

Prednáška 09:
ANTÉNY S POSTUPUJÚCOU VLNOU

(nerezonujúce, t.j. impedančne prispôsobené)

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.

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

[http://kemt-old.fei.tuke.sk/predmety/EVaA/_materialy/
Prednasky/Pr09/Pr09.pdf](http://kemt-old.fei.tuke.sk/predmety/EVaA/_materialy/Prednasky/Pr09/Pr09.pdf)

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

Obsah prednášky

- Lineárne antény
 - Priamy vodič s postupujúcou vlnou
 - Kosoštvorcová anténa
- Špirálová anténa
- Antény s neuniformnou vlnou

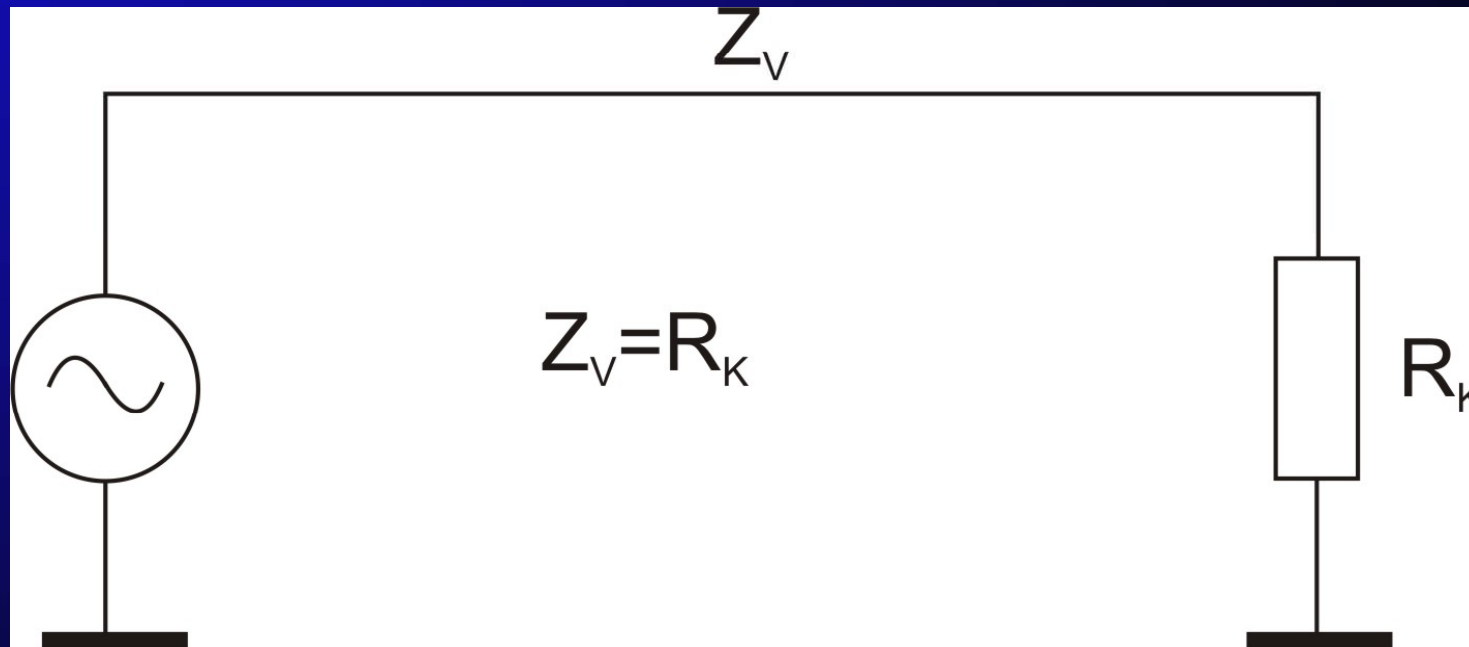
Antény s postupujícíou vlnou

- Doteraz sme sa zaoberali anténami (**lineárnymi**), ktoré sa vyznačovali rezonančnými vlastnosťami súvisiacimi s tým, že pozdĺž antény je **rozložená prúdová stojatá vlna**
- V mnohých prípadoch je však **výhodné používať antény**, ktoré pracujú s **postupujúcou elektromagnetickou vlnou**
- **Výhody** tohto typu antén
 - lepšie **smerové vlastnosti**
 - väčšia **šírka frekvenčného pásma**
- **Nevýhoda** tohto typu antén
 - menšia **účinnosť**
- **Použitie antén** s postupujúcou vlnou je prakticky pre **všetky vlnové pásma** - ich **konštrukcie sú** preto veľmi **rozmanité**

Priamy vodič s postupujúcou vlnou

- Základný typ antény s postupujúcou vlnou je **priamy vodič zakončený odporom**; (Obr.9.1)
 - vodič musí byť **dostatočne dlhý**
 - napnutý v rovine **rovnobežnej so zemským povrchom**
 - musí byť **napájaný** VF budičom
 - zaťažovací odpor sa musí **rovnať jeho vlnovej impedancii**
 - v kladnom smere osi „z“ sa **šíri postupujúca prúdová vlna** fázovou rýchlosťou „v“; (Obr.9.2)
- **Všetky miesta** takéhoto anténového vodiča **majú postupne maximálnu amplitúdu napätia a prúdu**
- Takto usporiadaný vodič bude **vyžarovať pozdĺž vodiča smerom k zaťažovaciemu odporu**
- **Smerovosť a zisk** antény bude **závisieť hlavne od dĺžky vodiča**, preto jeho dĺžka býva **niekoľko vlnových dĺžok**
- **Vyžarovanie je súmerné** okolo osi anténového vodiča; (Obr.9.3)₄

Obr.9.1 Jednovodičová anténa s postupujúcou prúdovou vlnou
(zapojenie)

