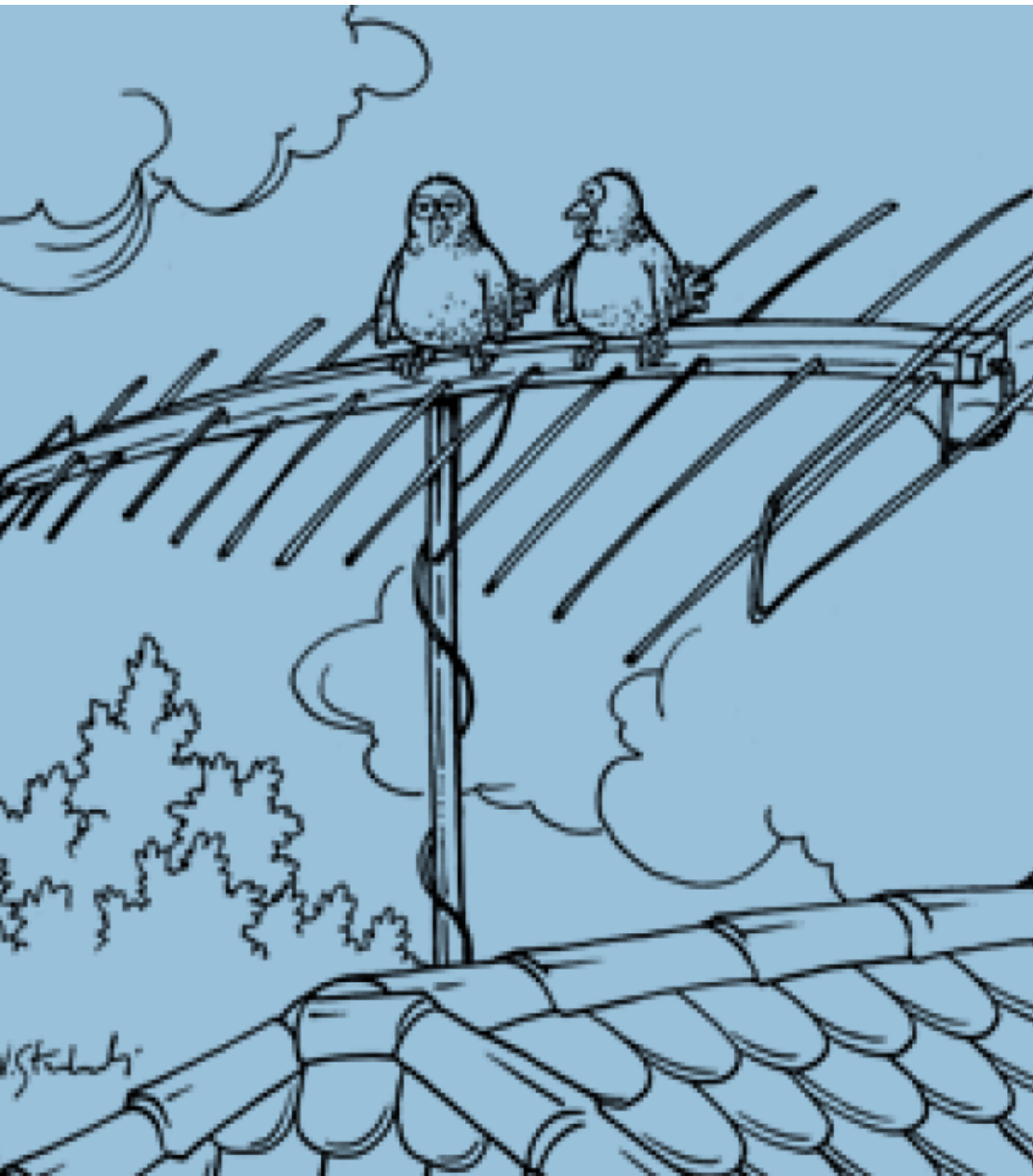


# Yagi-Uda, heliks in druge antene



Mobitel d.d.,  
izobraževanje

- 29. 5. 2009,
- predavanje 15

Prof. dr. Jožko Budin

# Vsebina

1. Dipoli (nadaljevanje)  
Rokavni dipol
2. Dipol pred kotnim reflektorjem
3. Krožna zanka
4. Antena Yagi-Uda  
Podatki za obravnavo
5. Vijačna antena (Heliks)  
Podatki za obravnavo
6. Bazne antene Kathrein - pregled

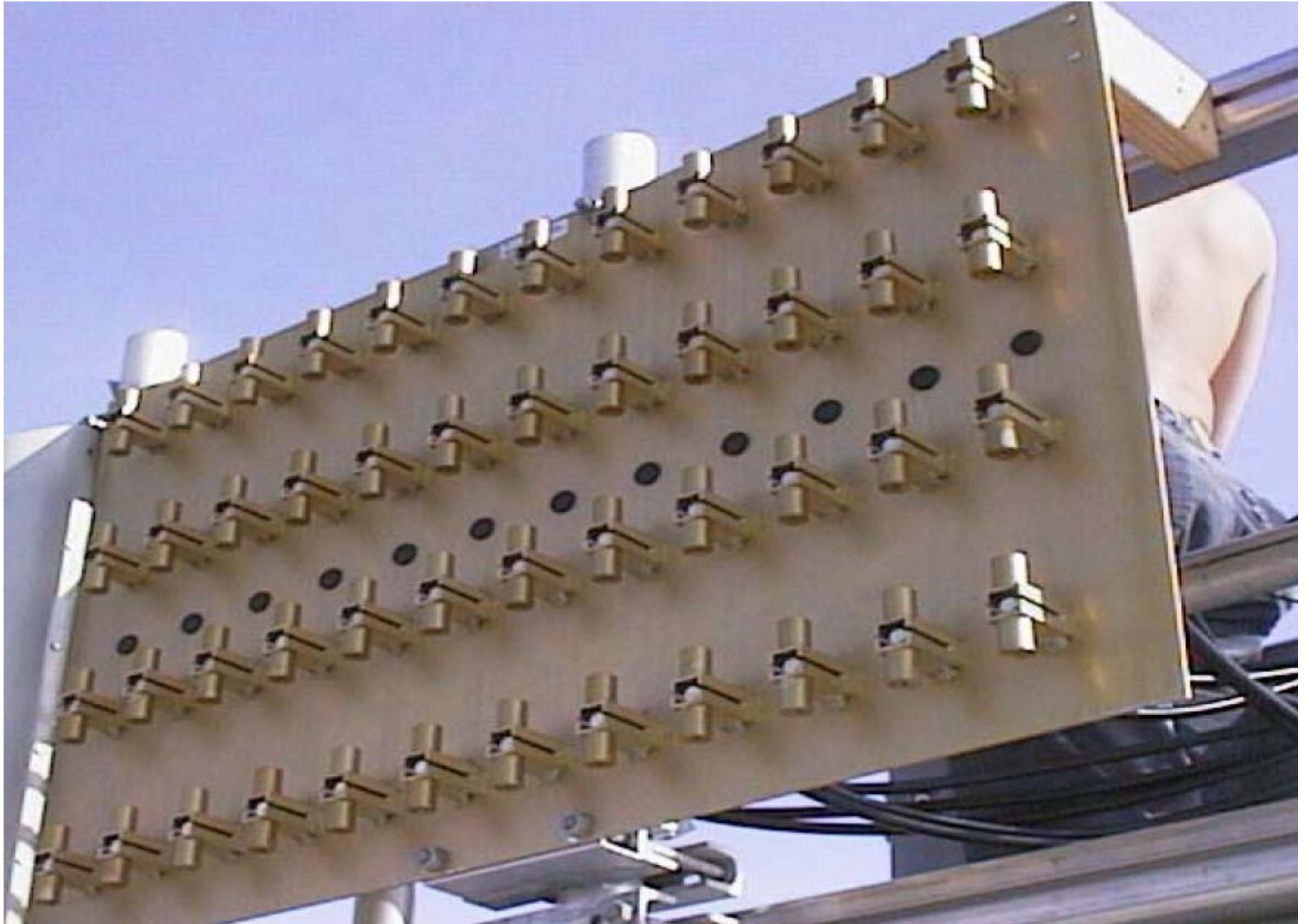
# Antenske karakteristike in podatki

- Frekvenčni pas, MHz
- Dobitek in smernost, dBi, dBd, dBic
- Smerni diagram komponent(e) poljske jakosti
- Širina glavnega snopa (lista), stopinje
- Slabljenje stranskih snopov, dB
- Razmerje naprej/nazaj, dB
- Polarizacija (Lin, Cirk, osno razmerje)
- Smerni diagram parazitne komponente polja
- Dovoljena moč, W
- Mehanski podatki

# Širokopasovna antena

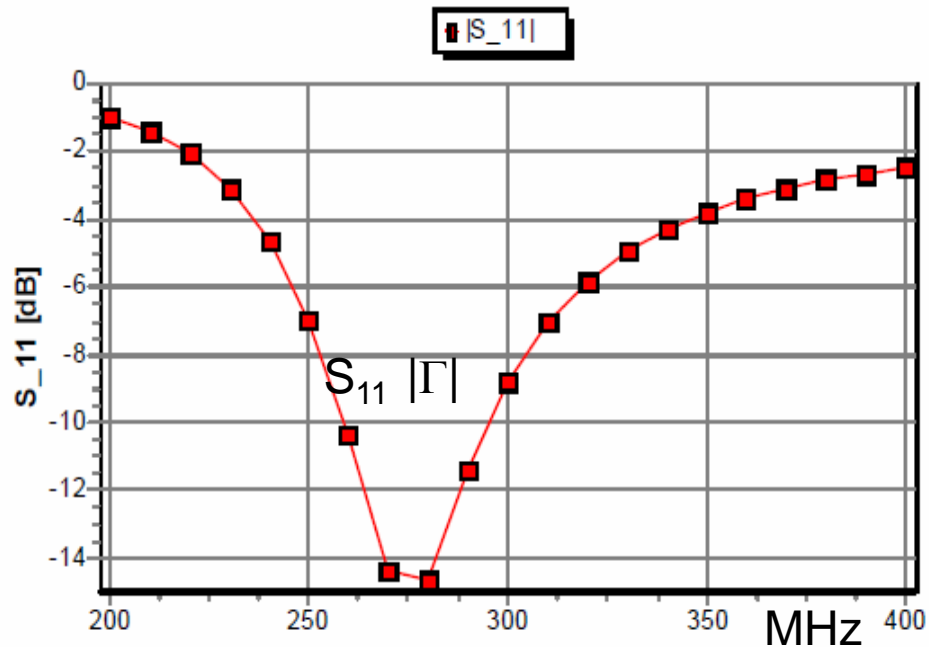
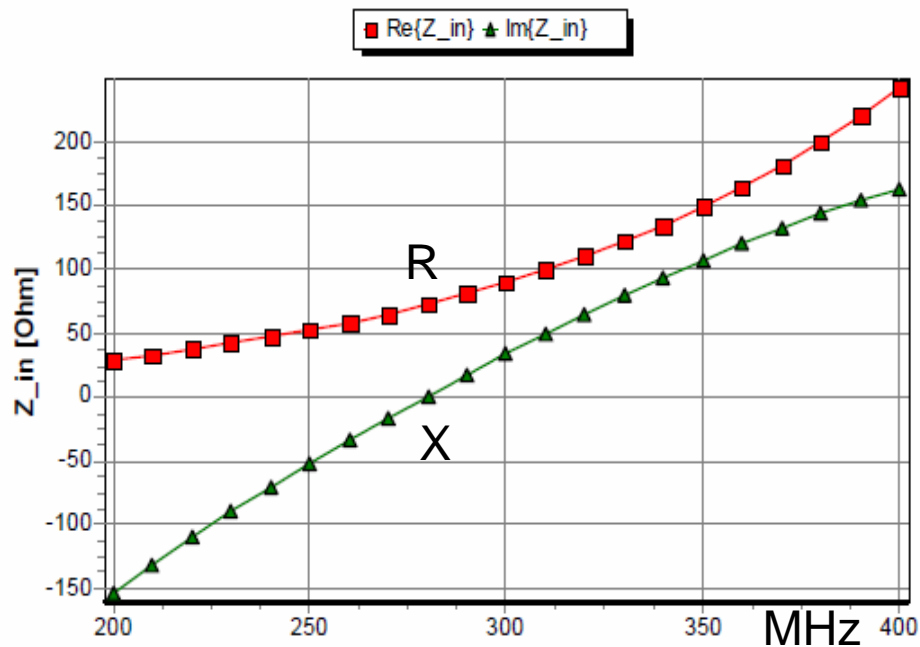
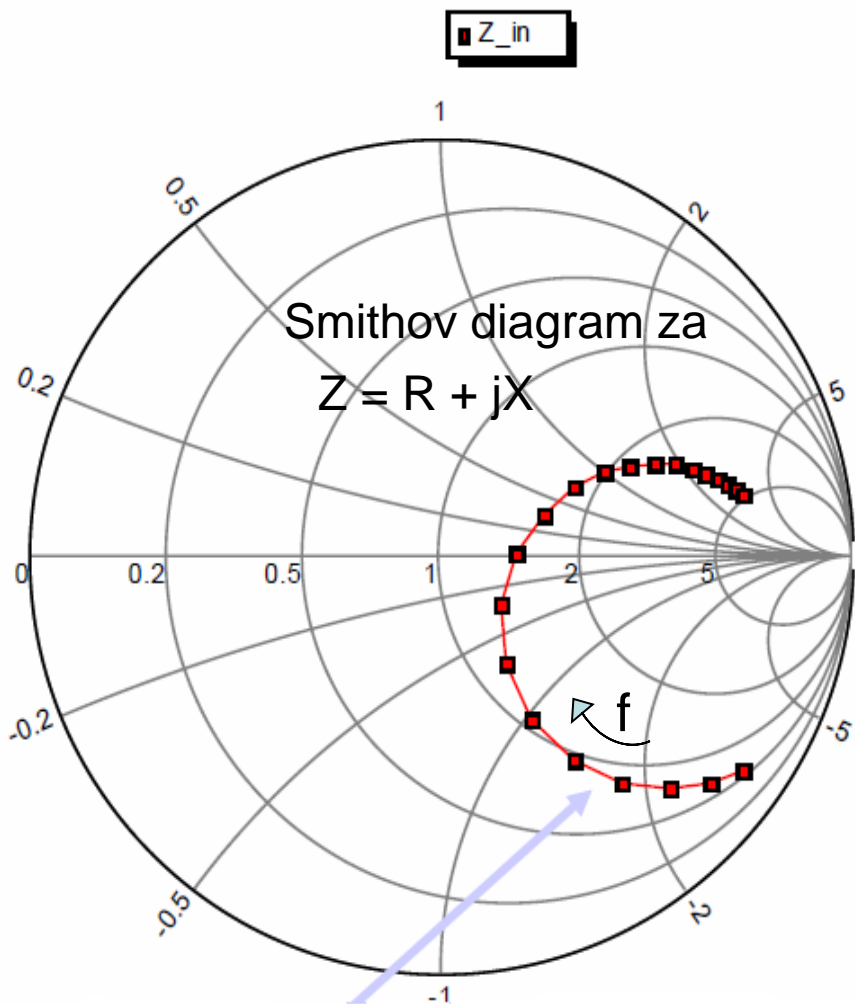


# Dipolska skupina



# Impedanca dipola v Smithovem diagramu

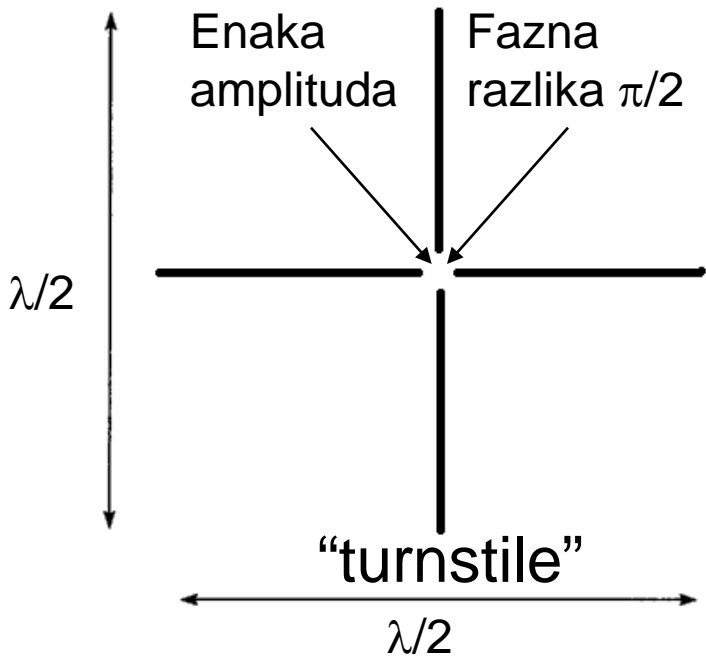
Predstavitev frekvenčnega poteka impedance dipola



