarený výkon $R_{\check{z}}$
- a **straty na výkone** spôsobené stratovým odporom R_S , ktorý zahŕňa
 - odpor vodičov (R_V)
 - odpor zeme (R_Z)
 - odpor dielektrík (R_d)

■ zo stratových odporov sa dajú

- **pomerne dobre obmedziť** dielektrické straty (R_d) starostlivou voľbou izolačného materiálu
- **ťažko však možno obmedziť** stratový odpor vodičov (R_V), ktorý je ešte zvýšený povrchovým javom (skin efektom)

ZISK ANTÉNY

Anténa je pasívny prvok, jej zisk je daný len transformáciou vyžarovanej energie v priestore - jej kladný zisk je spôsobený smerovaním energie do daného smeru/ov

- udáva, koľkokrát väčší výkon prijímacia anténa poskytuje buď voči polovlnovému dipólu, alebo voči teoreticky dokonale všesmerovej anténe, tzv. izotropnému žiariču v smere kde daná anténa vyžaruje najviac
- zisk môže byť
 - väčší ako „0“, rovný nule alebo menší ako „0“
- zisk je vzťahnutý buď k izotropnému žiariču (G_0) alebo k polovlnovému dipólu

- dá sa vypočítať pomocou vzťahu

$$G_0 = \eta D$$

v decibeloch (dB) $G_{dB} = 10 \log G$

- kde D je smerovosť a η je účinnosť antény
- jednotkou je decibel
- zisk izotropného žiariča je $G = 0$ dBi

Ďalšie vlastnosti/parametre antén

REZONANCIA ANTÉNY

- prvá rezonancia je jav (frekvencia), pri ktorom parazitné vlastnosti obvodu (parazitná indukčnosť, kapacita) vyrovná primárnu vlastnosť tj. kapacitu a indukčnosť
 - pri rezonancii antény dochádza k zmene elektrického poľa na magnetické a dochádza k vyžarovaniu elektromagnetickej vlny (podľa Maxwellových rovníc)
 - na svorkách antény dochádza k pripočítaniu napätia a prúdu (napätie generátora je vo fáze s napätím na svorkách, z toho vyplýva, že fáza je nulová)
- pri rezonančnej dĺžke anténového vodiča je
 - imaginárna zložka Z_{vst} je nulová ($jX_a = 0$)
 - reálna zložka Z_{vst} má maximálnu hodnotu ($Z_{vst} = R_a$)

POLARIZÁCIA VLNY ANTÉNY

Udáva **priemet trajektórie koncového bodu elektrickej zložky (E)** elm poľa do roviny kolmej na šírenie vlny - typická polarizácia vln generovaných anténami je polarizácia lineárna a kruhová

EFEKTÍVNA PLOCHA ANTÉNY

Je fiktívna plocha antény, z ktorej prijímacia anténa získava výkon, či ktorou vysielacia anténa vysiela výkon

■ pre všesmerovú anténu platí: $A = \frac{\lambda^2}{4\pi}$

■ pre smerovú anténu platí: $A = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$

EFEKTÍVNA DĹŽKA ANTÉNY

Je taká dĺžka antény, ktorou **prechádza rovnomerne rozložený** vysielací (prijímací) **prúd**

- efektívna dĺžka antény predstavuje dĺžku elementárneho dipólu, ktorý by vybudil v smere kolmom na svoju os rovnakú intenzitu pola ako príslušná anténa

ČINITEL AKOSTI (QUALITY) ANTÉNY

Označuje sa Q a je bezrozmerný, môžeme ho definovať

$$Q = X/R = \omega L/R = 1/\omega CR$$

- kde X je reaktancia, R je rezistivita, L je indukčnosť a C kapacita antény
- pre anténu s nulovými stratami má anténa nekonečný činiteľ akosti, ale nedochádza k vyžarovaniu

VÝKONOVÉ PRISPÔSOBENIE ANTÉNY

Pri výkonovom prispôsobení dochádza k maximálnemu prenosu výkonu zo zdroja do antény – nastáva vtedy, keď je impedancia antény komplexne združená (veľkosť reálnej časti je rovnaká, imaginárnej je opačná)