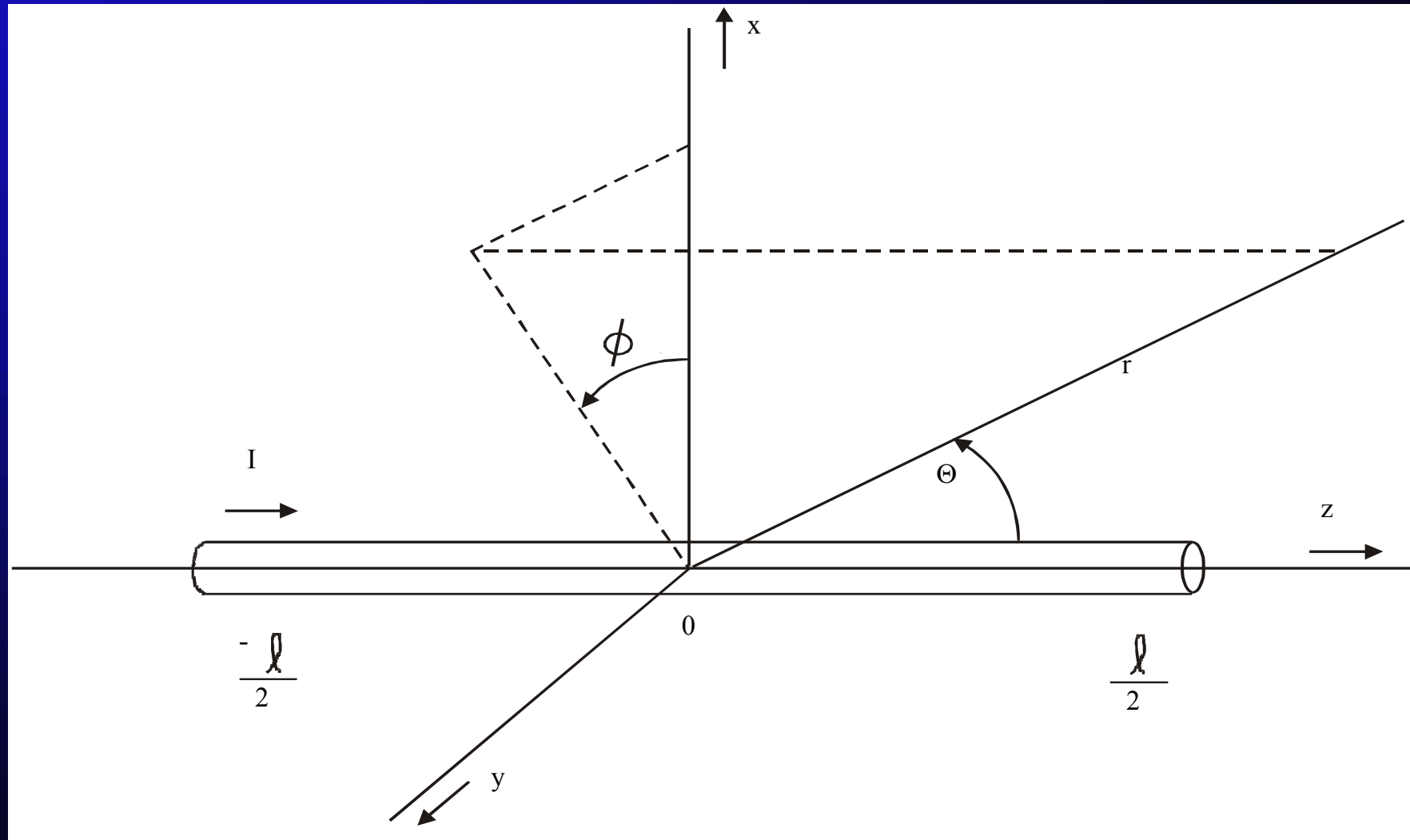


- Výkon vyžiarený vodičom s postupujúcou vlnou je

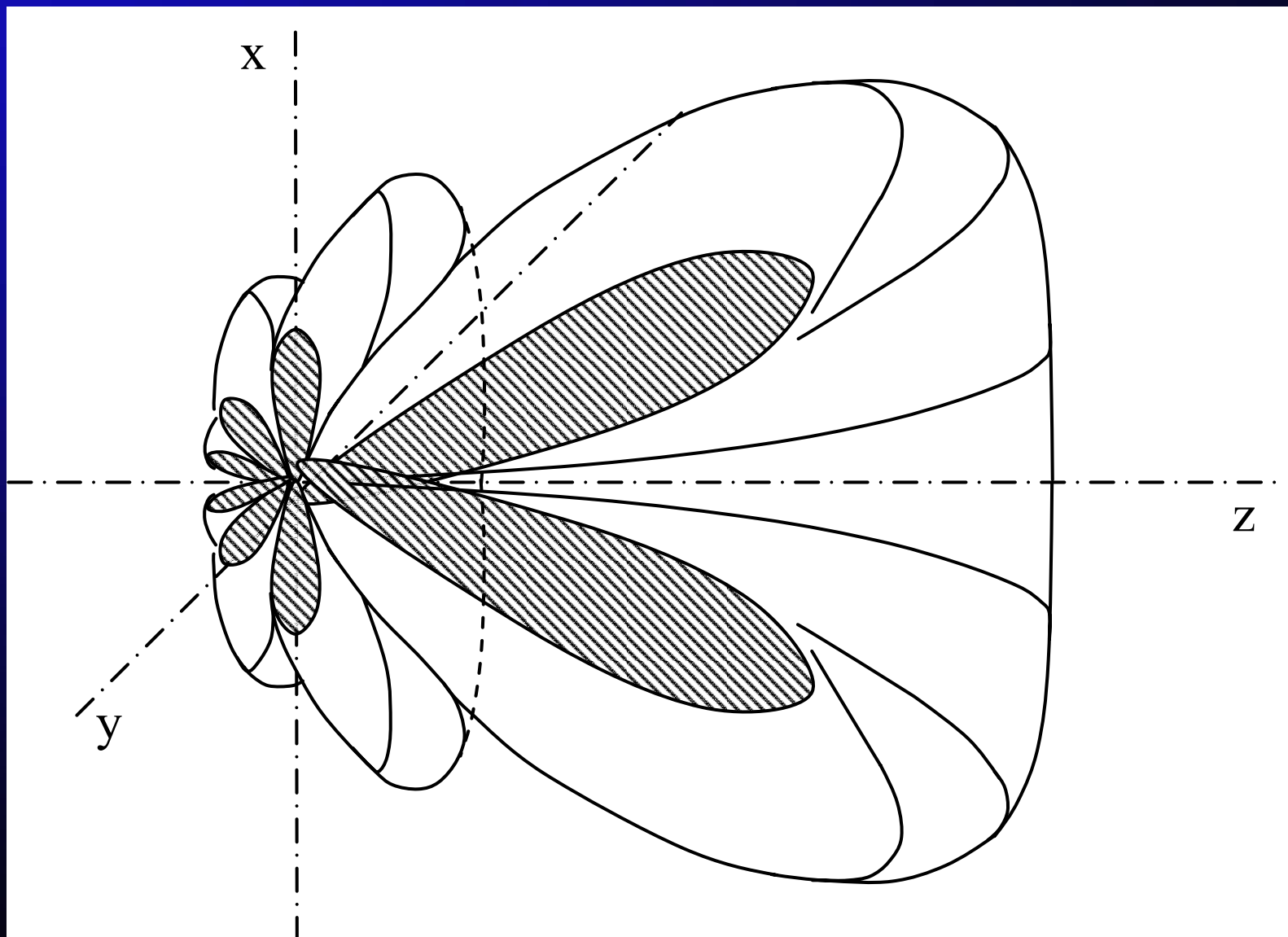
$$P_V = \frac{1}{2} I_0^2 R_{\check{z}}$$

$R_{\check{z}}$ – odpor vyžarovania vodiča
s postupujúcou vlnou 5

Obr.9.2 Jednovodičová anténa s postupujúcou prúdovou vlnou
(uloženie v súradnicovej sústave)