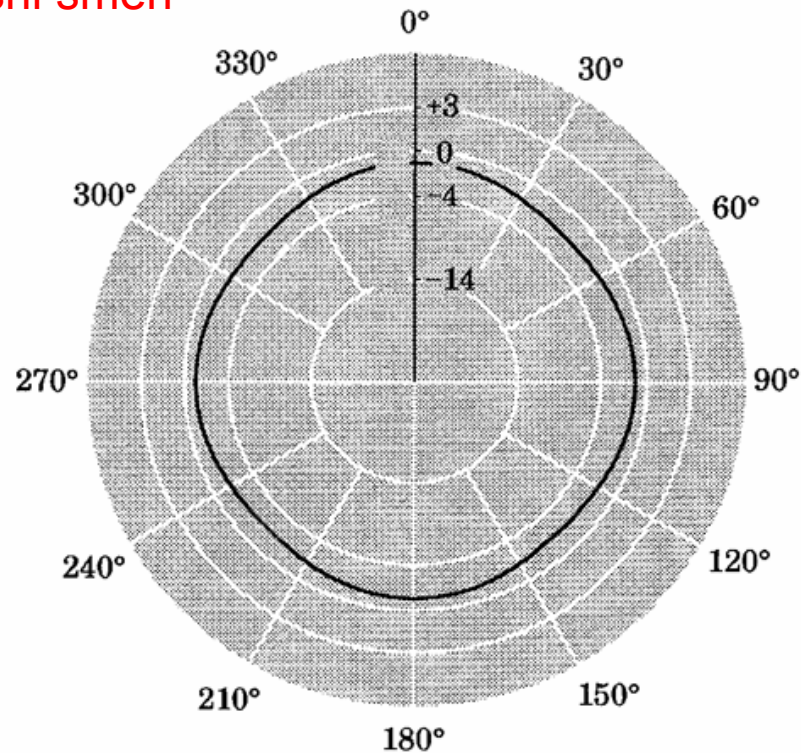


# Križna dipolska antena

- Vzbujanje s tokovoma enake amplitude in fazne razlike  $\pm\pi/2$
- Vsesmerni diagram in linearna polarizacija v ravnini križa
- Desna ali leva krožna polarizacija v smeri pravokotno na ravnino križa
- Eliptična polarizacija v splošni smeri

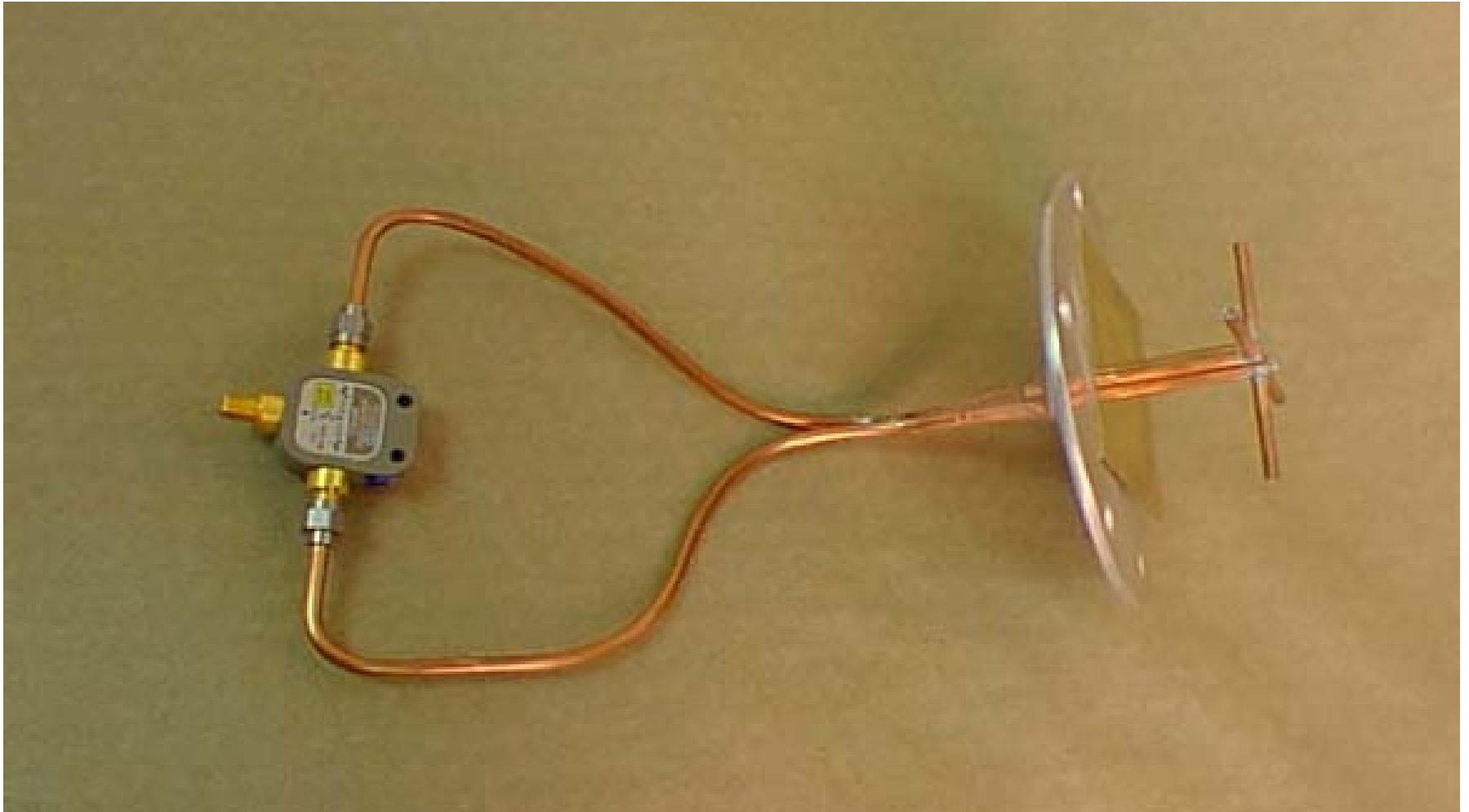


Geometrija



Dipoli  $\lambda/2$  - Smerni diagram približno krožne oblike (Elementarni dipoli - Smerni diagram krožne oblike)

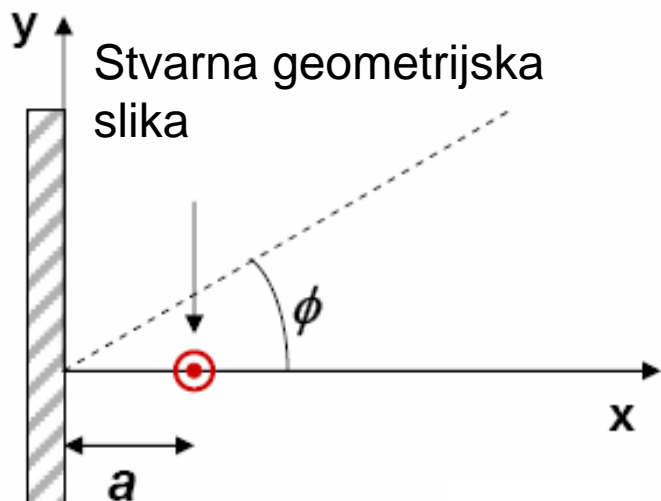
# Primer antene – križna antena



Dva prekrižana polvalovna dipola pred krožnim reflektorjem sta vzbujena z enako amplitudo in fazno razliko  $\pi/2$ . Vzbujanje omogoča mikrovalovno hibridno vezje. Antena seva krožno polarizirano polje v smeri naprej.



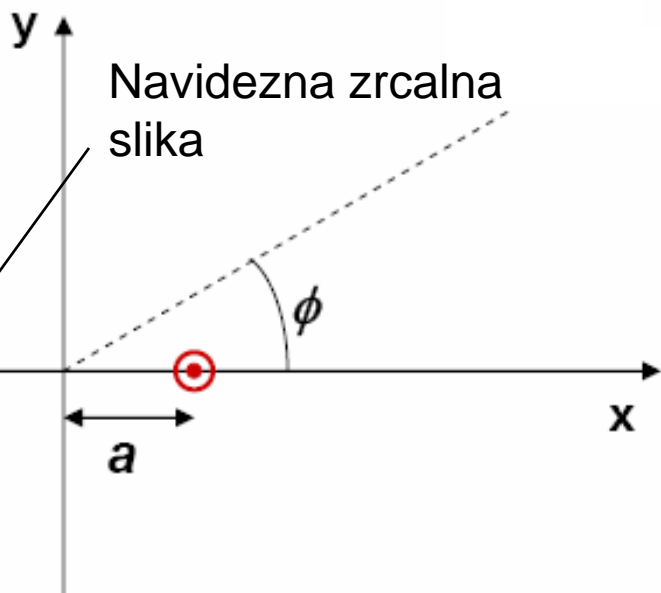
# Kratek dipol pred ravnim reflektorjem



Od reflektorja se polje odbije v protifazi.  
Pri  $a = \lambda/4$  je polje pred reflektorjem največje.

Smerni diagram:

$$F(\theta, \phi) = \begin{cases} \sin [ka \sin(\theta) \cos(\phi)] & \text{pri } -\pi/2 \leq \phi \leq \pi/2 \\ 0 & \text{pri } \pi/2 \leq \phi \leq 3\pi/2 \end{cases}$$

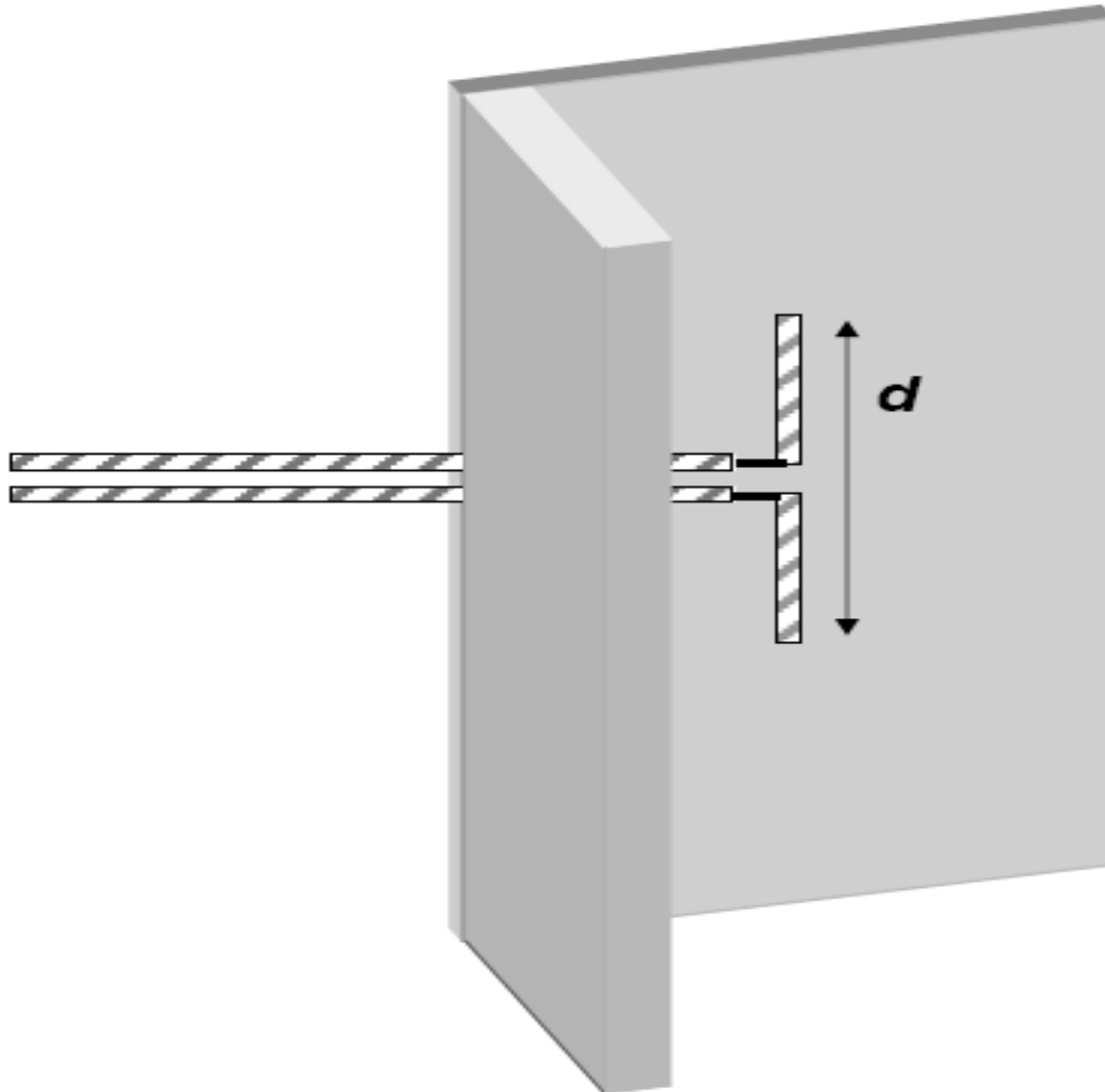


Pogoj za maksimalno polje na osi x:

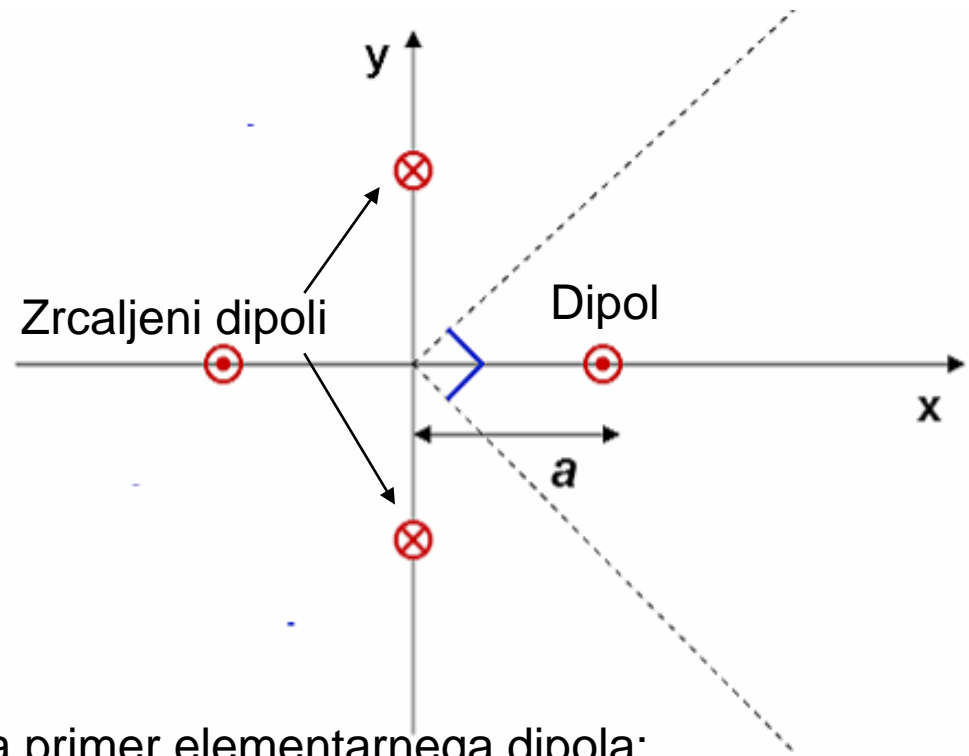
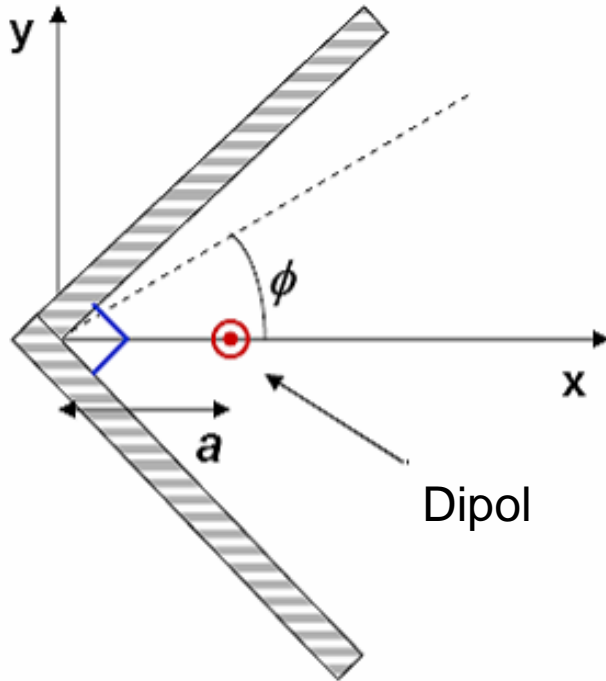
$$ka = n \frac{\pi}{2} \quad \{n = 1, 3, 5, \dots\}$$

$$a = n \frac{\lambda}{4} \quad \{n = 1, 3, 5, \dots\}$$

# Kotni reflektor



# Dipol pred kotnim reflektorjem 1/2



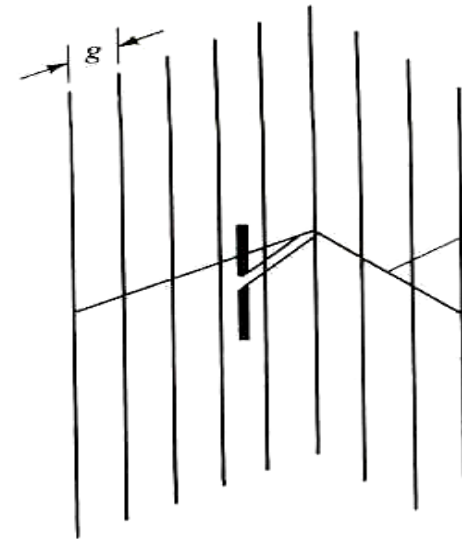
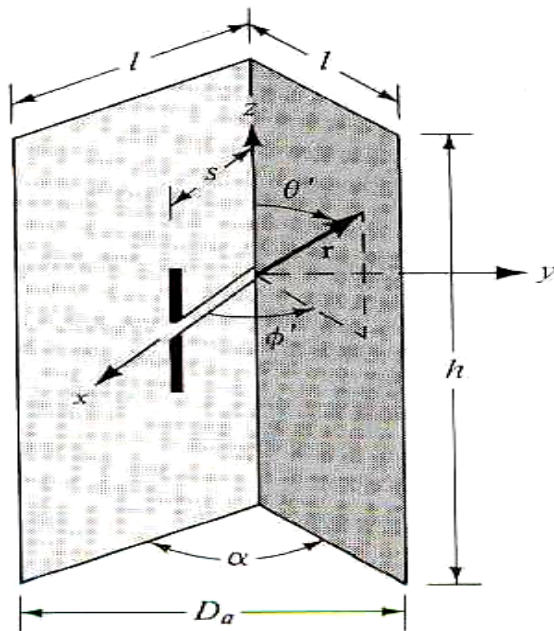
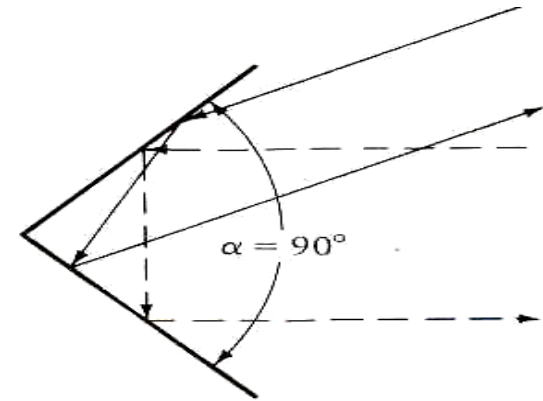
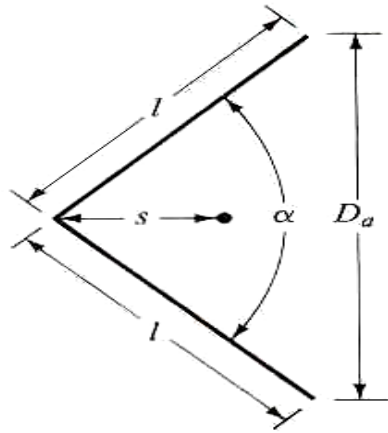
Smerni diagram v prostoru za primer elementarnega dipola:

$$F(\theta, \phi) = \begin{cases} \cos[ka \sin(\theta) \cos(\phi)] - \cos[ka \sin(\theta) \sin(\phi)] & \text{pri } -\pi/4 \leq \phi \leq \pi/4 \\ 0 & \text{drugod} \end{cases}$$

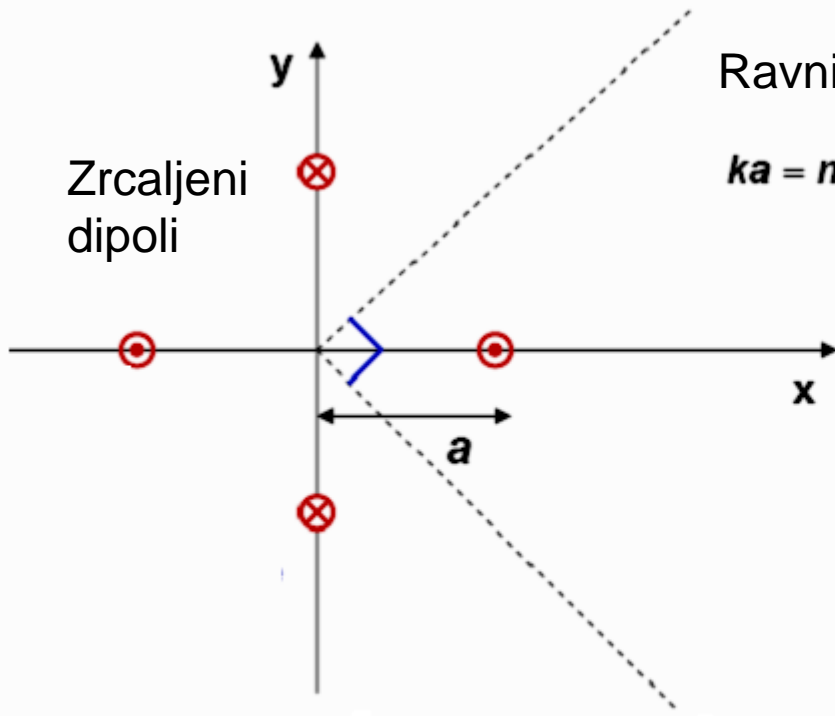
$$ka = n\pi \quad \{n = 1, 3, 5, \dots\}$$

Pogoj za maksimalno sevanje v smeri osi x

# Dipol pred kotnim reflektorjem 2/2



# Dipol pred kotnim reflektorjem

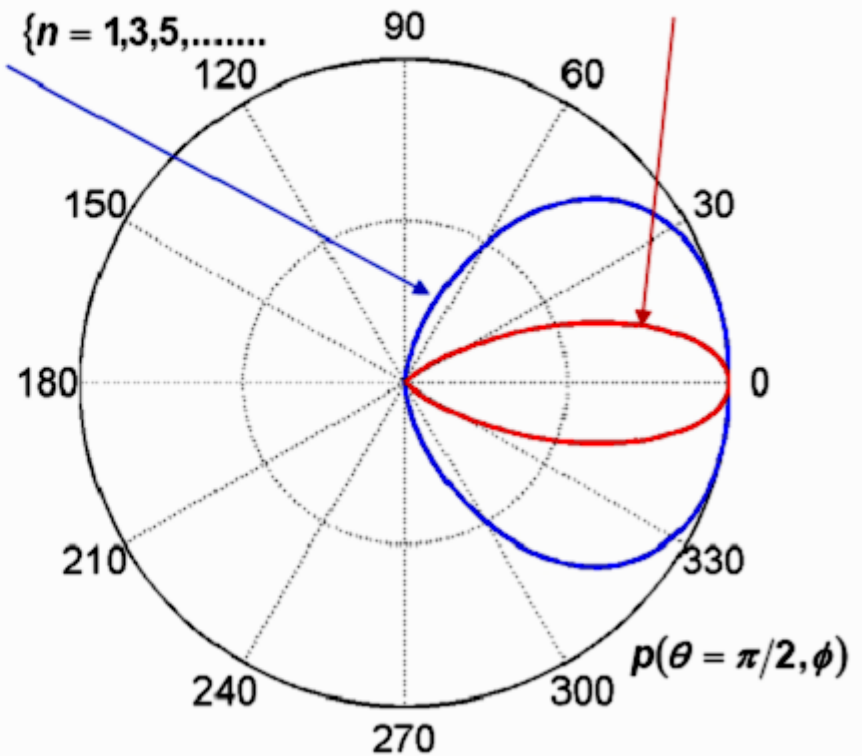


Ravni reflektor

$$ka = n \frac{\pi}{2} \quad \{n = 1, 3, 5, \dots\}$$

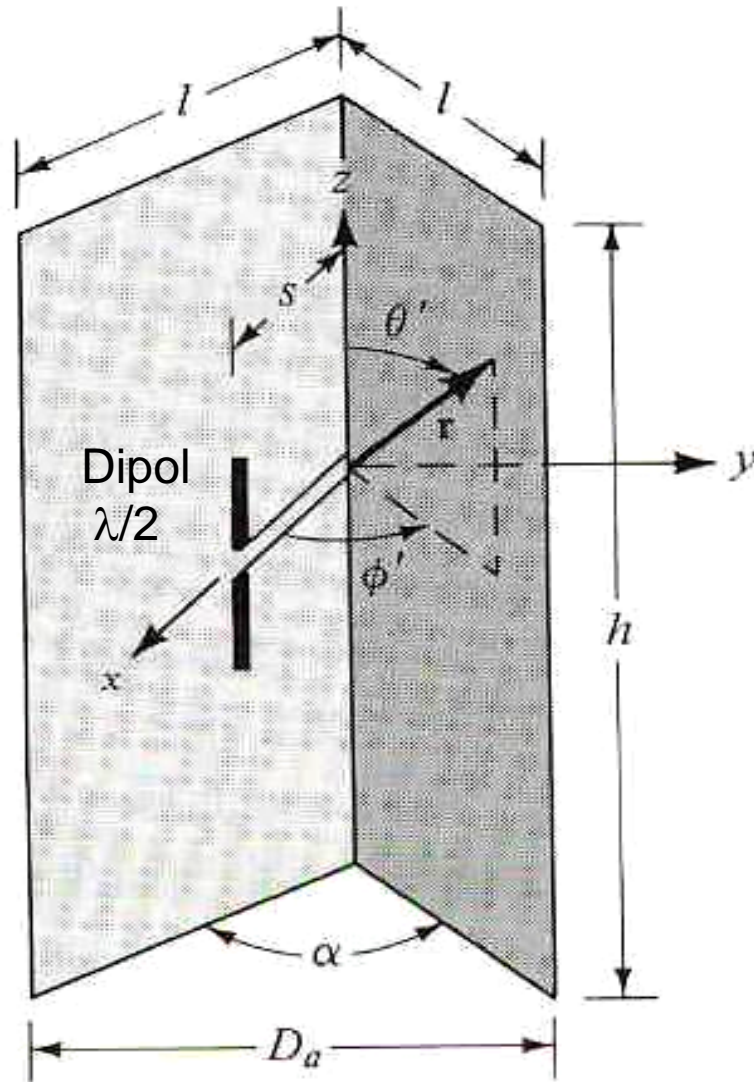
Kotni reflektor

$$ka = n\pi \quad \{n = 1, 3, 5, \dots\}$$



$$G(\theta, \phi) = \begin{cases} \sin(\theta) F(\theta, \phi) & \text{pri } -\pi/4 \leq \phi \leq \pi/4 \\ 0 & \text{drugod} \end{cases}$$

# Dipol pred kotnim reflektorjem



$$\alpha = \pi, \pi/2, \pi/3$$

$\alpha = \pi/2$ , dipol + 3 zrcalne slike

$\alpha = \pi/2$  en glavni snop pri  $s = 0,3\lambda \dots 0,7\lambda$

$$l = 2\lambda$$

$$h = \lambda$$

$$G = 12 \text{ dBi}$$

$$F/B = 20 \text{ dB}$$

$$\text{VSWR} < 1,7$$

Smerni diagram skupine:

$$F_s(\theta, \phi) = \cos(ks \sin\theta \cos\phi) - \cos(ks \sin\theta \sin\phi)$$

$$F(\theta, \phi=0) = (\cos(ks \sin\theta) - 1) \cos((\pi/2)\cos\theta) / \sin\theta$$

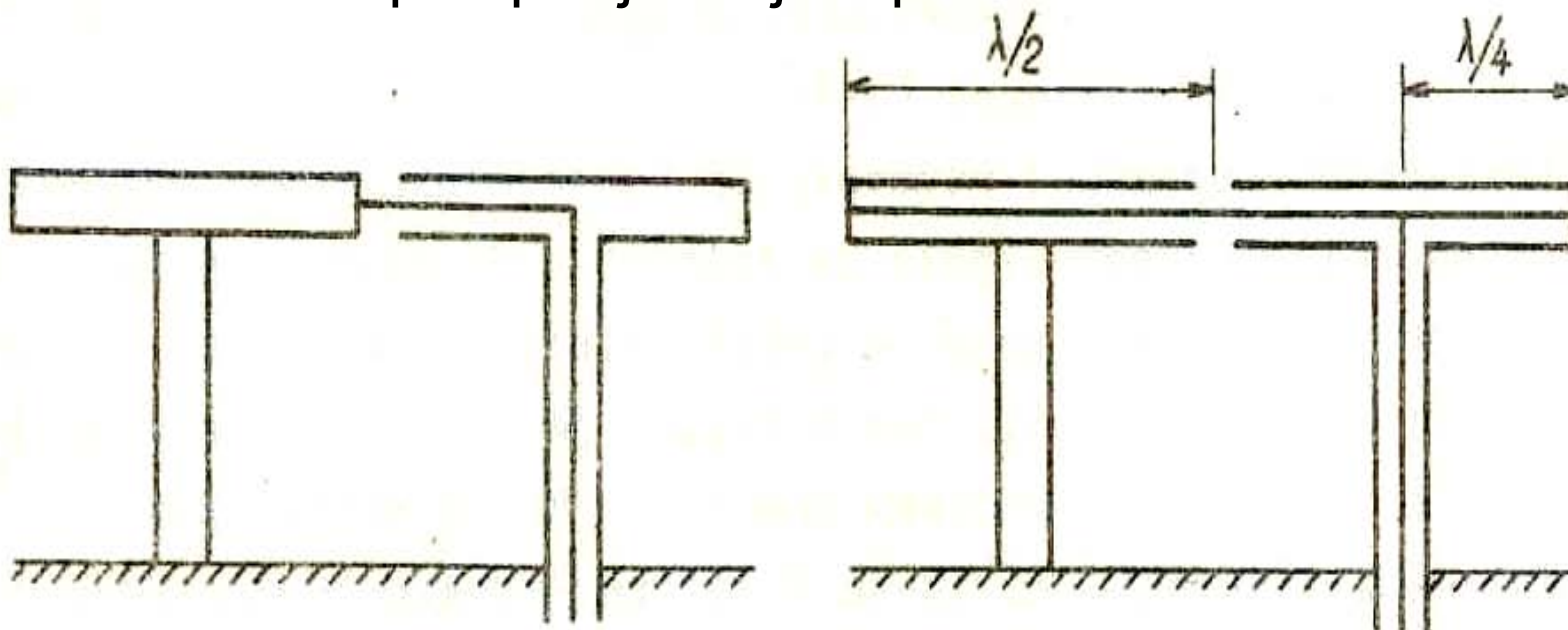
$$F(\theta=\pi/2, \phi) = \cos(ks \cos\phi) - \cos(ks \sin\phi)$$