IMPEDANČNÉ PRISPÔSOBENIE ANTÉNY

Pri impedančnom prispôsobení je impedancia zdroja rovnaká ako impedancia antény - nedochádza k odrazom vlny späť ku zdroju

IDEÁLNE PRISPÔSOBENIE ANTÉNY

Pri ideálnom prispôsobení (impedančné a výkonové prispôsobenie zároveň) musí **reálna časť** impedancie zdroja a antény byť **rovnaká** a **imaginárna časť** musí byť **nulová**

Elektromagnetické pole elementárnych zdrojov

Základnou úlohou, ktorú je potrebné riešiť pre popísanie vlastnosti antén, je tzv. vonkajšia úloha elektrodynamiky - výpočet elektromagnetického poľa vo voľnom priestore vytvoreného ľubovoľnými zdrojmi (voľnými nábojmi a prúdmi), rozloženými v ohraničenom objeme (V)

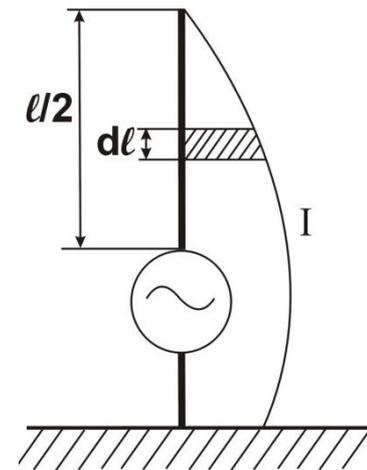
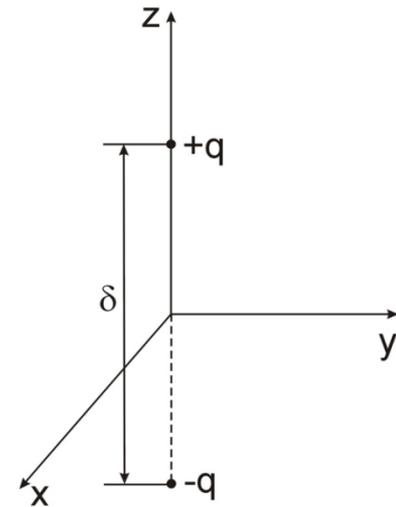
- vzhľadom na zložitosť sa ukázalo, že pri analýze zdrojov elm poľa všeobecných zdrojov je výhodné poznať elm pole niektorých jednoduchých (elementárnych) zdrojov
 - sú to žiariče, v ktorých rozloženie nábojov, prúdov alebo tangenciálnych zložiek elm poľa je konštantné: to znamená, že amplitúdy a fázy uvedených veličín sú v každom bode elementárneho žiariča rovnaké
 - ľubovoľnú skutočnú anténu možno považovať za súbor elementárnych zdrojov
 - za elementárne žiariče považujeme
 - elementárny elektrický dipól
 - elementárny magnetický dipól
 - elementárnu apertúru
 - elementárnu štrbinu

Elementárny elektrický dipól (Hertzov)

Elementárny elektrický dipól je vytvorený dvoma bodovými nábojmi „+q“ a „-q“, umiestnenými vo veľmi malej vzájomnej vzdialenosti „ δ “, ktoré sa menia v čase harmonicky

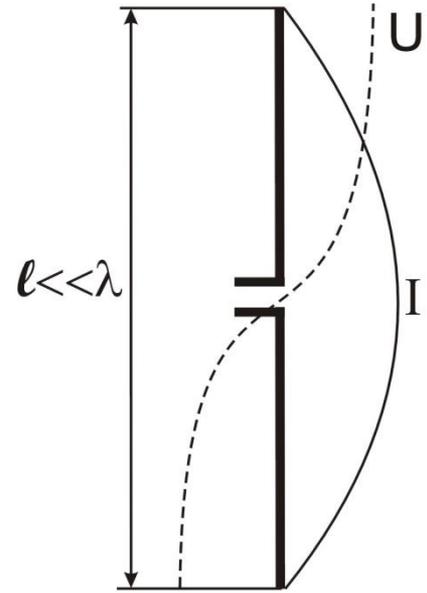
■ tento dipól je ekvivalentný elementu el. prúdu $I = j\omega q$