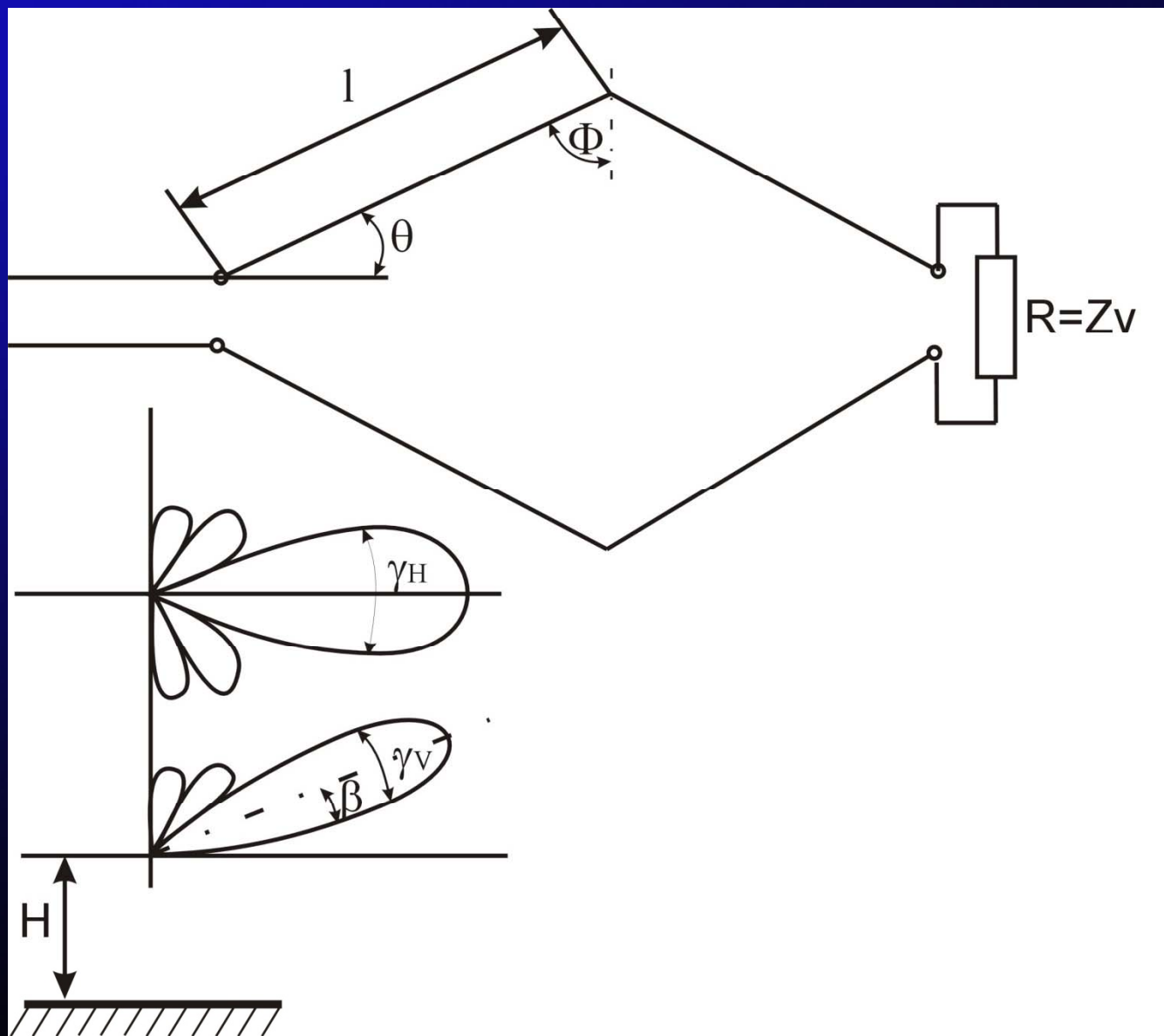
Obr.9.3 Smerová charakteristika vodiča s postupujúcou prúdovou vlnou



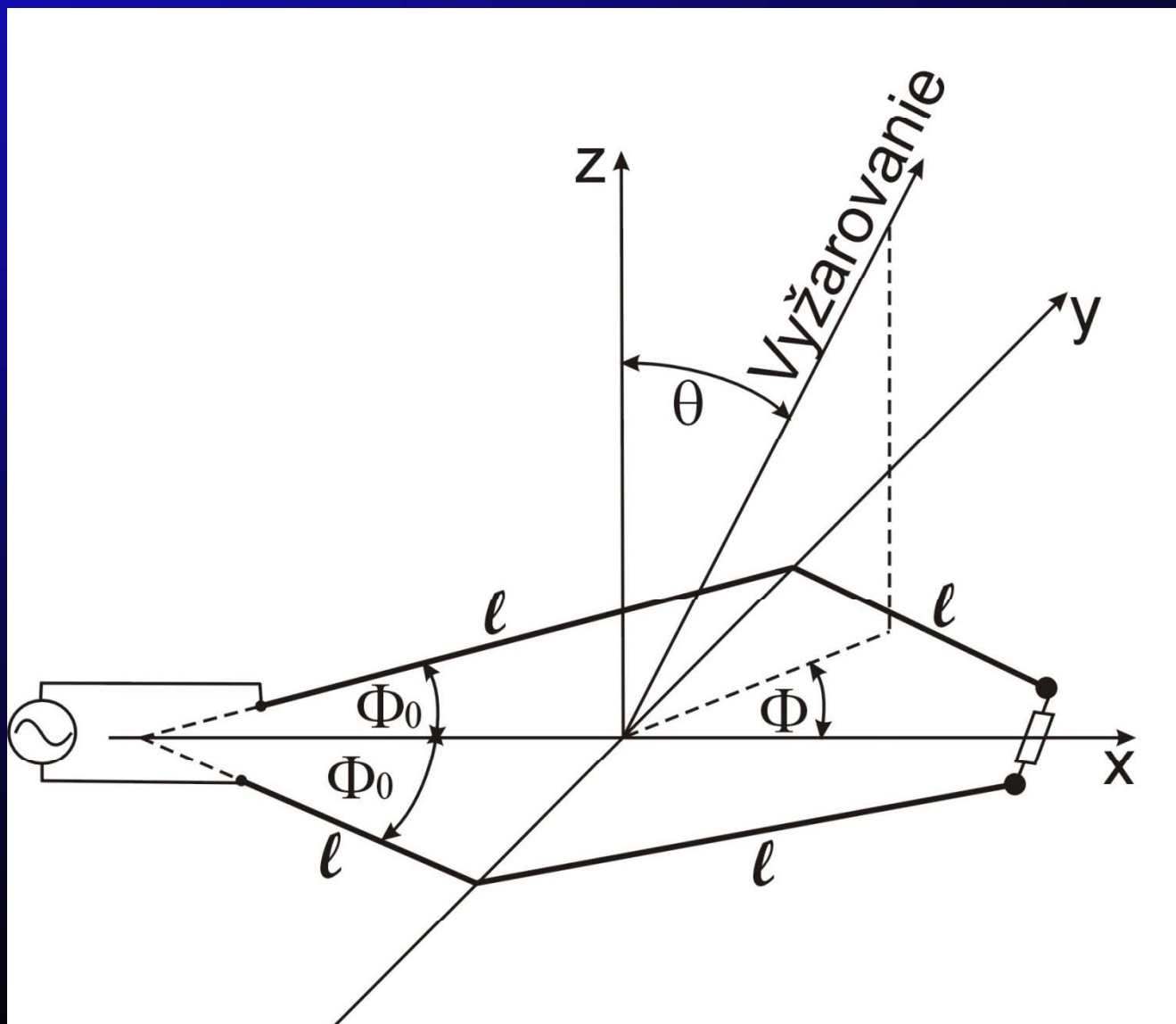
Kosoštvorcová (rombická) anténa

- Tvar (lievik) smerovej charakteristiky jednoduchého priameho vodiča s postupujúcou vlnou nie je veľmi vhodný pre praktické použitie; (Obr.9.3)
- Preto sa tento vodič prakticky nepoužíva ako samostatná anténa, ale tvorí súčasť zložitejších antén
- Príkladom praktického použitia vodičov s postupujúcou vlnou je kosoštvorcová (rombická) anténa, ktorú v najjednoduchšom prípade tvoria štyri priame vodiče; (Obr.9.4)
 - usporiadanie vodičov je do kosoštvorca
 - napájanie je symetrické
 - zakončené sú odporom, ktorý sa rovná vlnovej impedancii Z_v
- Ukončovací odpor R býva 600Ω
 - časť výkonu sa mení na teplo
 - v dôsledku toho je malá účinnosť antén – 50 až 70 %
- Uhol Φ_0 - 15 až 20° ; (Obr.9.5)