# Polvalovni in enovalovni dipol

## Polvalovni dipol z notranjim vodnikom



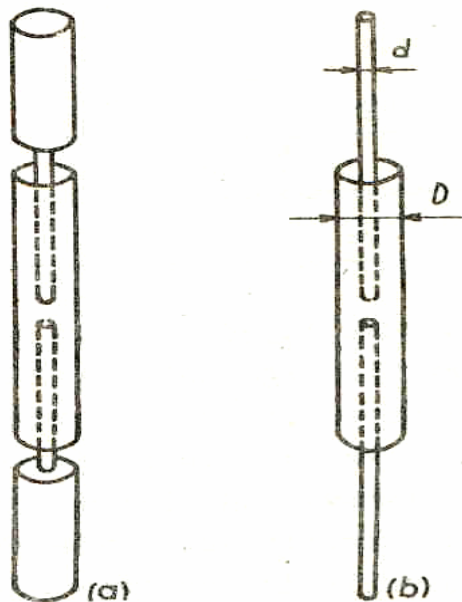
## Enovalovni dipol: pritrjevanje dipola v nevtralnih točkah



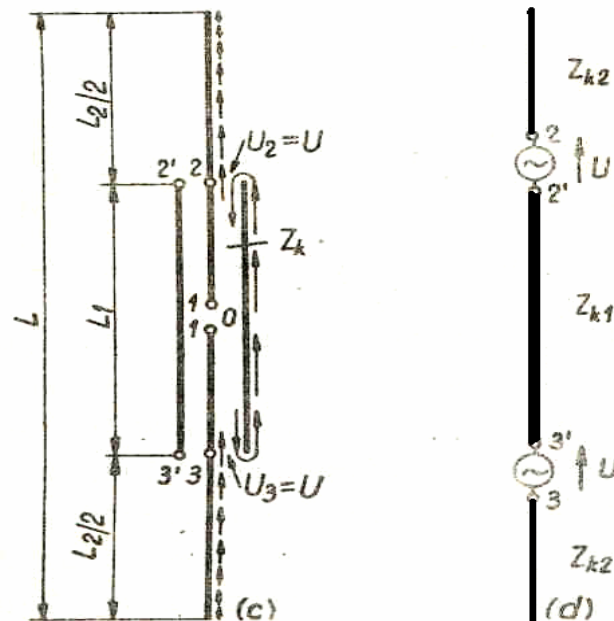


# Rokavni dipol in unipol

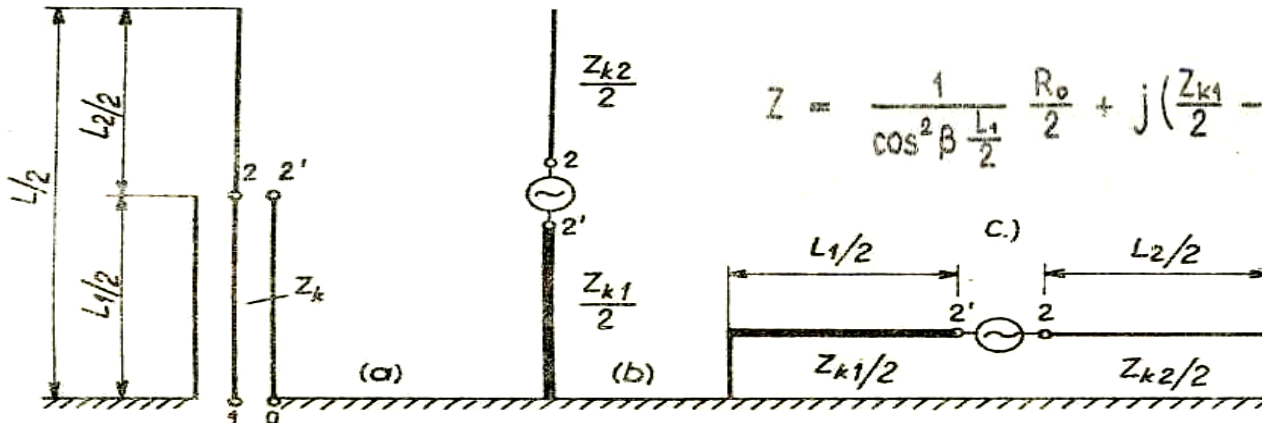
Dve obliki valjastega rokavnega dipola



Antenski tokovi in slika vzbujanja



Pojasnitev impedance rokavnega unipola

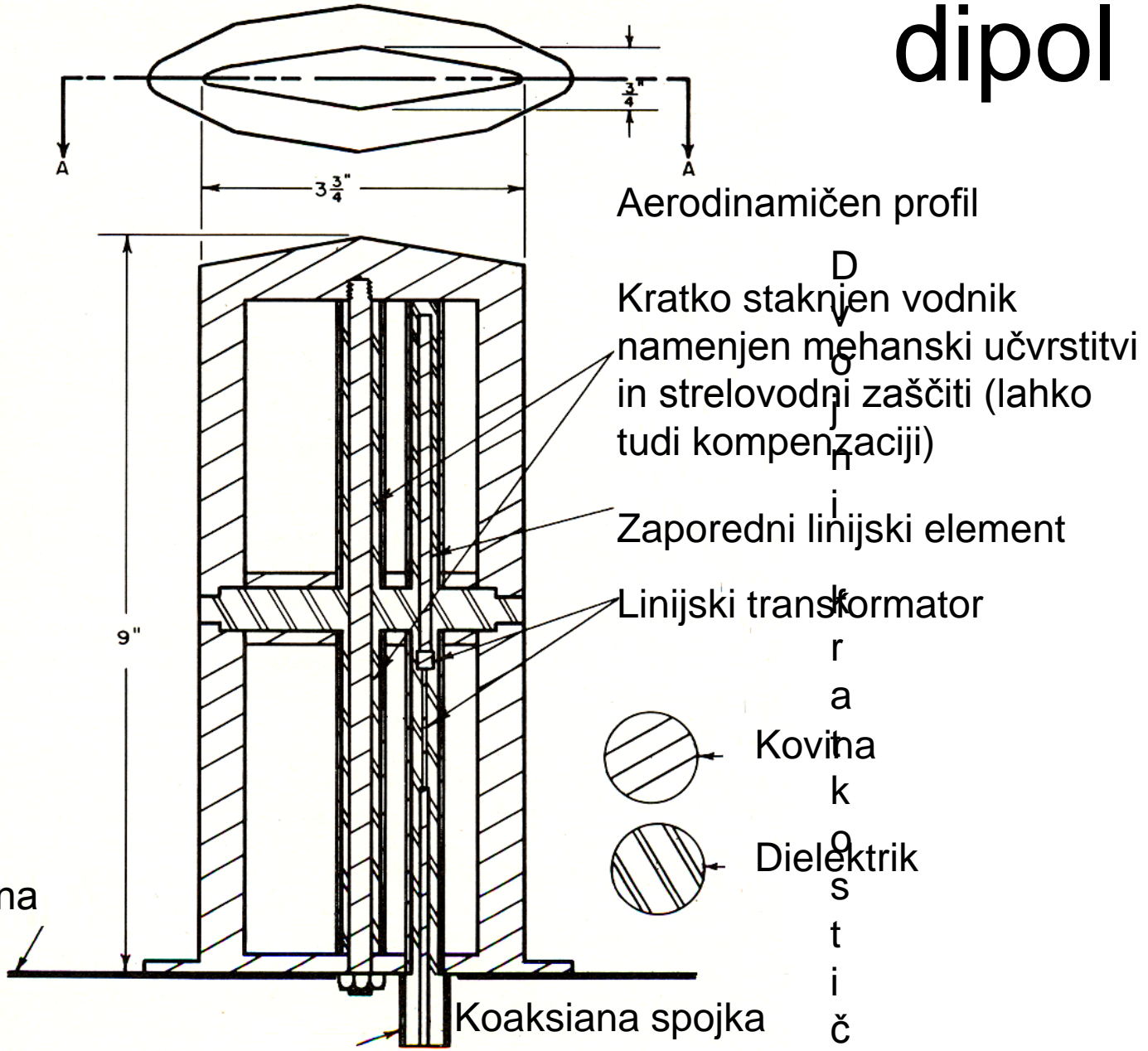


$$Z = \frac{1}{\cos^2 \beta \frac{L_1}{2}} \frac{R_0}{2} + j \left( \frac{Z_{k1}}{2} - \frac{Z_{k2}}{2} \right) \operatorname{tg} \beta \frac{L_1}{2}, \quad R_0 = 73 \Omega.$$

# Rokavni

# dipol

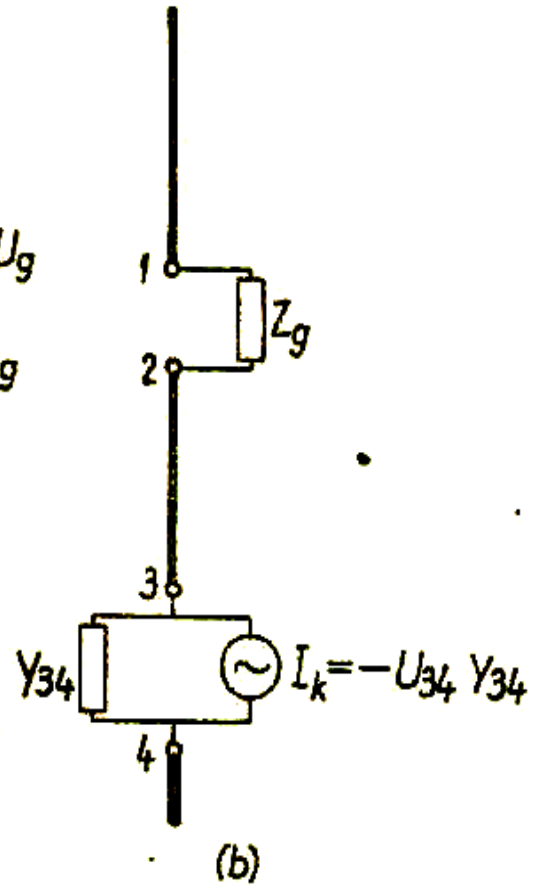
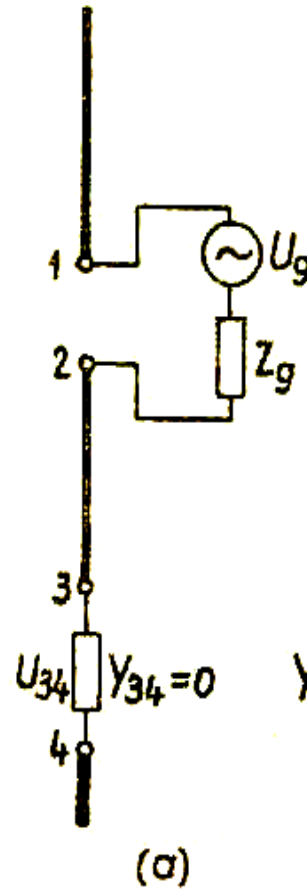
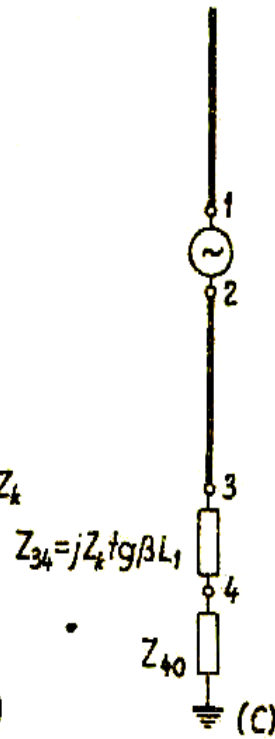
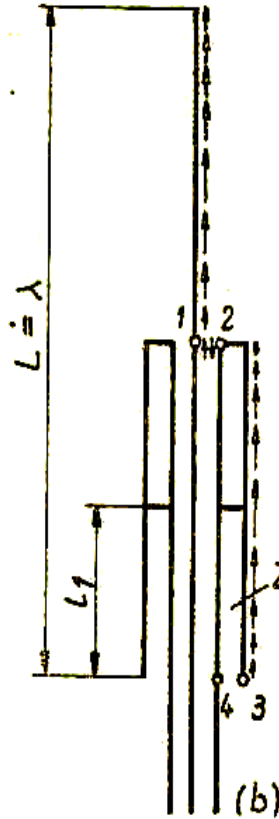
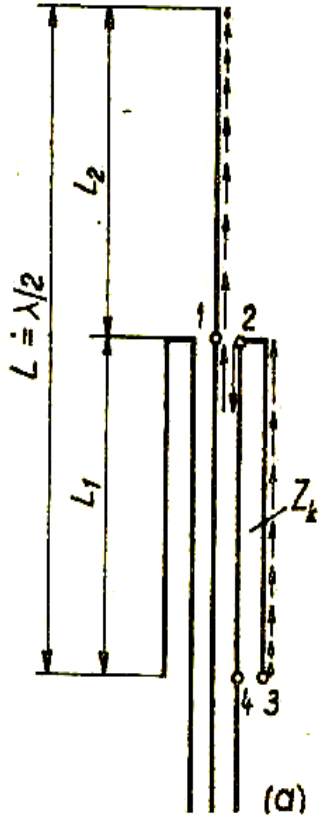
Primer izvedbe za  
montažo na letalu