- fyzikálny model elementárneho elektrického dipólu
 - si možno predstaviť ako lineárnu vodičovú anténu napájanú v strede, ktorej dĺžka je omnoho menšia ako vlnová dĺžka ($l \ll \lambda$)
 - prúd tečúci v takej anténe má vo všetkých jej bodoch rovnakú veľkosť

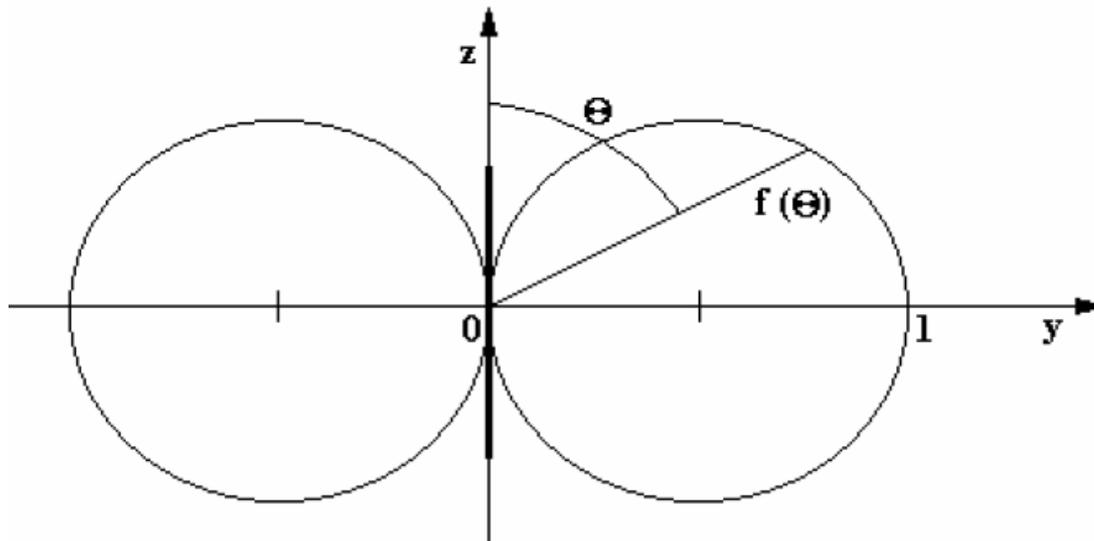


■ teda najjednoduchší žiarič vznikne **roztvorením vedenia naprázdno s dĺžkou $\lambda/4$**

- na takomto vedení, pri napájaní s časovo premenlivým signálom, vzniká **stojaté vlnenie** - má na konci **prúdový uzol**
- vedenie sa správa ako **sériový rezonančný obvod**, ktorého energia mag. a ele. poľa je **rozložená pozdĺž vodiča**
- **úbytok energie** v takomto žiariči je spôsobený v podstate **vyžarovaním energie do priestoru**



■ rez **smerovou charakteristikou** elementárneho elektrického dipólu v **rovine \vec{E}**



Elementárny magnetický dipól

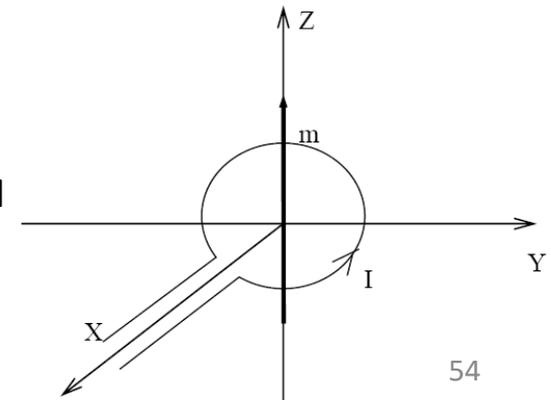
Za **elementárny magnetický dipól** možno považovať element magnetického prúdu – **je ekvivalentný elementu magnetického prúdu**

$$I_m = -j\omega q_m \quad q_m - \text{magnetický náboj}$$

- **fyzikálny model** elementárneho magnetického dipólu
 - si možno predstaviť ako **lineárnu anténu v tvare slučky** s prúdom, ktorej **rozmery sú malé v porovnaní s vlnovou dĺžkou „ λ “** ($l \ll \lambda$)
 - teda žiarič vznikne **vedením zapojeným nakrátko** s dĺžkou **$\lambda/4$**