Obr.9.4 Kosoštvorcová anténa (zapojenie)



Obr.9.5 Kosoštvorcová anténa (uloženie v súradnicovej sústave)



■ **Vstupná impedancia a vertikálny vyžarovací uhol (θ) sa mení v závislosti od**

■ **dĺžky ramien „ l “**

■ **uhla Φ_0**

■ **od výšky vodičov nad zemou; (Obr.9.5)**

■ **Vlnová impedancia sa mení v závislosti**

■ **od vzdialenosti vodičov b a od ich priemeru d**

$$R = Z_v = 276 \cdot \log \frac{2b}{d}$$

■ **zmenu vzdialenosti vodičov možno kompenzovať tak, že strany kosoštvorcovej antény netvorí jednoduché vodiče, ale dva alebo tri, pričom ich vzdialenosť sa mení; (Obr.9.6)**

■ **Zisk a smerovosť sa môže zvyšovať usporiadaním takýchto antén nad sebou**

■ **Vo väčšine praktických aplikácií je kosoštvorcová anténa umiestnená v určitej výške H nad zemským povrchom**

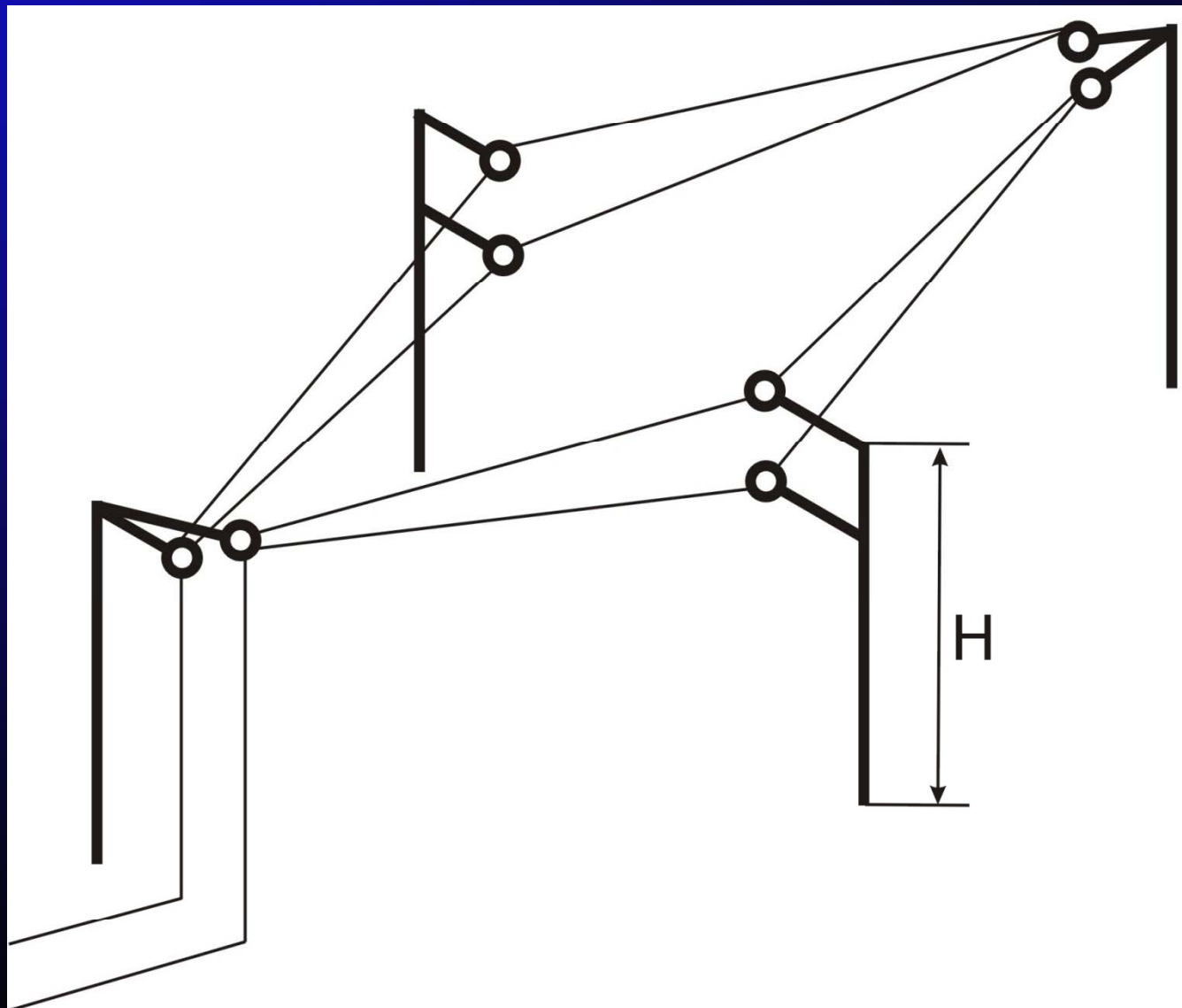
■ **vplyv zeme na smerovú charakteristiku (ak predpokladáme nekonečne vodivú zem) je taký, že**