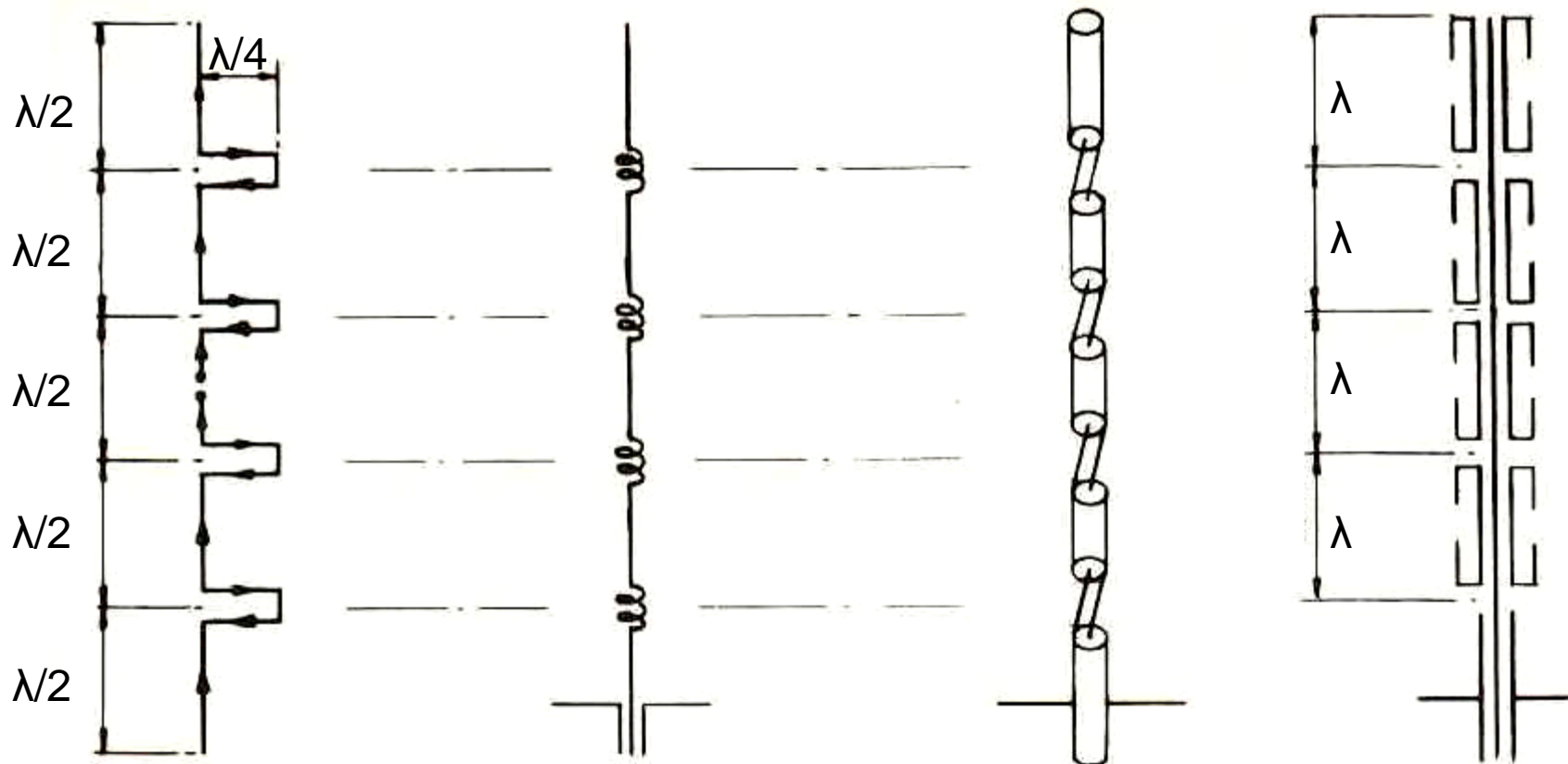
r  
a  
k  
o  
s  
t  
i  
č  
n

# Koaksialni dipol

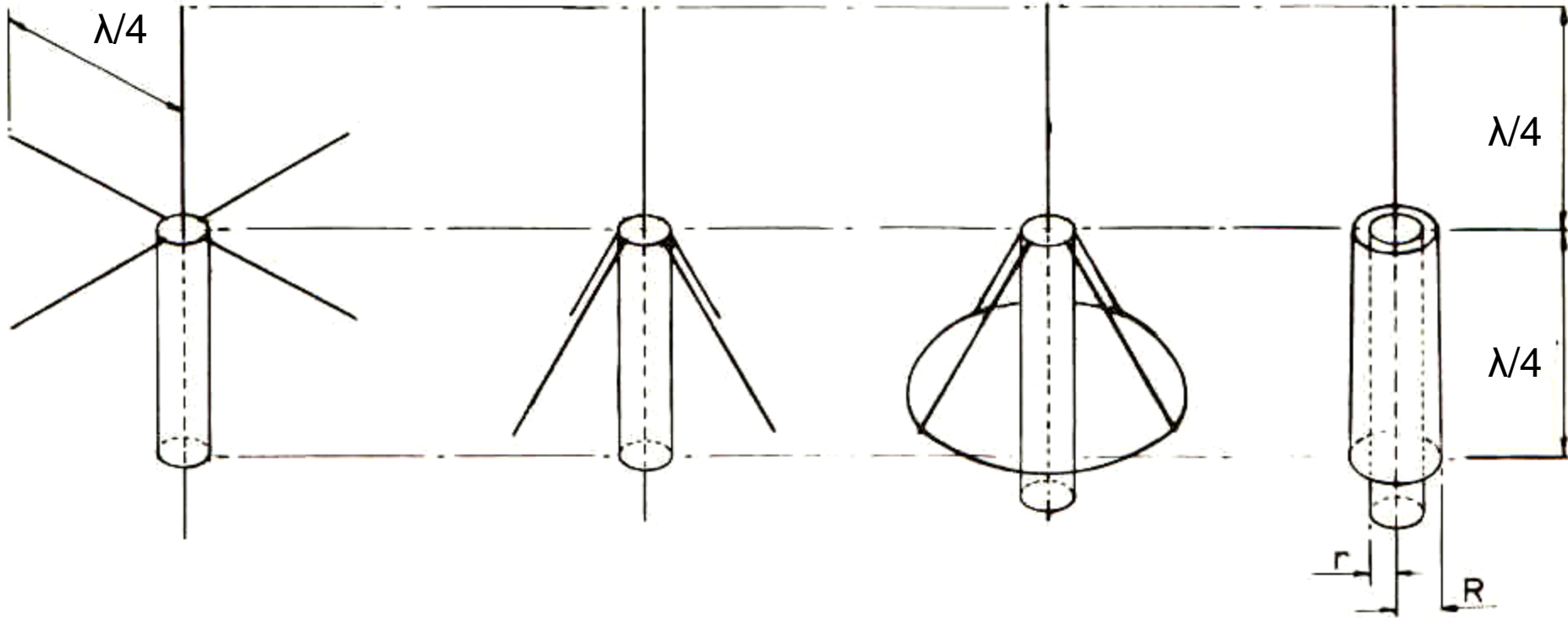
$$L = \lambda/2 \quad L = \lambda$$



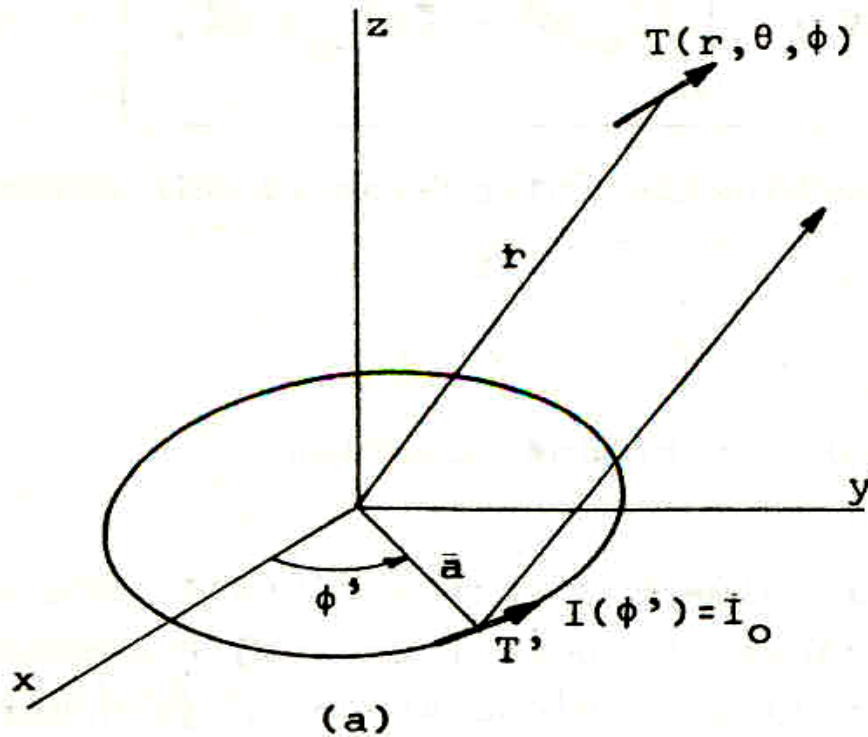
# Vsesmerne antene baznih postaj



# Koaksialni unipoli



# Krožna tokovna zanka



Tok konstantne porazdelitve.

$$\phi = 0$$

Vektorski potencial

$$A_{\phi} \approx \frac{a\mu I_0 e^{-jkr}}{4\pi r} \int_0^{2\pi} \cos\phi' e^{+jka\sin\theta\cos\phi'} d\phi'$$

$$A_{\phi} \approx j \frac{a\mu I_0 e^{-jkr}}{2r} J_1(ka\sin\theta)$$

# Smerni diagram krožne zanke

—————  $a = 0.1\lambda$

- - - - -  $a = 0.2\lambda$

.....  $a = 0.5\lambda$

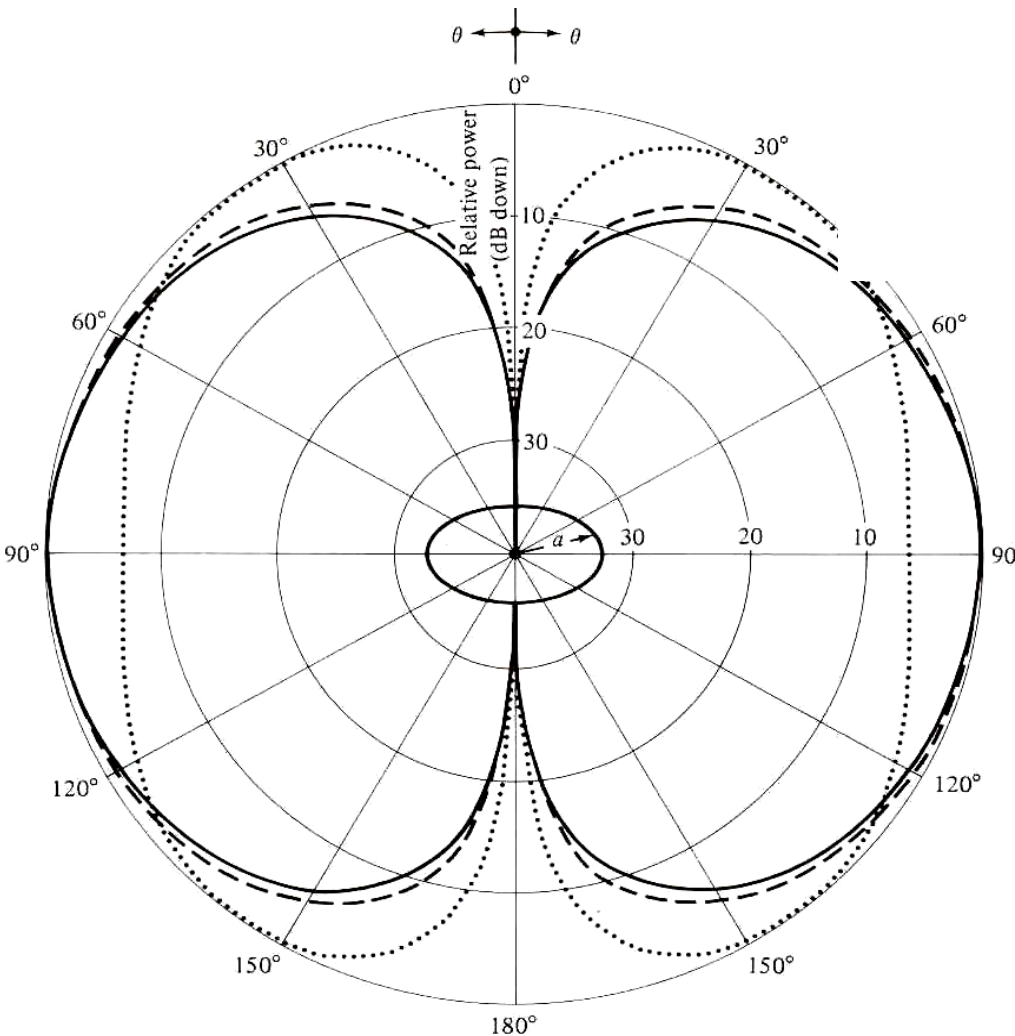
Daljno polje ( $r \gg a$ ) pri konstantnem toku na zanki:

$$E_r \simeq E_\theta = 0$$

$$E_\phi \simeq \frac{a\omega\mu I_0 e^{-jkr}}{2r} J_1(ka \sin\theta)$$

$$H_r \simeq H_\phi = 0$$

$$H_\theta \simeq -\frac{E_\phi}{\eta} = -\frac{a\omega\mu I_0 e^{-jkr}}{2\eta r} J_1(ka \sin\theta)$$





# Sevalne karakteristike krožne zanke

$$\mathbf{W}_{\text{av}} = \frac{1}{2} \text{Re}[\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*] = \frac{1}{2} \text{Re}[\hat{a}_\phi E_\phi \times \hat{a}_\theta H_\theta^*] = \hat{a}_r \frac{1}{2\eta} |E_\phi|^2$$

Gostota moči

$$\mathbf{W}_{\text{av}} = \hat{a}_r W_r = \hat{a}_r \frac{(a\omega\mu)^2 |I_0|^2}{8\eta r^2} J_1^2(ka \sin \theta)$$

$$U = r^2 W_r = \frac{(a\omega\mu)^2 |I_0|^2}{8\eta} J_1^2(ka \sin \theta)$$

Sevalna jakost

$$P_{\text{rad}} = \iint_S \mathbf{W}_{\text{av}} \cdot d\mathbf{s} = \frac{\pi (a\omega\mu)^2 |I_0|^2}{4\eta} \int_0^\pi J_1^2(ka \sin \theta) \sin \theta d\theta$$

Sevana moč

$$R_r = \frac{2P_{\text{rad}}}{|I_0|^2} = \frac{2\pi (a\omega\mu)^2}{4\eta (ka)} = \eta \left( \frac{\pi}{2} \right) ka = 60\pi^2 (ka) = 60\pi^2 \left( \frac{C}{\lambda} \right)$$

Sevalna upornost

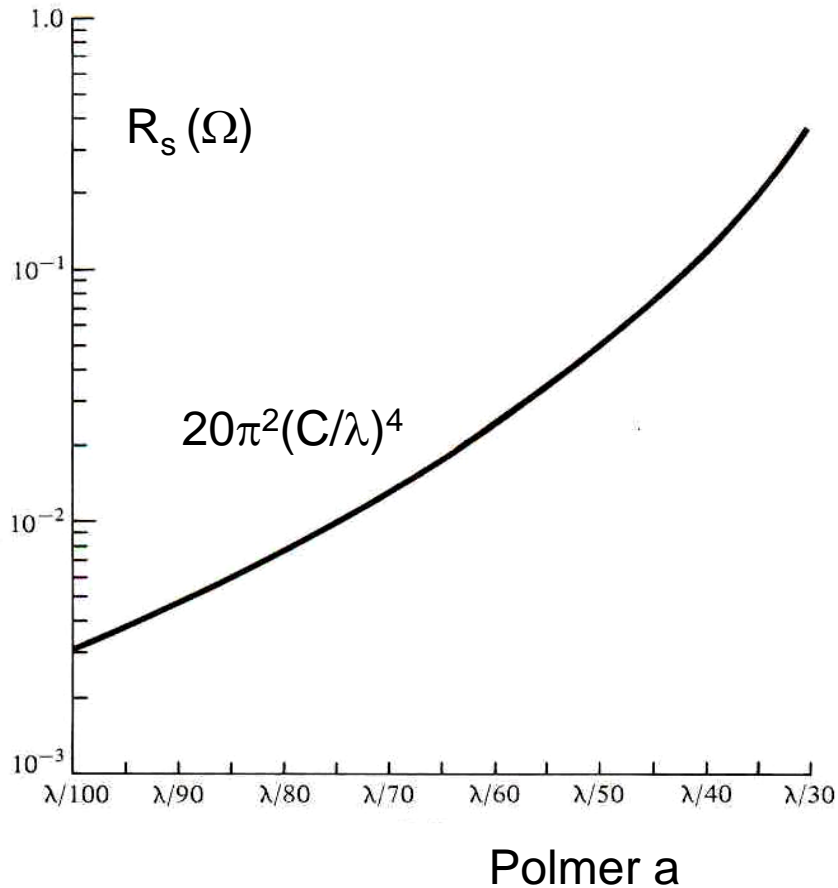
$$D_0 = 4\pi \frac{U_{\text{max}}}{P_{\text{rad}}} = 4\pi \frac{ka(0.584)^2}{2\pi} = 2ka(0.584)^2 = 0.682 \left( \frac{C}{\lambda} \right)$$