- pole elementárneho magnetického dipólu je **duálne** k poľu elementárneho elektrického dipólu

- **smerová charakteristika oboch dipólov je rovnaká**
- **rovnaká je teda aj ich smerovosť**

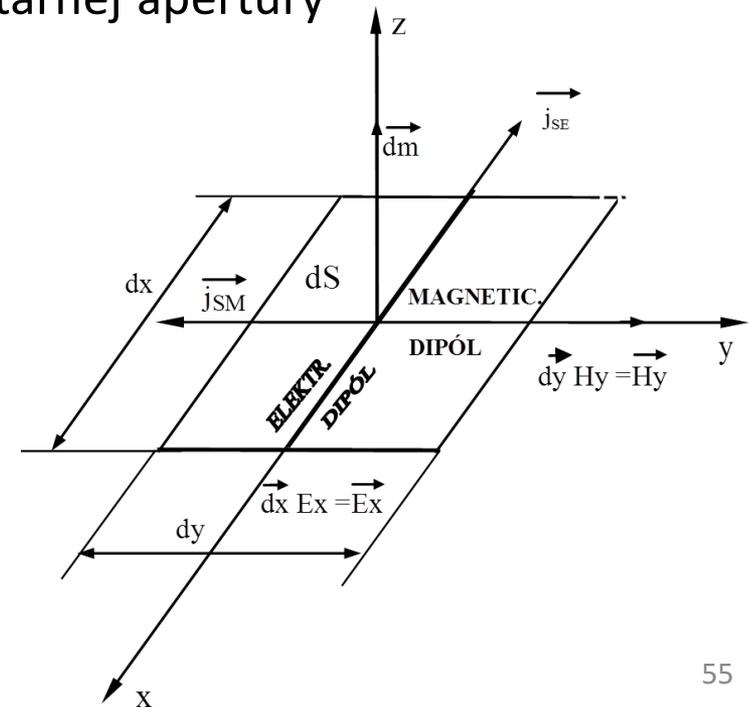
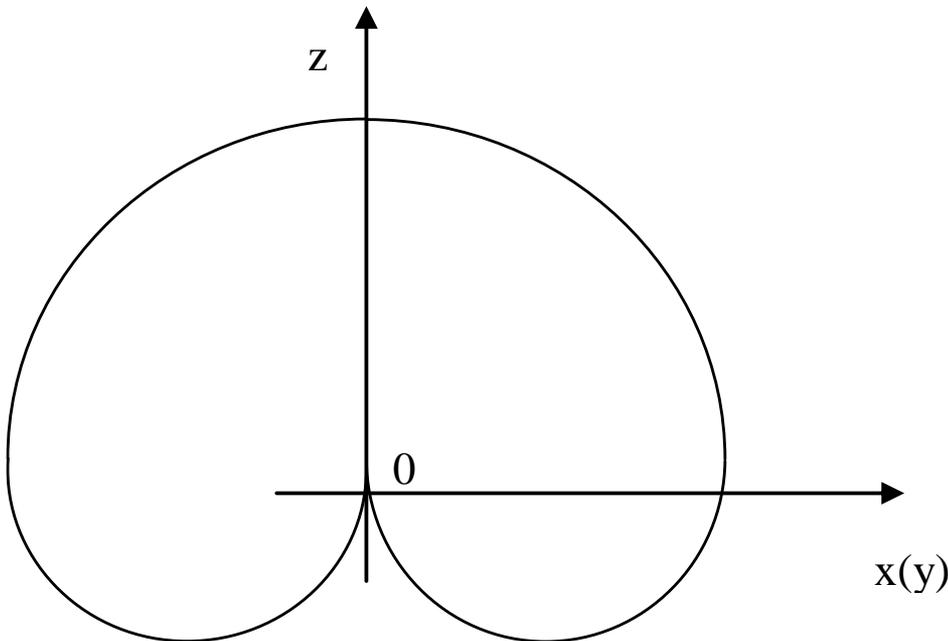