■ **v horizontálnej rovine kosoštvorcová anténa nevyžaruje**

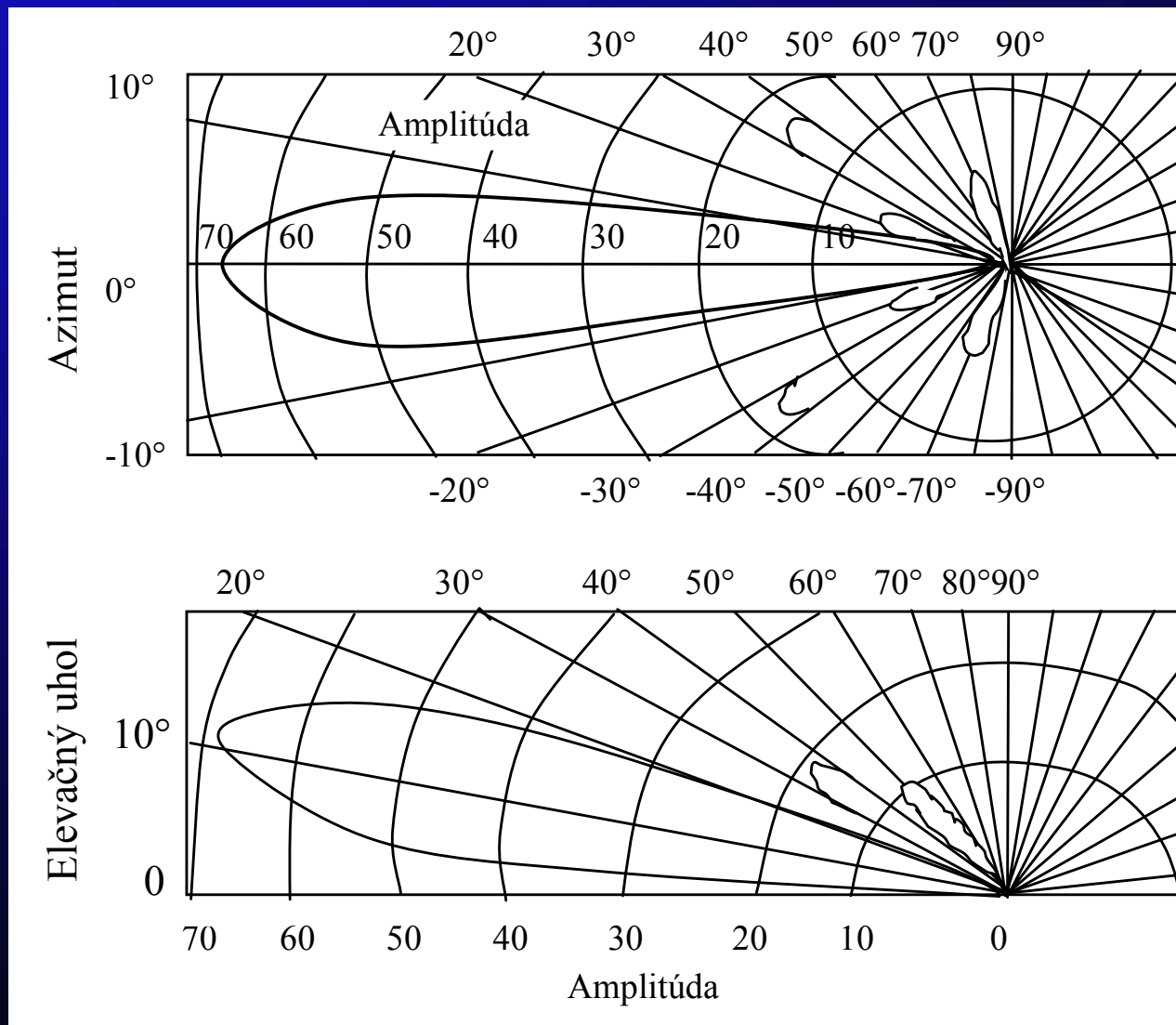
■ **má smerovú charakteristiku len vo vertikálnej rovine**

■ **tvar smerovej charakteristiky je veľmi vhodný pre diaľkové spojenia na KV; (Obr.9.7)**

Obr.9.6 Kompenzácia zmien vlnovej impedancie
kosoštvorcovej antény



Obr.9.7 Smerové charakteristiky kosoštvorcovej antény nad dokonale vodivou zemou ($1/\lambda = 6$; $\Phi_0 = 20^\circ$; $H/\lambda = 1,1$)



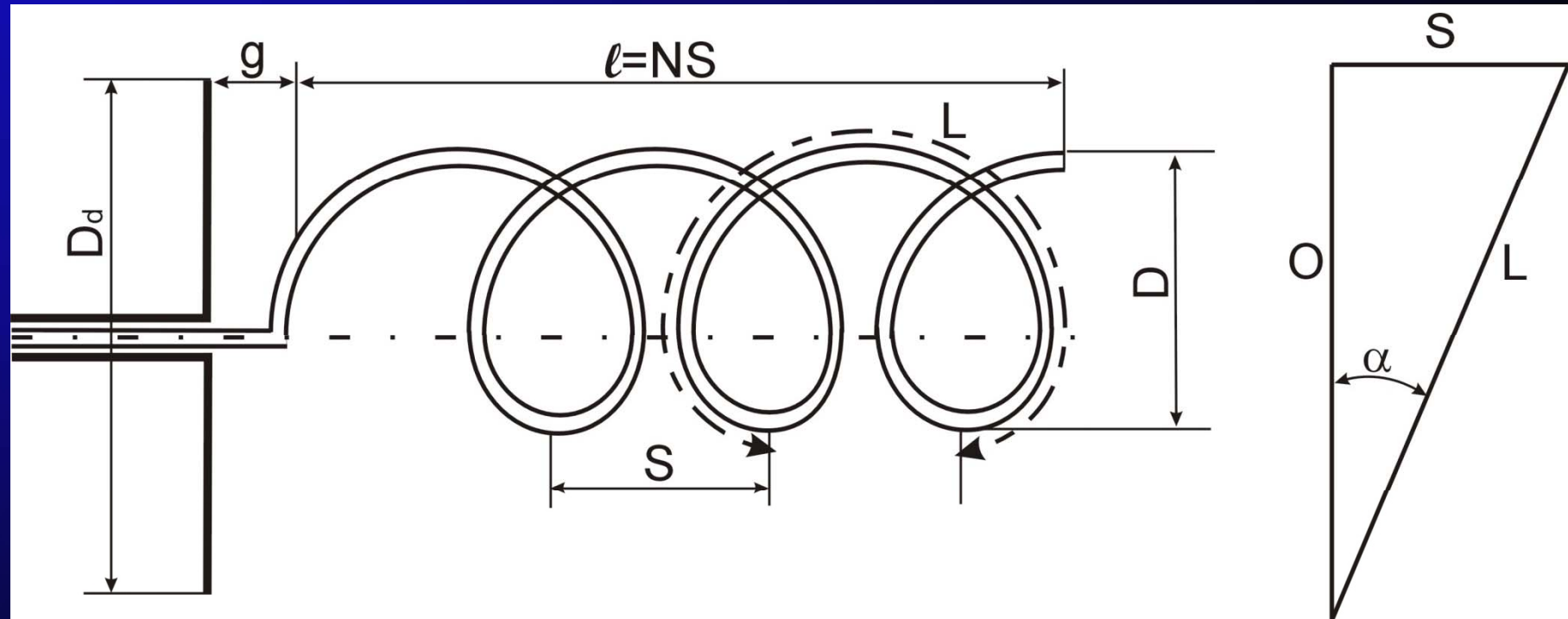
a) azimutálna charakteristika pre $\Theta=78^\circ$