Smernost

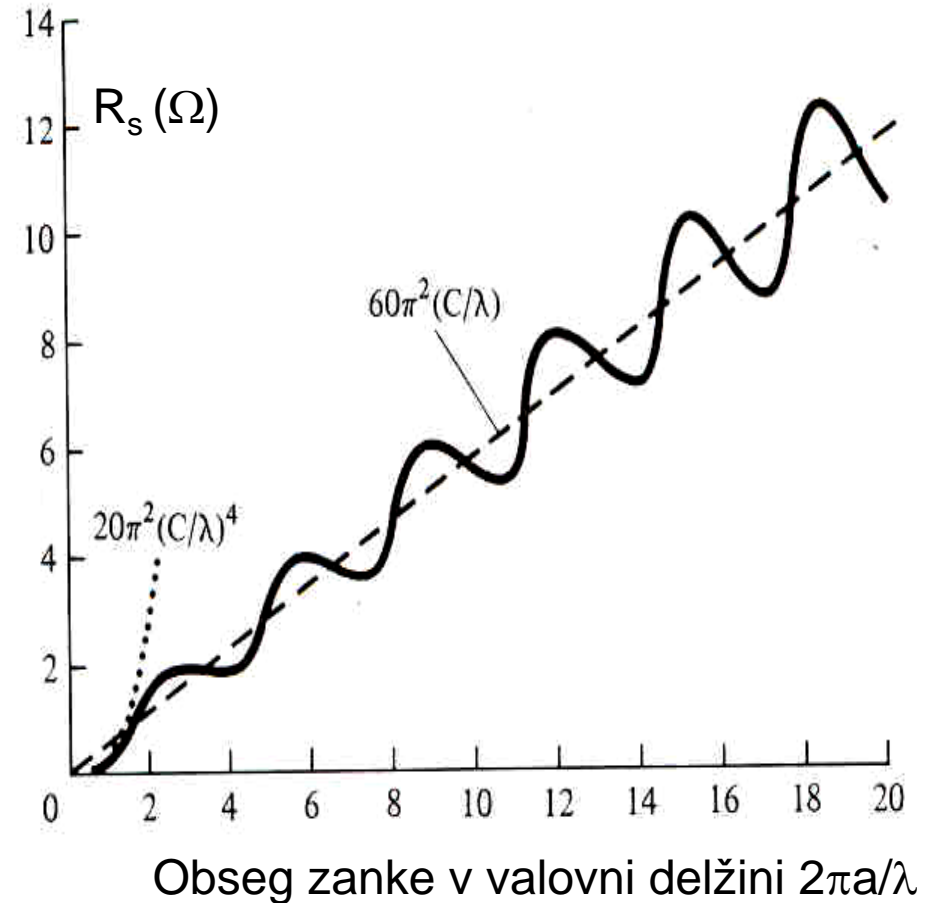
$$(C = 2\pi a)$$

# Sevalna upornost manjše in večje zanke

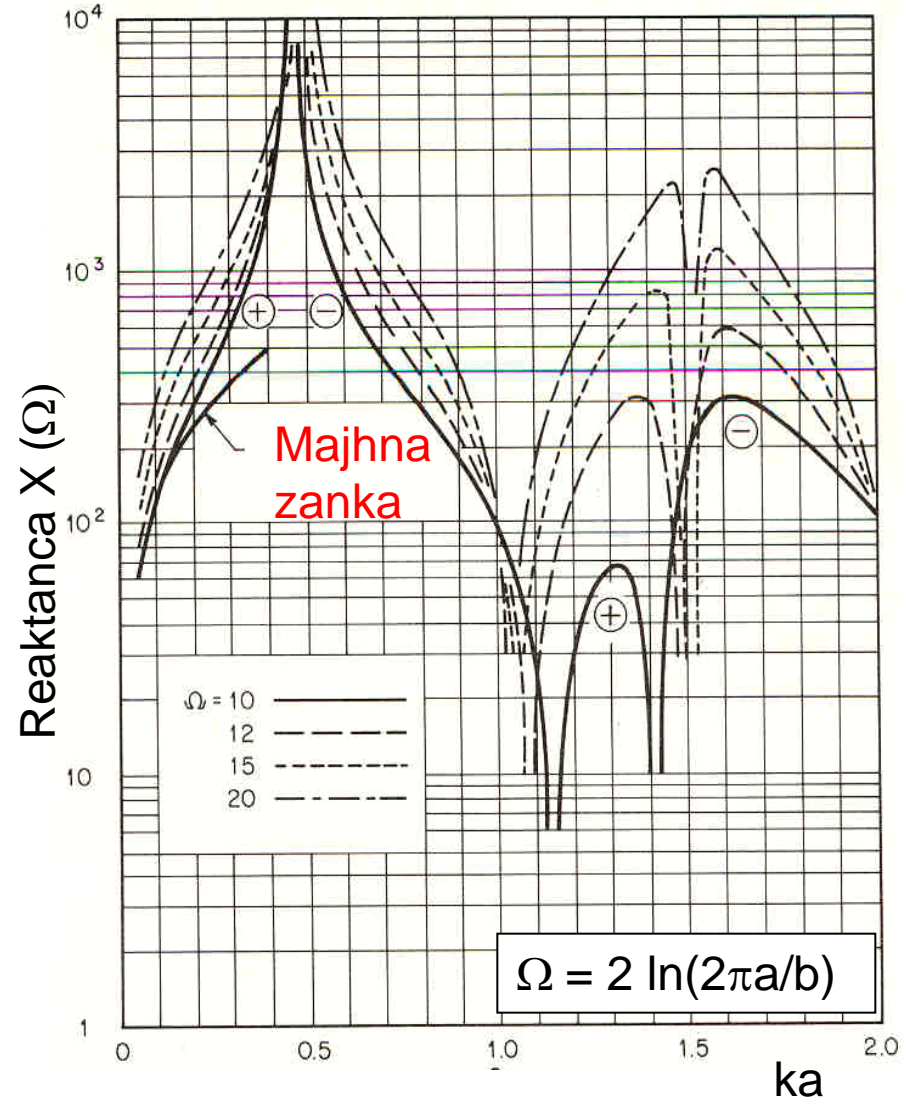
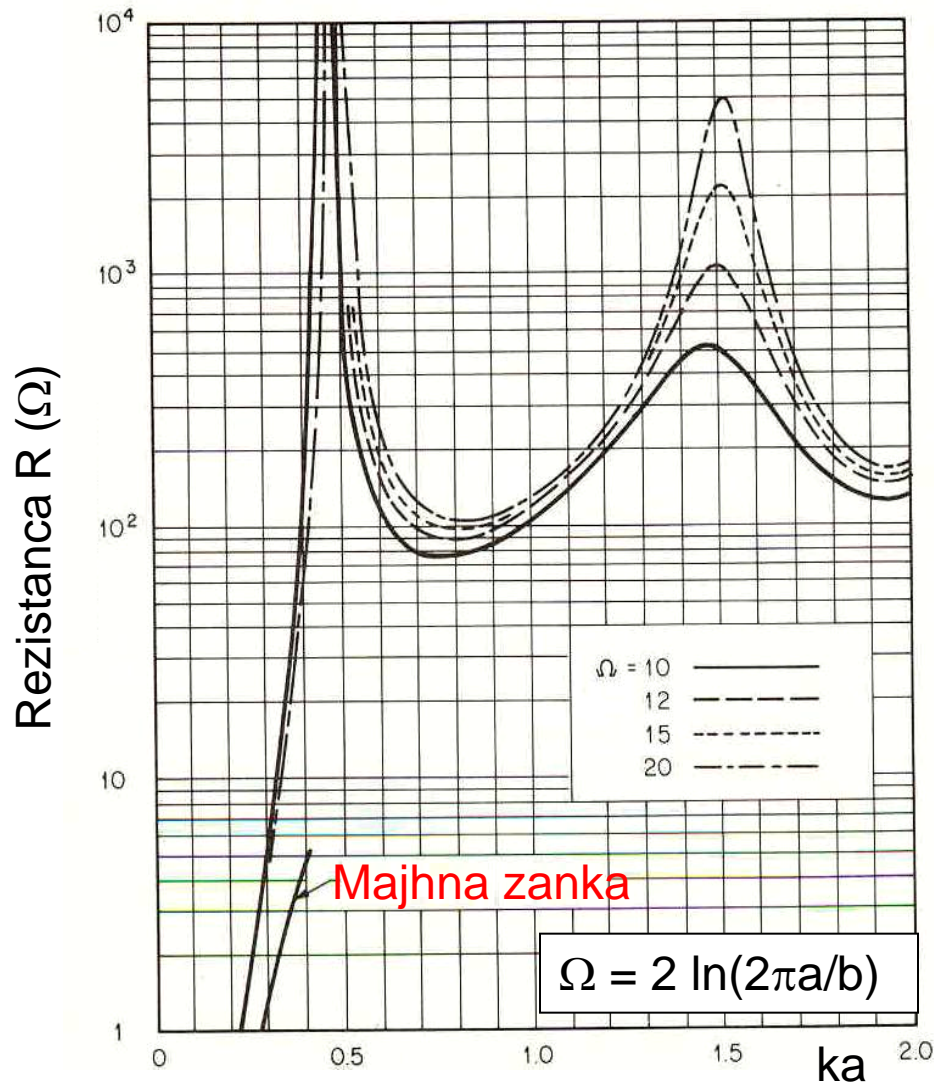
Majhna zanka  $a < \lambda$



Večja zanka  $a > \lambda$



# Impedanca krožne zanke

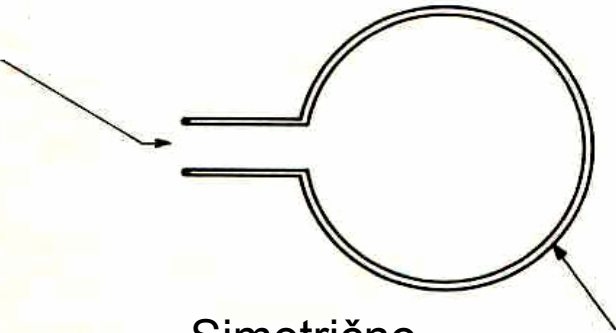


a...polmer zanke b...polmer vodnika

Vir: Jonson-Jasik 5-10/11

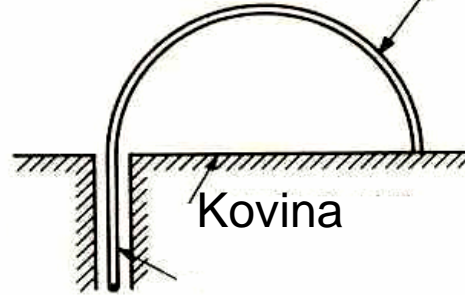
# Načini vzbujanja krožne zanke

Krožna zanka

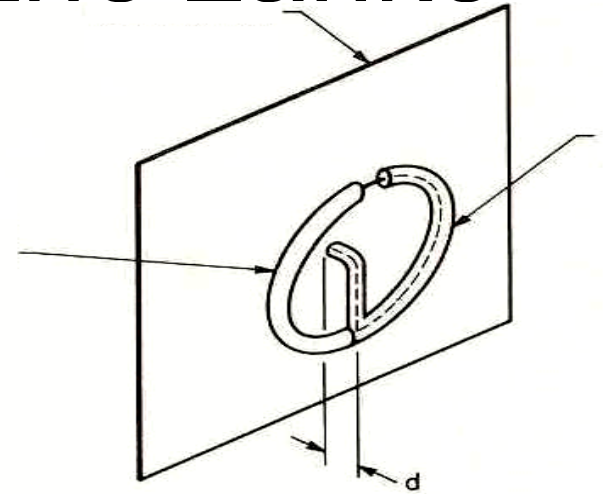


Simetrično  
vzbujana  
krožna zanka

Krožna polzanka

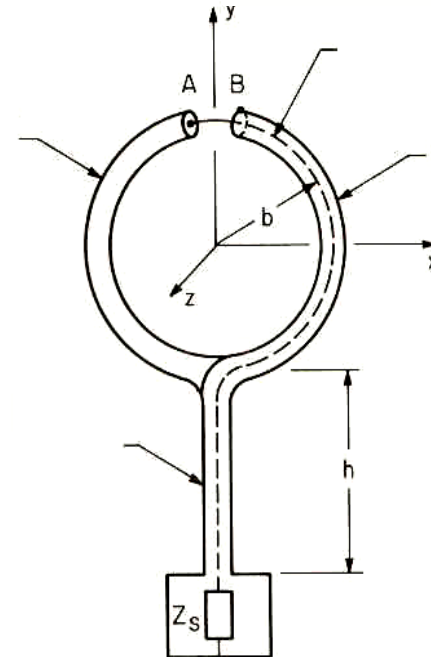
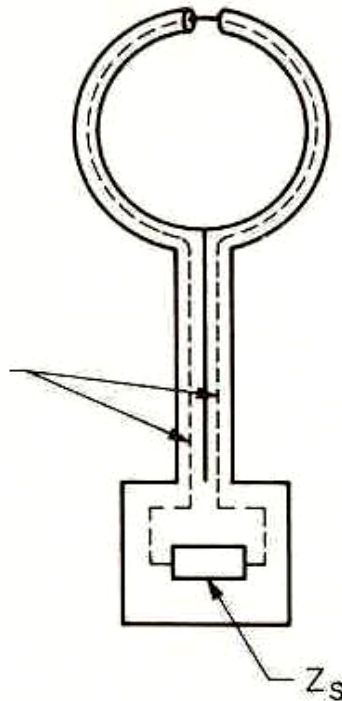


Krožna polzanka  
vzbujana s koaksialnim  
vodom



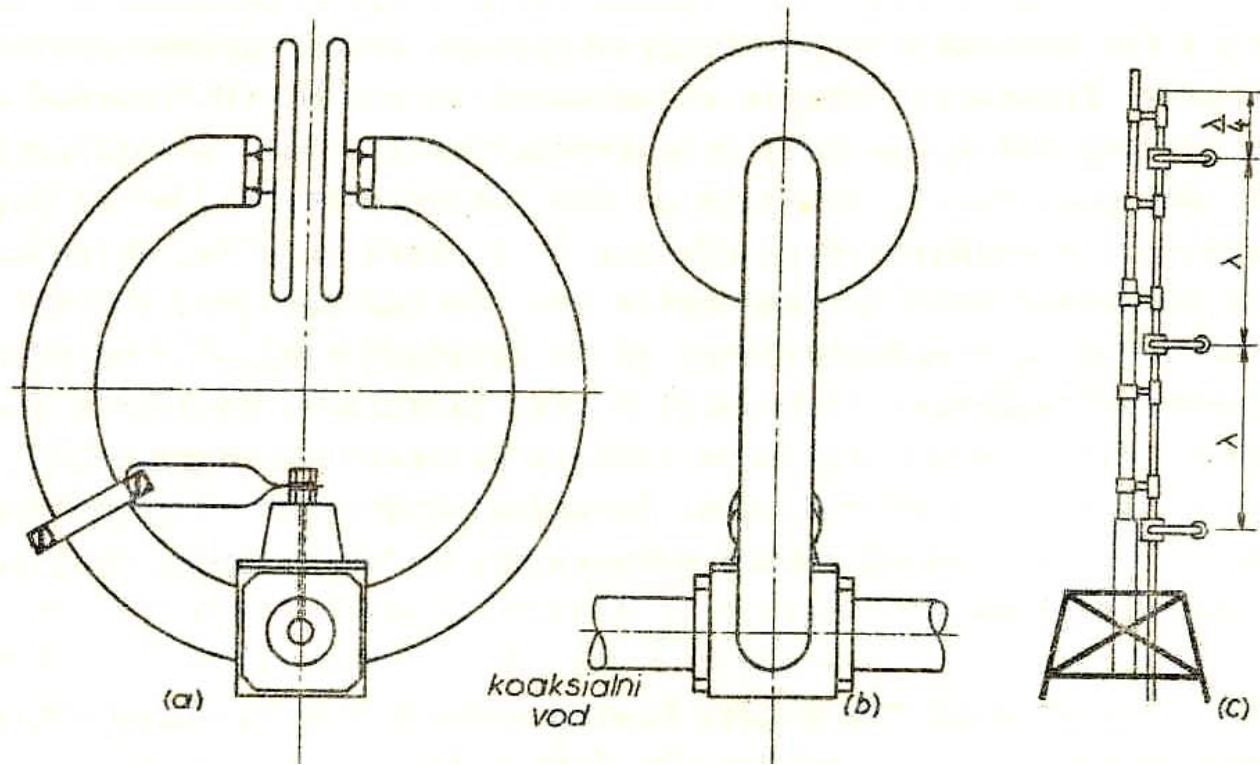
Krožna zanka  
pred reflektorjem

Krožna  
zanka  
vzbujana  
simetrično  
z dvema  
koaks.  
vodom



Krožna  
zanka  
vzbujana  
simetrično s  
koaksialnim  
vodom

# Antenski obroč za vsesmerno sevanje



Kapacitivno obremenjena krožna zanka kot radiodifuzna antena za vsesmerno sevanje.