Elementárna apertúra (plocha)

Elementárnou apertúrou (elementom vlnoplochy, Huygensovým elementom) budeme nazývať elementárnu vlnoplochu „ dS “ postupujúcej elm vlny, ktorej rozmery sú omnoho menšie ako vlnová dĺžka „ λ “ tejto vlny

■ smerovú charakteristiku v priestore získame rotáciou kardioidy okolo osi z

■ rez smerovou charakteristikou elementárnej apertúry



Elementárna štrbina

Elementárnu štrbinu vytvoríme tak, že vo vodivej platni **vyrežeme štrbinu s dĺžkou $\lambda/2$**

■ **žiaričom** môže byť

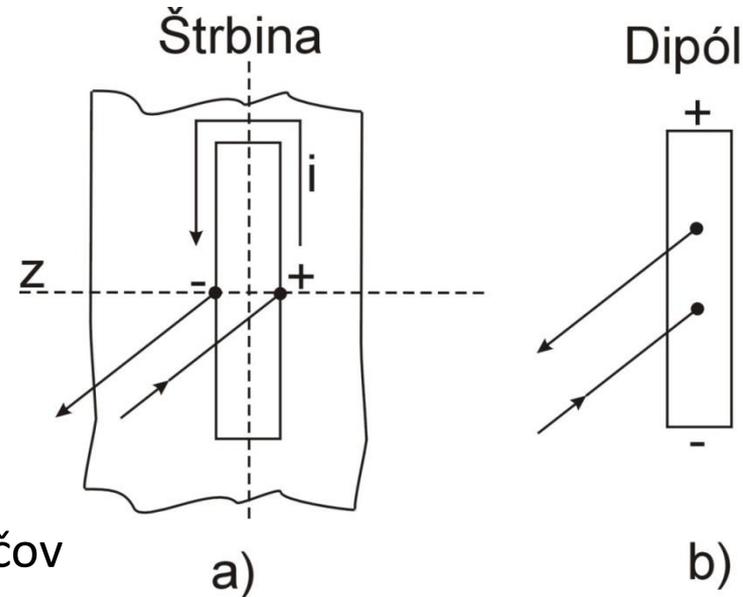
- vytvorená **štrbina** (a)
- vyrezaný **pás vodivého materiálu** (b)

■ **rozdiel** medzi nimi je

- v polarite rozloženia prúdu a napätia
- spôsobe napájania takto vzniknutých žiaričov