b) charakteristika vo vertikálnej rovine

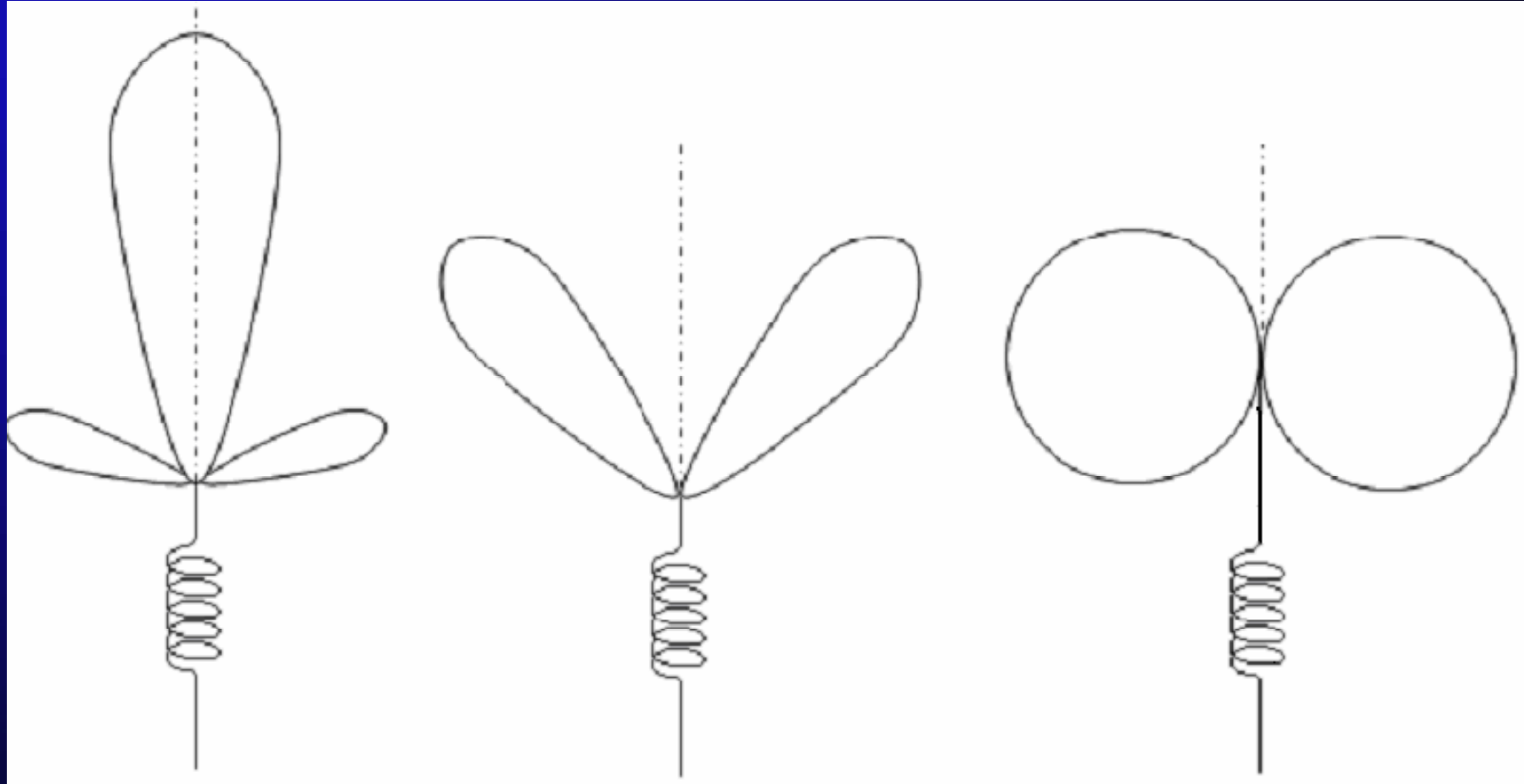
Špirálová (skrutkovicová) anténa

- Špirálová anténa je vytvorená
 - stočením tenkého aktívneho vodiča do tvaru špirály; (Obr.9.8)
 - dĺžky „ l “
 - priemeru „ D “
 - so stúpaním „ S “
 - anténa je najčastejšie napájaná koaxiálnym vedením
 - vnútorný vodič je spojený so špirálou
 - vonkajší s reflektorom „ D_d “
- Vyžarovanie špirálovej antény závisí od jej geometrických rozmerov, ktoré určujú tvar vyžarovacích charakteristík
 - axiálny spôsob vyžarovania špirály (osové vyžarovanie)
 - maximum vyžarovania je v smere osi špirály
 - vyžarovanie do tvaru „ V “
 - normálové vyžarovanie; (Obr.9.9)
 - maximum vyžarovania je v smeroch kolmých na os špirály

Obr.9.8 Špirálová anténa



Obr.9.9 Smerové charakteristiky špirálovej antény



a) osová
(axiálne vyžarovanie)

b) tvar V

c) normálna

NORMÁLOVÉ VYŽAROVANIE (Obr.9.9c)

- Nastane vtedy, keď sú rozmery špirály vzhľadom na vlnovú dĺžku malé (veľká λ = malá frekvencia ($\lambda=c/f$))
 - krátke antény s malým priemerom D a s konštantným rozložením prúdu pozdĺž vodiča

VYŽAROVANIE TVARU „V“ (Obr.9.9b)

- So zväčšovaním frekvencie (zmenšovaním λ) smerová charakteristika nadobúda tvar „V“

OSOVÉ VYŽAROVANIE – AXIÁLNE (Obr.9.9a)

- Nastane vtedy, keď sa obvod závitov špirálového vodiča rádovo rovná vlnovej dĺžke
- Najčastejšie používanie v praxi
- Rozmery špirálovej antény zaručujú vznik základného osového módu

$$\frac{3}{4} < \frac{O}{\lambda_0} < \frac{4}{3}; \quad 12^\circ < \alpha < 15^\circ; \quad N > 3$$

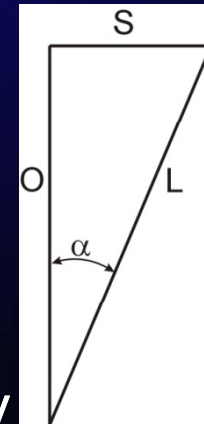
■ Pre rozmery špirály platí

$$S^2 + O^2 = L^2$$

$$O = \pi D$$

$$O = 2\pi r$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{O}$$



O - obvod špirály

D - priemer špirály

L - dĺžka závitú

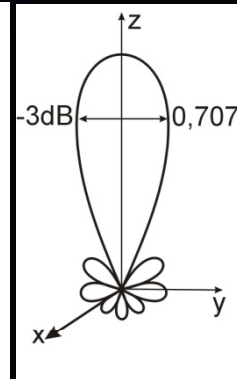
α - uhol stúpania

S - stúpanie závitú

N - počet závitov

■ Šírka hlavného laloku (uhol polovičného výkonu)

$$\gamma \approx \frac{52^\circ}{\frac{c}{\lambda_0} \sqrt{\frac{NS}{\lambda_0}}}$$



■ Smerovosť

$$D \approx 15NS \left(\frac{c}{\lambda_0} \right)^2$$

$$R \approx 140 \frac{c}{\lambda_0}$$

■ Vstupný odpor

c – rýchlosť svetla vo voľnom priestore

- Vstupný odpor $R = Z_v = 100$ až 150Ω
- Celý smerový systém sa skladá
 - zo špirály
 - reflektora
 - a napájacieho vedenia
 - prípadne z impedančného transformátora pre prispôsobenie zo 150Ω na koaxiálny kábel 70Ω
- Závity špirály musia byť pravotočivé pri pohľade zo strany reflektora
 - pri ľavotočivej anténe nastáva pokles zisku
- Špirálová anténa
 - veľmi účinná smerová anténa
 - keď sa použije ako vysielacia, elm vlnenie je kruhovo polarizované