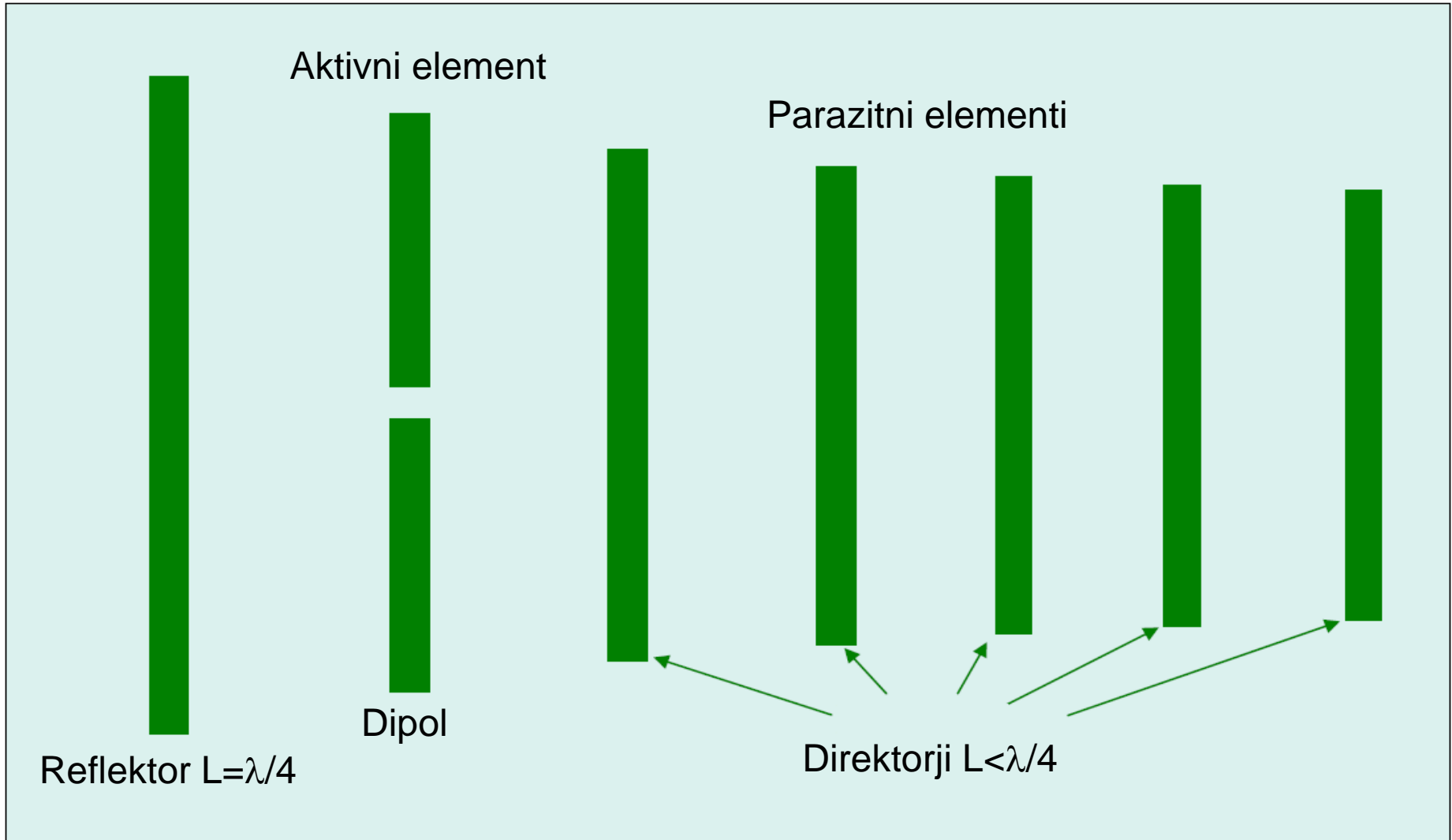


# Primer skupine zančnih anten



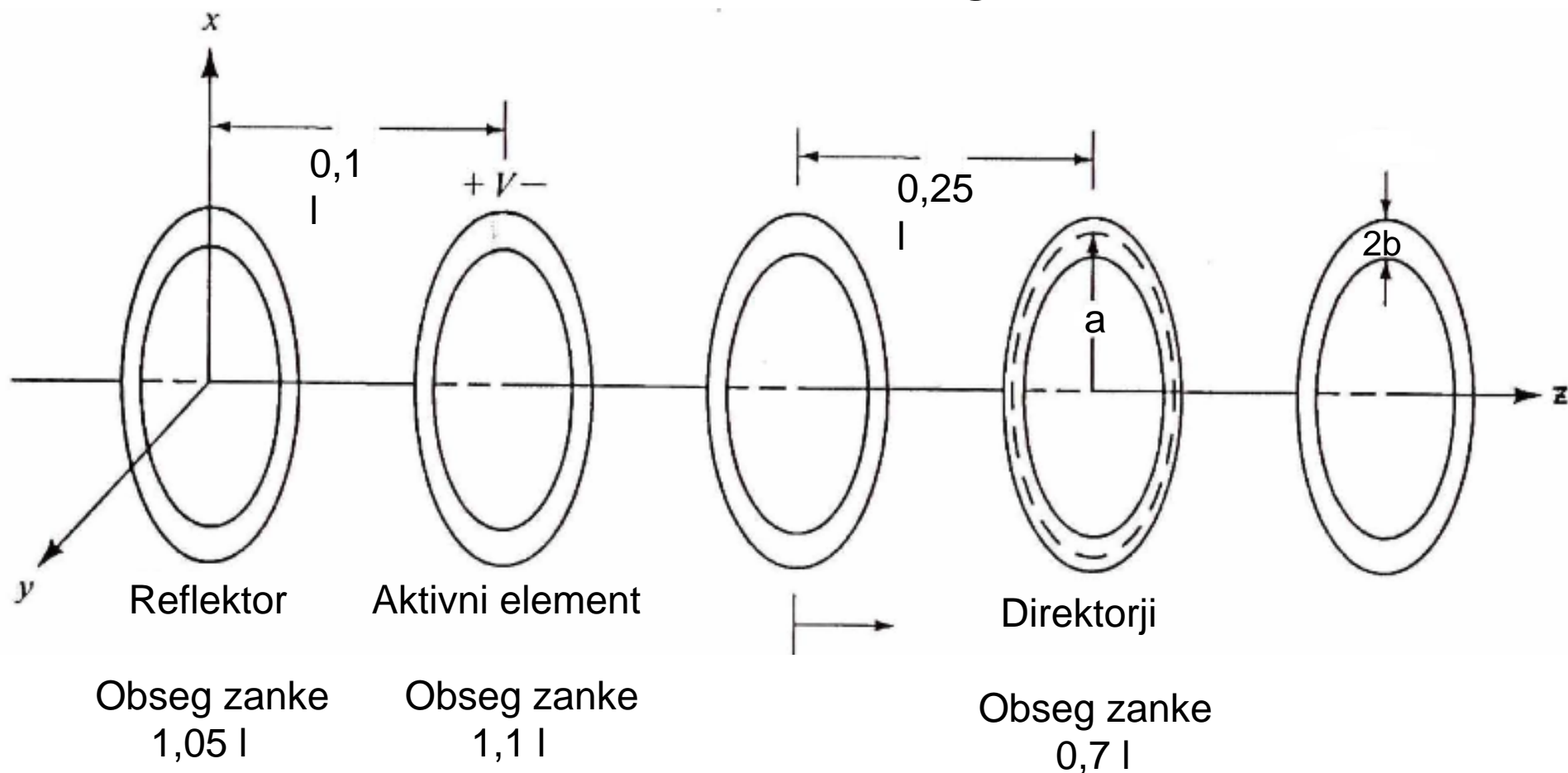
# Antena Yagi - Uda

S. Uda, 1920, H. Yagi, 1928



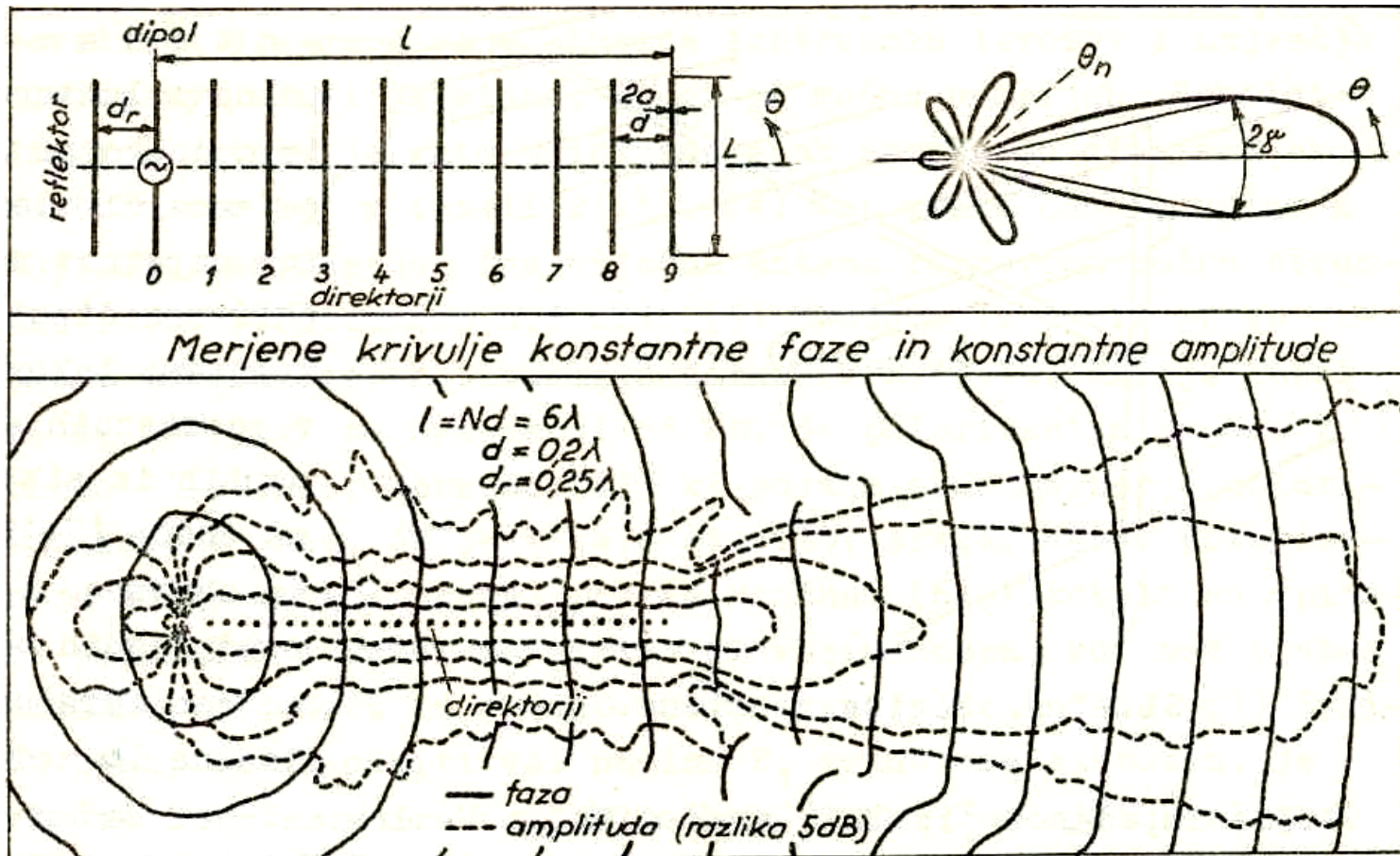


# Zančna antena Yagi - Uda



Na zanki se vzpostavlja potujoči val toka. Na zanki obsega  $\lambda$  se sevanje podpira v smeri osi zanke.

# Skupina dipolov kot struktura na potujoči val

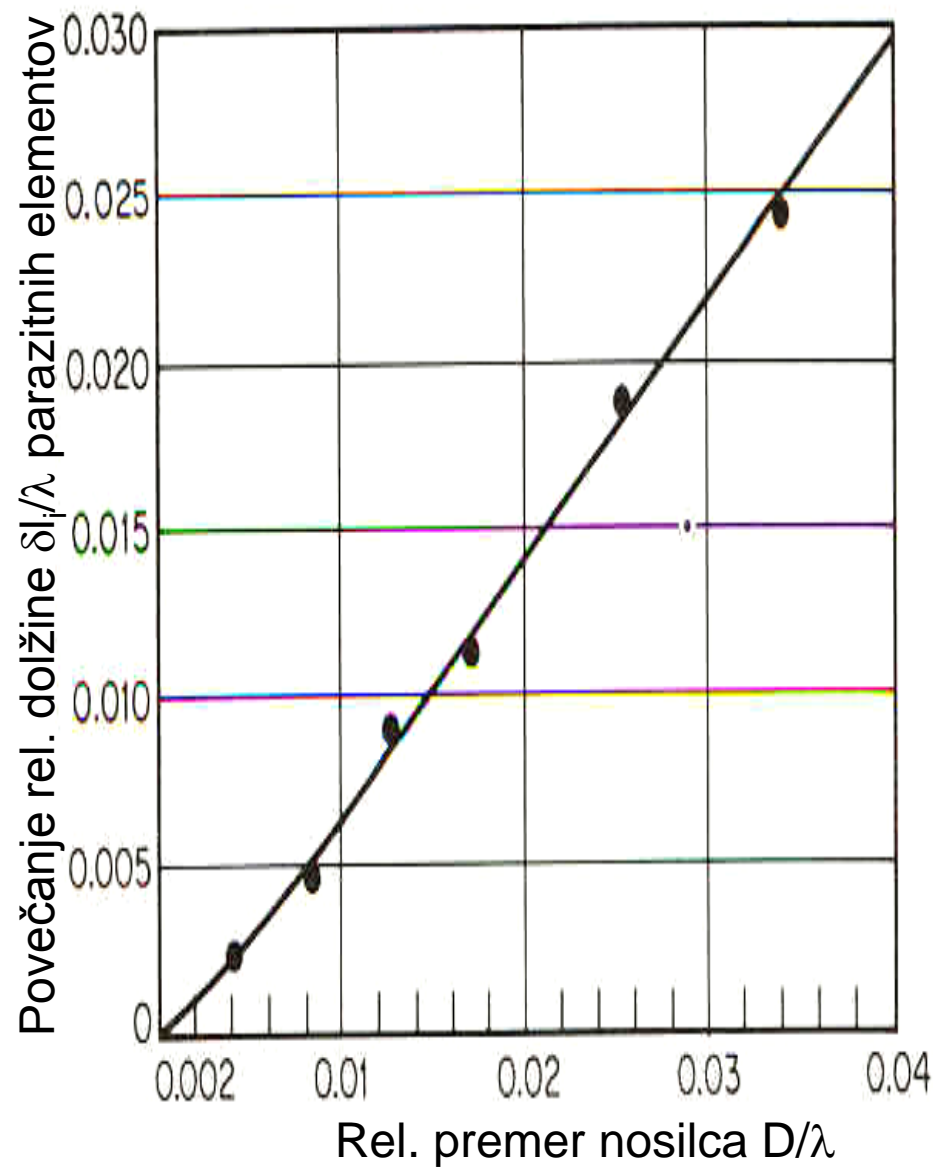
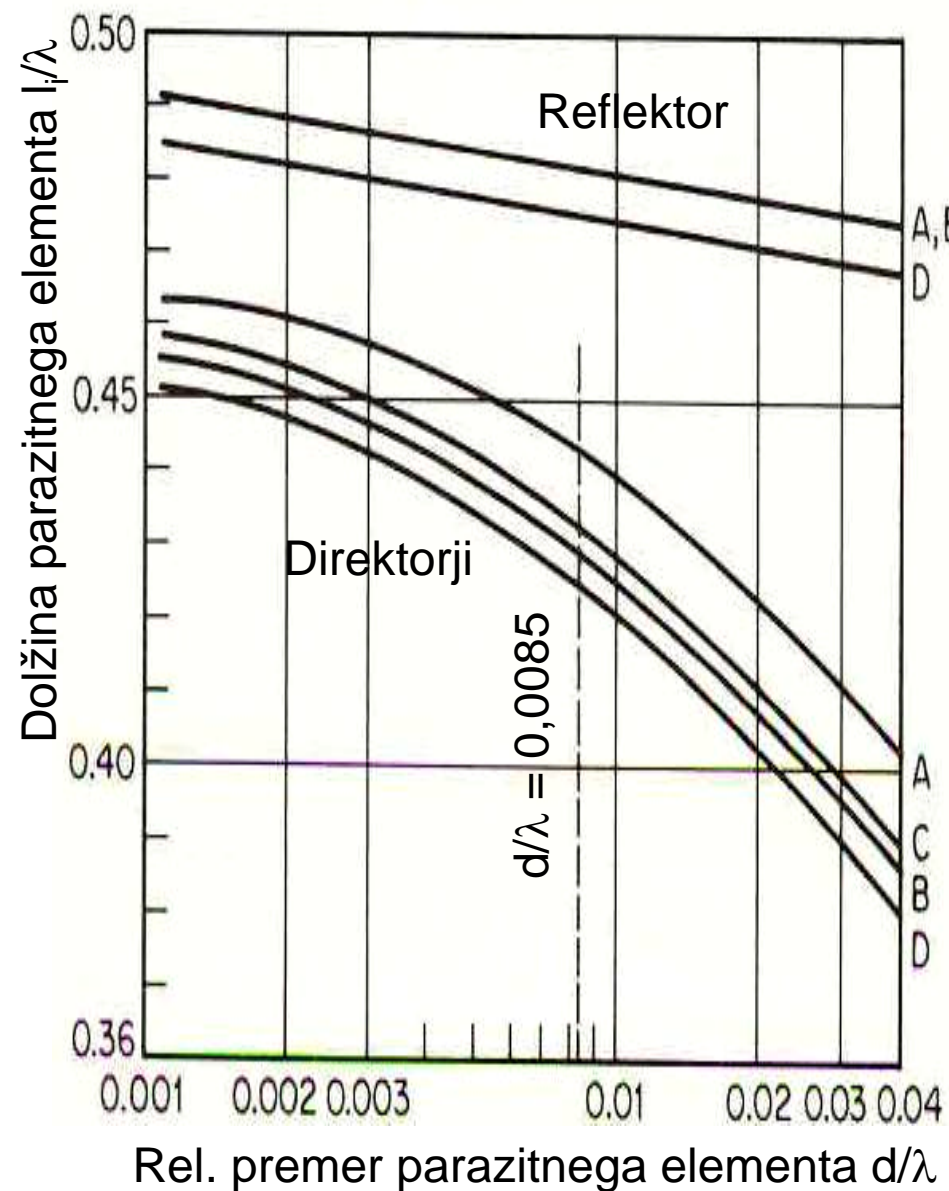