■ porovnaním **elektrického dipólu so štrbinou** zistíme, že

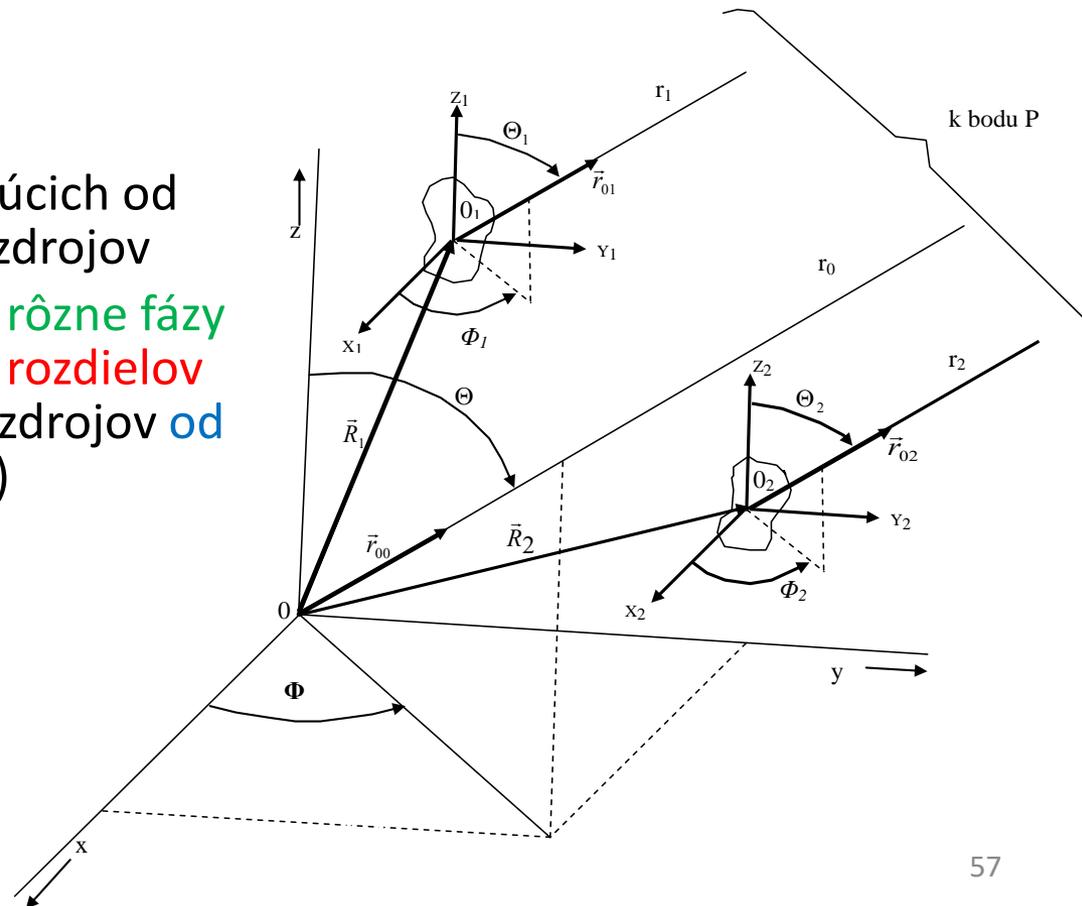
- **štrbina je komplementárna** (doplňujúca) anténa k dipólu
- čo znamená, že má **obrátenu polarizáciu** pri rovnakom diagrame žiarenia