Antény s neuniformnou vlnou

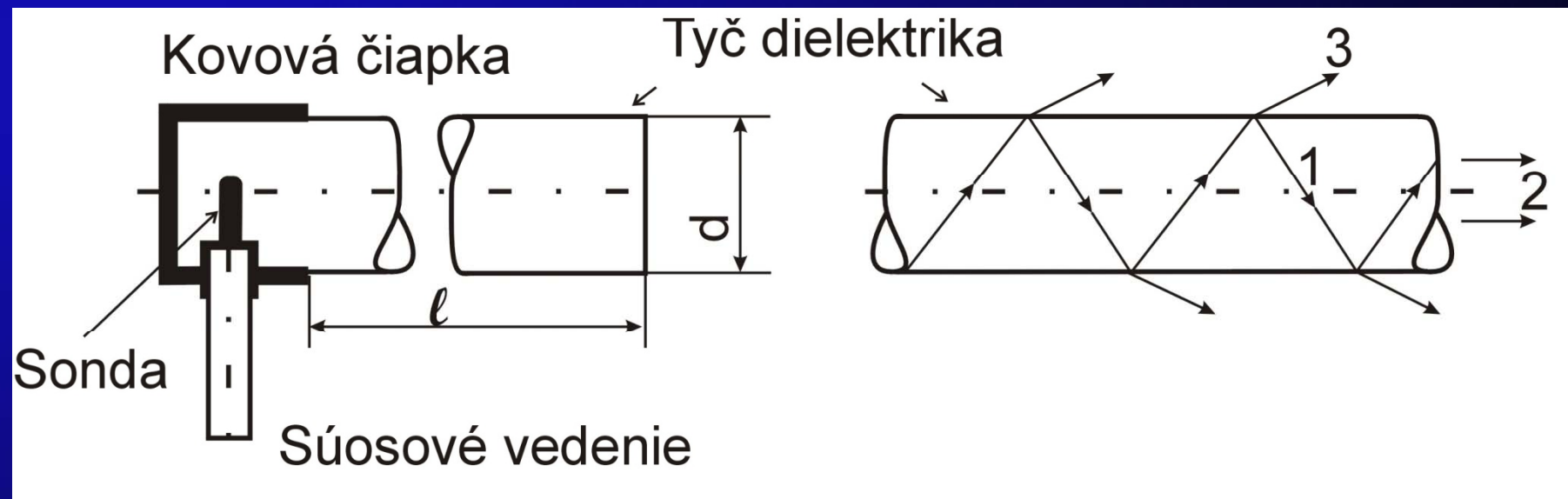
- Vo všeobecnosti sa na prenos elm energie používajú postupujúce elm vlny
- Tieto vlny možno rozdeliť na tri skupiny
 - vlny šíriace sa v homogénnom prostredí (rovinné vlny, guľové vlny a pod.)
 - uniformné vlny vo vedeniach (vlny TEM, TE, TM)
 - neuniformné vlny
- Pre uniformné vlny šíriace sa voľnom priestore a vo vedeniach sú roviny konštantnej amplitúdy rovnoobežné s rovinami konštantnej fázy
- Pre neuniformné vlny sú ekvifázové a ekviampitúdové roviny rôznobežné
 - ak sa vlny šíria v homogénnom prostredí sú roviny konštantnej fázy kolmé na roviny konštantnej amplitúdy
 - rozloženie amplitúdy pozdĺž ekvifázových rovín je exponenciálne

- **Podľa konštrukcie** rozlišujeme dva základné typy antén s neuniformnou vlnou:
 - **dielektrické** antény
 - **vodičové** antény

DIELEKTRICKÉ ANTÉNY (Obr.9.10)

- Sú vytvorené **z časti** homogénneho alebo nehomogénneho **dielektrického vlnovodu**
 - koaxiálnym vedením alebo vlnovodom napájaná **sonda je umiestená v kovovom puzdre**
 - medzi sondou a puzdrom sa vytvára **elektrické pole**, ktoré sa šíri v **smere tyče** vyhotovenej z dielektrika
 - šírenie energie v dielektriku **sa podobá** šíreniu vlnenia vo vlnovode
 - **časť energie sa odráža** od povrchu tyčového dielektrika a **zostáva vo vnútri tyče (1)**
 - druhá **časť** však vystúpi z povrchu dielektrickej tyče a **vyžaruje (2,3)**

Obr.9.10 Dielektrická anténa



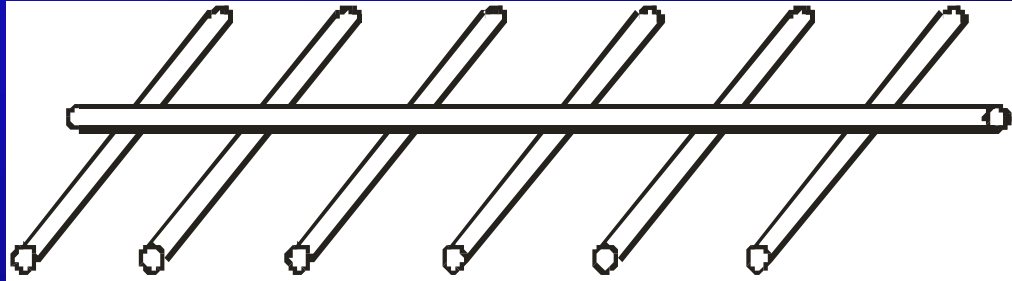
- pretože nastáva aj bočné vyžarovanie (3), energia vnútri postupujúceho vlnenia klesá
- zostávajúca časť sa vyžiari z čelnej časti (2)
- **Vyžarovanie**
 - je smerované v osi tyče dielektrika
 - vyžarovaciu charakteristiku určujú
 - rozmery tyče (l a d)
 - vlnová dĺžka (λ) a dielektrická konštanta (ϵ_r) použitého materiálu

- Pri rovnakom priereze tyče po jej celej dĺžke **nastávajú na čele odrazy**, ktoré sa dajú zmenšiť kužeľovitou úpravou
- Namiesto tyče sa dajú použiť aj **rúrky z dielektrika**
 - anténa sa môže **napájať** v tomto prípade **dipólom**, ktorý je umiestený vo **vnútri rúrky**
 - nastavovaním jeho vzdialenosti od kovového puzdra sa nastavuje správne **prispôbenie**

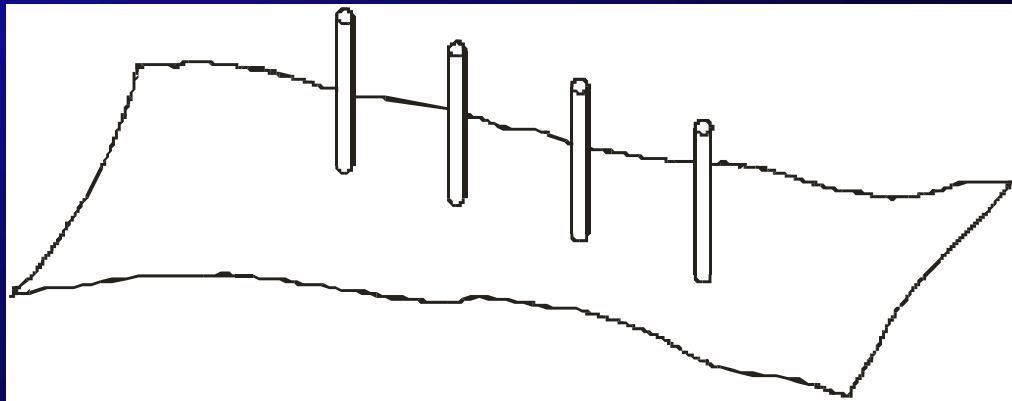
VODIČOVÉ ANTÉNY

- Kovové antény **používajú ako základný konštrukčný prvok oneskorujúcej štruktúry**
 - najčastejšie používané antény s povrchovou vlnou sú **nesymetrické Yagiho antény** (rad unipólov); (Obr.9.11)
- **Antény sú vytvorené z dvoch častí**
 - **oneskorujúcej štruktúry**; (Obr.9.11)
 - **a budiča** (dipól)
 - budič **transformuje** časť energie privádzanej k anténe na povrchovú vlnu, ktorá sa šíri pozdĺž oneskorujúcej štruktúry ku koncu antény, kde sa **vyžiarí do priestoru**