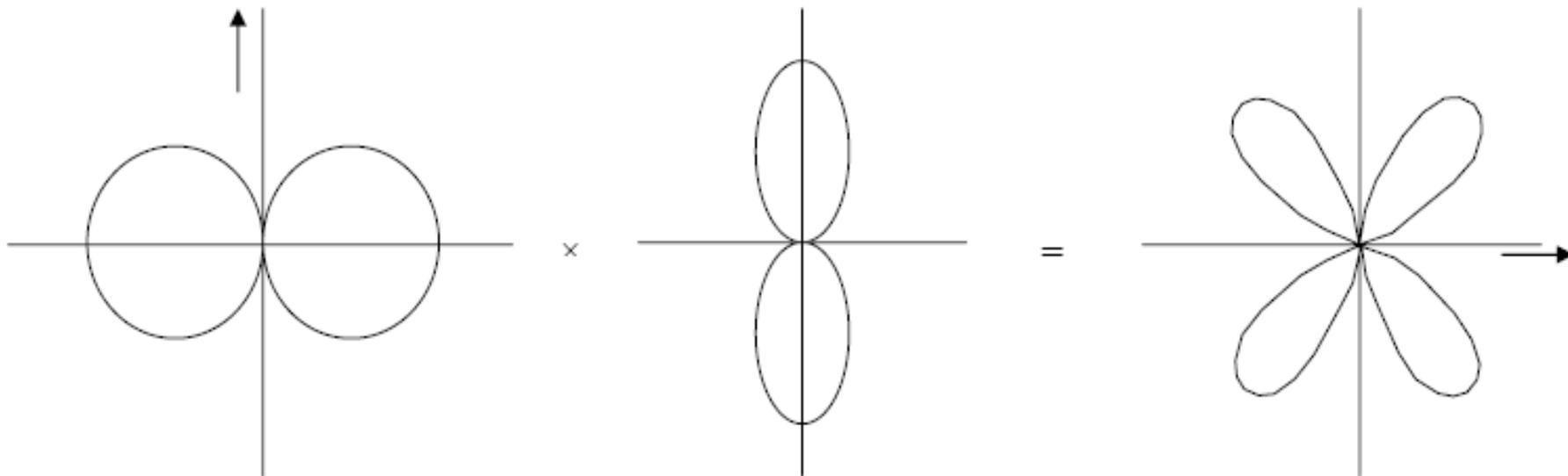
Elektromagnetické pole sústavy zdrojov

V prípade určenia **elm poľa sústavy zdrojov** využívame **princíp superpozície** a hľadáme výsledné elm pole ako **súčet polí jednotlivých zdrojov sústavy**

- **výsledné elm pole** sa získa
 - ako **súčet polí**, pochádzajúcich od všetkých elementárnych zdrojov
 - pričom **musíme uvažovať rôzne fázy** týchto polí, vyplývajúce z **rozdielov vzdialenosti** jednotlivých zdrojov **od bodu P** (bod pozorovania)



- pri výpočtoch smerových charakteristík anténových sústav, vytvorených z rovnakých a rovnako orientovaných žiaričov sa využíva pravidlo násobenia charakteristík



Kontrolné otázky

- Definícia antény (IEEE)?
- Aký prvok je anténa?
- Čo je úlohou antény?
- Aká je transformačná úloha vysielacej antény?
- Aká je transformačná úloha prijímacej antény?
- Ako rozdeľujeme antény podľa frekvenčného pásma?
- Ako rozdeľujeme antény podľa šírky frekvenčného pásma?
- Ako rozdeľujeme antény podľa schopnosti sústrediť vyžarovanie do určitého smeru?
- Ako rozdeľujeme antény podľa funkcie, ktorú plnia?
- Ako rozdeľujeme antény podľa povahy zdrojov elm poľa v anténe?
- Aké je základné rozdelenia antén?
- Aké antény patria do delenia podľa tvaru žiariča?
- Aké antény patria do delenia podľa usporiadania žiariča?
- Aké antény patria do delenia podľa typu vlny?

- Ktoré sú základné parametre antén?
- Ktoré sú impedančné parametre antén?
- Ktoré sú smerové parametre antén?
- Ktoré sú ďalšie parametre antén?
- Ako je definovaná vstupná impedancia antény?
- Aký je vzťah pre vstupnú impedanciu „ Z_{vst} “ antény?
- Ako môžeme vyjadriť vstupnú impedanciu antény v jej napájacom bode (Z_{vst})?
- Čo predstavuje a čomu zodpovedá reálna časť vstupnej impedancie antény?
- Na aké časti sa rozkladá reálna časť (činný odpor) vstupnej impedancie antény?
- Čo ovplyvňuje imaginárna časť (reaktančná zložka) vstupnej impedancie antény?
- Aký charakter môže nadobúdať priebeh vstupnej impedancie antény a do čoho závisí?
- Aké veľkosti nadobúda reálna a imaginárna časť vstupnej impedancie antény pri rezonančnej dĺžke anténneho vodiča?
- Čo musíme urobiť zo vstupnou impedanciou antény k impedancii napájača?
- Ako je definovaná účinnosť antény (vzťah)?

- Ktoré odpory patria medzi stratové odpory antény?
- Ktorý zo stratových odporov vieme pomerne dobre obmedziť a prečo?
- Ktorý zo stratových odporov vieme ťažko obmedziť a prečo?
- Ako vyjadríme vlnovú impedanciu „ Z_v “ lineárnych antén?
- Ako graficky znázorňujeme smerový účinok antén?
- Akými vyžarovacími diagramami znázorňujeme smerový účinok antén (vedieť nakresliť)?
- Aké rozloženie vyžarovanej energie popisuje smerová charakteristika?
- Z akých lalokov sa skladá smerová charakteristika antény (vedieť nakresliť)?
- V akých súradnicových sústavách zobrazujeme rez smerovej charakteristiky antény (vedieť nakresliť)?
- Čo je to uhol polovičného výkonu (šírka hlavného laloka)?
- Aký je to nulový uhol?
- Ako je definovaná smerovosť antény?
- Ako je definovaný zisk antény?
- Aký je vzťah pre výpočet zisku antény?

- Ako je definovaná účinnosť antény?
- Aká by mala byť vyžiarená energia vzhľadom na celkový privedený výkon do antény pri ekonomickej prevádzke vysielачa?
- Aké máme elementárne zdroje (žiarice) elm vlnenia?
- Definícia elementárneho zdroja elm vln.
- Čo možno považovať za elementárny elektrický dipól?
- Ako môžeme fyzikálne realizovať elementárny elektrický dipól (aj obr.)?
- Ako prakticky vznikne najjednoduchší elementárny elektrický dipól a aké má vlastnosti?
- Akú smerovú charakteristiku má elementárny elektrický dipól?
- Čo možno považovať za elementárny magnetický dipól?
- Ako môžeme fyzikálne realizovať elementárny magnetický dipól (aj obr.)?
- Aké je pole elementárneho magnetického dipólu k poľu elementárneho elektrického dipólu?
- Akú smerovú charakteristiku má elementárny magnetický dipól?
- Čo možno považovať za elementárnu apretúru?
- Ako môžeme fyzikálne realizovať elementárnu apretúru (aj obr.)?

- Akú smerovú charakteristiku má elementárna apertúra?
- Ako môžeme fyzikálne realizovať elementárnu štrbinu (aj obr.)?
- Čo zistíme porovnaním elementárneho elektrického dipólu a elementárnej štrbiny?
- Akú smerovú charakteristiku má elementárna štrbina v porovnaní so smerovou charakteristikou elementárneho elektrického dipólu?
- Aké pravidlo sa využíva pri výpočtoch smerových charakteristík anténových sústav, vytvorených z rovnakých a rovnako orientovaných žiaričov (aj obr.)?

Zoznam použitých skratiek a symbolov

- 2D dvojrozmerná/é/ý (2 Dimensional)
- 3D trojrozmerná/é/ý (3 Dimensional)
- B šírka pásma (Bandwidth)
- dB jednotka tlmenia (decibel)
- DV dlhé vlny (Low Frequency (LF))
- DVB-S satelitné digitálne televízne vysielanie (Digital Video Broadcasting-Satelite)
- DVB-T terestriálne digitálne televízne vysielanie (Digital Video Broadcasting-Terrestrial)
- elm elektromagnetická/é/ý
- GPS globálny systém určenia polohy (Global Positioning System)
- GSM globálny systém mobilných komunikácií (Global System for Mobile Communications)
- IEEE štandardizačná agentúra (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- KV krátke vlny (High Frequency (HF))
- kW jednotka výkonu (kilowatt, 10^3)

- λ vlnová dĺžka
- LOS priama viditeľnosť (Line Of Sight)
- μm jednotky dĺžky (mikrometer , 10^{-6})
- m jednotky dĺžky (meter)
- mm jednotky dĺžky (milimeter , 10^{-3})
- NLOS bez priamej viditeľnosti (Non Line Of Sight)
- nm jednotka dĺžky (nanometer, 10^{-9})
- PA prijímacia anténa
- PSV pomer stojatých vĺn (VSWR, Voltage Standing Wave Ratio)
- RF rádiové frekvencie (Radio Frequency)
- SV stredné vlny (Medium Frequency (MF))
- TV televízia (Television)
- UKV ultra krátke vlny (Ultra High Frequency (UHF))
- UV ultrafialové svetlo (Ultra Violet)
- UWB ultra-širokopásmová komunikácia (Ultra-Wideband)
- VA vysielacia anténa
- VF vysoko-frekvenčná/é/ý
- VKV veľmi krátke vlny (Very High Frequency (VHF))

- W jednotka výkonu (Watt)
- WiFi súbor štandardov pre bezdrôtovú komunikáciu (Wireless Fidelity – „bezdrôtová vernosť“)
- WiMax bezdrôtová telekomunikačná technológia (World Interoperability for Microwave Access)



Ďakujem za pozornosť