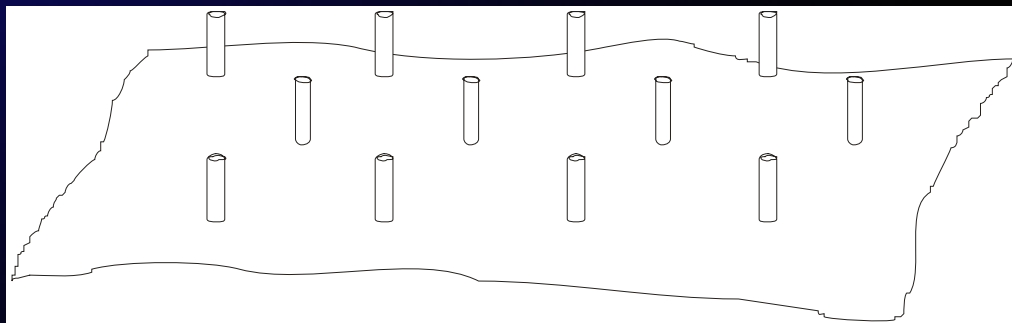
Obr.9.11 Oneskorující štruktúry vodičových antén



Dipólová



Rad unipólov



Rovina unipólov

- Účinnosť vybudenia antény je obvykle 65% až 75%
- Časť energie, ktorá bola privedená k anténe a nedostala sa do oneskorujúcej štruktúry, je vyžiarená budičom
- Pre zlepšenie podmienok pre vybudenie povrchovej vlny je prechod medzi oneskorujúcou štruktúrou a budičom plynulý
- Podobne i na konci antény sa rozmery štruktúry plynule zmenšujú k nule alebo na takú hodnotu, pri ktorej je fázová rýchlosť = c , s cieľom zmenšiť odraz od konca antény
- Maximum vyžarovania je v smere osi antény
- Smerová charakteristika nemá žiadne vedľajšie laloky a je tým užšia, čím je vlnová dĺžka v apertúre bližšie k λ_0
- Výsledná charakteristika antény je superpozíciou smerovej charakteristiky apertúry a smerovej charakteristiky budiča (v tomto prípade má tvar kardioidy)

Témy na zapamätanie

- Priamy vodič s postupujúcou vlnou
- Kosoštvorcová anténa
- Špirálová anténa
- Antény s neuniformnou vlnou

Kontrolné otázky

- Aké sú základné výhody antén s postupujúcou elm vlnou voči anténam so stojatou vlnou?
- Aké sú základné nevýhoda antén s postupujúcou elm vlnou voči anténam so stojatou vlnou?
- Pre ktoré vlnové pásma je vhodné použitie antén s postupujúcou elm vlnou?
- Ktorý je základný typ antény s postupujúcou vlnou (aj obr.)?
- Aká je smerová charakteristika (vyžarovanie) vodiča s postupujúcou prúdovou vlnou? (aj obr.)
- Od čoho závisí smerovosť a zisk vodiča s postupujúcou prúdovou vlnou?
- Čo tvorí konštrukciu kosoštvorcovej (rombickej) antény? (aj obr.)
- Akú hodnotu máva ukončovací odpor kosoštvorcovej (rombickej) antény?
- Akú je účinnosť kosoštvorcovej (rombickej) antény?

- Aká je vyžarovanie kosoštvorcovej antény umiestnenej v určitej výške „h“ nad zemským povrchom (predpokladajme nekonečne vodivú zem)?
- Aká je smerová charakteristika kosoštvorcovej antény? (aj obr.)
- Pre ktoré spojenia je vhodný tvar smerovej charakteristiky kosoštvorcovej (rombickej) antény?
- Akou konštrukčnou úpravou sa zvyšuje účinnosť a zisk kosoštvorcovej (rombickej) antény? (aj obr.)
- Ako je vytvorená špirálová anténa? (aj obr.)
- Aký tvar môžu mať smerové charakteristiky špirálovej antény? (aj obr.)
- Od čoho závisí tvar smerových charakteristík špirálovej antény?
- Kedy nastáva normálové vyžarovanie špirálovej antény?
- Kedy nastáva „V“ vyžarovanie špirálovej antény?
- Kedy nastáva osovú (axiálne) vyžarovanie špirálovej antény?
- Aký tvar vyžarovania nastáva pre krátke špirálové antény s malým priemerom D a s konštantným rozložením prúdu pozdĺž vodiča?

- Aký tvar vyžarovania nastáva pre špirálové antény, ktorých obvod závitov špirálového vodiča sa rádovo rovná vlnovej dĺžke?
- Aká musí byť točivosť závitov špirály (pri pohľade zo strany reflektora), aby nedochádzalo ku poklesu zisku špirálovej antény?
- Ako je polarizované elm pole, keď sa použije špirálová anténa ako vysielacia?
- Aká je špirálová anténa z hľadiska smerovosti?
- Aké postupujúce elm vlny (3 skupiny) sa používajú na prenos elm energie?
- Aká je poloha roviny konštantnej amplitúdy a roviny konštantnej fázy pre uniformné vlny, ktoré sa šíria vo voľnom priestore a vo vedeniach?
- Aká je poloha roviny konštantnej amplitúdy a roviny konštantnej fázy pre neuniformné vlny, ktoré sa šíria vo voľnom priestore a vo vedeniach?
- Ako podľa konštrukcie rozdeľujeme antény s neuniformnou vlnou?
- Aká je konštrukcia dielektrickej antény? (aj obr.)

- Aké je vyžarovanie pri dielektrickej anténe, t.j. anténe s neuniformnou vlnou?
- Čo určuje vyžarovaciu charakteristiku dielektrickej antény?
- Z akých častí sú vytvorené vodičové antény?
- Aká býva účinnosť vybudenia vodičovej antény?
- V ktorom smere je maximum vyžarovania vodičovej antény?
- Aký tvar má smerová charakteristika vodičovej antény?

Zoznam použitých skratiek a symbolov

■ Skratky:

- ELM, elm- elektromagnetický
- VF- vysokofrekvenčný

■ Značky:

- D- priemer
- H- výška
- l - dĺžka ramien
- λ - vlnová dĺžka
- O- obvod závit
- R_z - odpor vyžarovania
- S- stúpanie závit
- Z_v - vlnová impedancia

Ďakujem za pozornosť