Dolga skupina dipolov deluje kot umetni dielektrik, ki zmanjšuje hitrost širjenja v smeri vzdolž skupine. Na ta način se izravnajo valovne fronte konstantne faze, kar pomeni, da se valovanje usmerja naprej v prostor v smeri osi antene.





# Dimenzioniranje antene Yagi-Uda, 2/2



Vir: Jonson-Jasik, NBS

# Splošne karakteristike antene Yagi-Uda

- Direktorji tvorijo zakasnilni medij, ki zmanjšuje hitrost širjenja v smeri naprej.
- Reflektor ima močen vpliv na širjenje v smeri nazaj, odbija zvratno sevanje direktorjev in sevaje aktivnega elementa.
- Reflektor je na kratki razdalji  $\lambda/8$  do  $\lambda/4$ . Direktor so na medsebojni razdalji okoli  $\lambda/3$ .
- Dolžina direktorjev okoli 10% krajša od  $\lambda/2$ . Impedanca direktorjev je kapacitivna (tok prehiteva napetost).
- Dolžina aktivnega dipola je nekaj krajša od  $\lambda/2$ . Vhodna impedanca antene realna.
- Dolžina reflektorja je približno  $\lambda/2$ . Impedanca reflektorja je induktivna (tok zaostaja za napetostjo).
- Dobitek antene ocenjujemo  $G_{dbi} = 1,66 N$  oz.  $G_{dbd} = N$ , kjer je  $N$  število elementov.
- Impedanca aktivnega elementa (zganjen dipol,  $300\Omega$ ) zaradi sklopov močno znižana.

# Širokopasovna antena Yagi-Uda

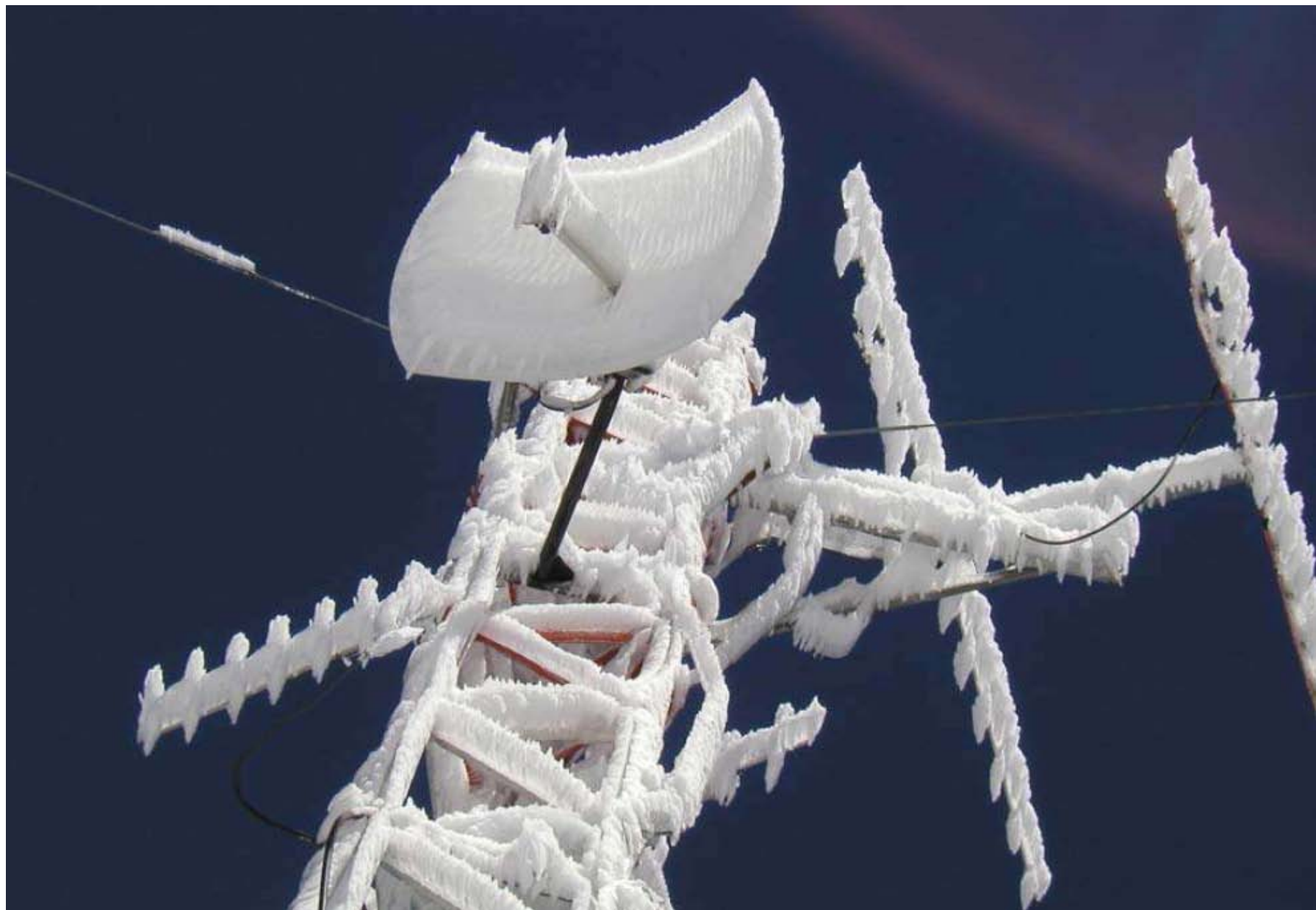
Aktivni element in direktorji so izvedeni kot dvokraki dipoli v obliki črke V, ki ponazarja širokopasovni bikonični dipol. Antena pokriva 30% frekvenčni pas. Na sliki je prikazana antena za vertikalno polarizacijo.



# Primer dimenzij dolge antene Yagi-Uda

- Število direktorjev 25
- Število reflektorjev 1
- Dolžina reflektorja  $0,5 \lambda$
- Dolžina aktivnega dipola  $0,47 \lambda$
- Dolžina direktorjev  $0,406 \lambda$
- Razdalja reflektorja  $0,125 \lambda$
- Razdalja med sosednjimi direktorji  $0,34 \lambda$



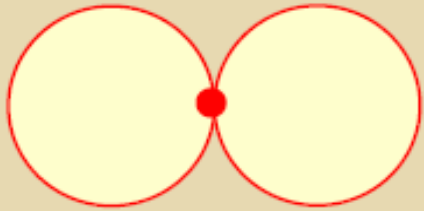


# Vrste vijačnic

- Enovejna cilindrična
  - Enovejna konična
  - Dvovejna (bifilarna)
  - Večvejna
- 
- Optimalni parametri za enovejno cilindrično vijačnico:

$$C/\lambda = 1; \alpha = 14^{\circ}; S = \lambda/4$$

# Trije načini sevanja heliksa



Bočni način



Osni način



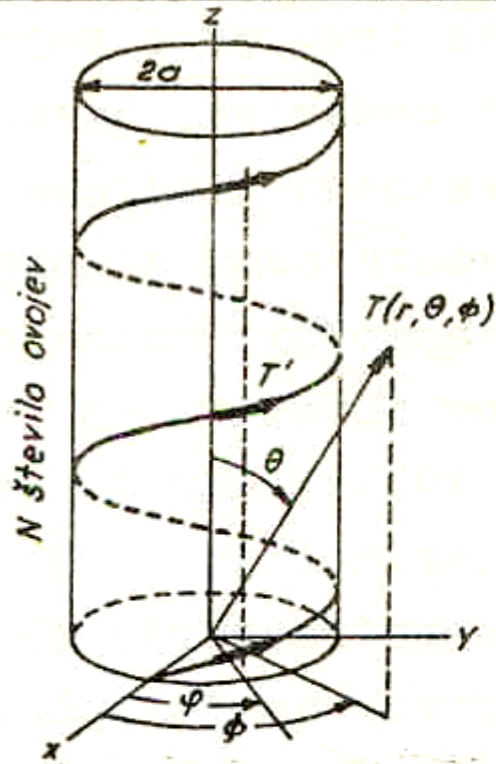
Konični način



# Vijačna antena - heliks



# Vijačna antena 1/2



Koordinate  
točke  $T'$

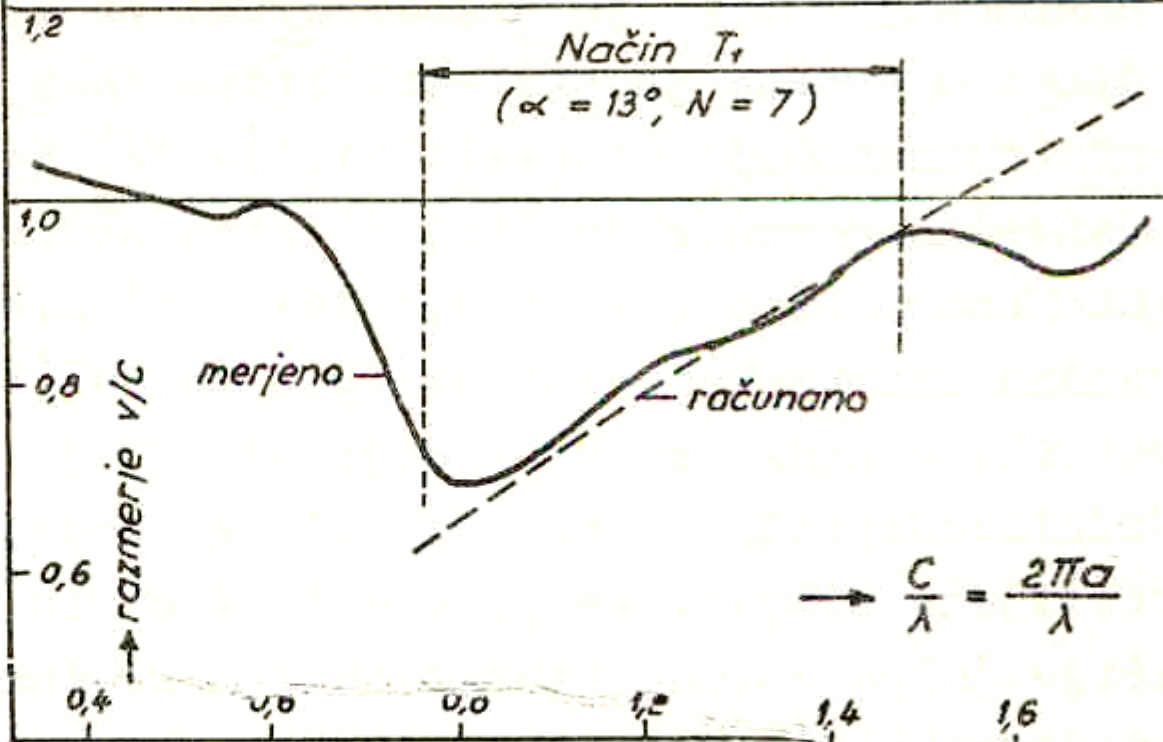
$$x' = a \cos \varphi$$

$$y' = a \sin \varphi$$

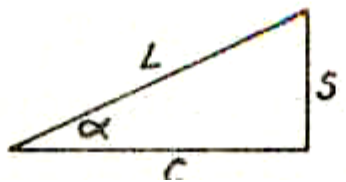
$$z' = a \varphi \operatorname{tg} \alpha$$

$-N\pi < \varphi < N\pi$  (simetrična vijačnica glede na koordinatni začetek)

Razmerje  $v/c$



Geometrija razvitega ovoja



$$C = 2\pi a \quad L^2 = (2\pi a)^2 + S^2$$

$$S = C \operatorname{tg} \alpha$$



# Vijačna antena 2/2

Komponente izsevanega polja ( $N$  celo število)

$$E_{\theta} = -E_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(u) \left\{ (-1)^{(n+1)N+n} \cos \theta (\nu+n) \frac{\sin \nu N \pi}{(\nu+n)^2-1} + (-1)^{n(N+1)+1} \operatorname{tg} \alpha \sin \theta \frac{\sin \nu N \pi}{n+\nu} \right\} \quad (1)$$

$$E_{\phi} = jE_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-1)^{(n+1)N+n} J_n(u) \frac{\sin \nu N \pi}{(\nu+n)^2-1} \quad (2)$$

$$E_0 = j\beta \eta \frac{I_0 a}{2\pi} \frac{e^{-j\beta r}}{r}$$

$$u = \beta a \sin \theta \quad \nu = \beta a \left( \operatorname{tg} \alpha \cos \theta - \frac{c}{v \cos \alpha} \right)$$

Sevalni diagram

Oсно razmerje

$$F(\theta) \doteq \sin \frac{\pi}{2N} \frac{\sin \left[ \frac{N}{2} \beta (S \cos \theta - \frac{c}{v} L) \right]}{\sin \left[ \frac{1}{2} \beta (S \cos \theta - \frac{c}{v} L) \right]} \quad (3)$$

$$R \doteq \frac{2N+1}{2N} \quad (4)$$

Širina glavnega snopa

Širina med prvima ničloma

$$2\gamma \doteq \frac{52}{\frac{c}{\lambda} \sqrt{N \frac{S}{\lambda}}} \text{ stopinj}$$

$$2\gamma_n \doteq 2,21 (2\gamma)$$

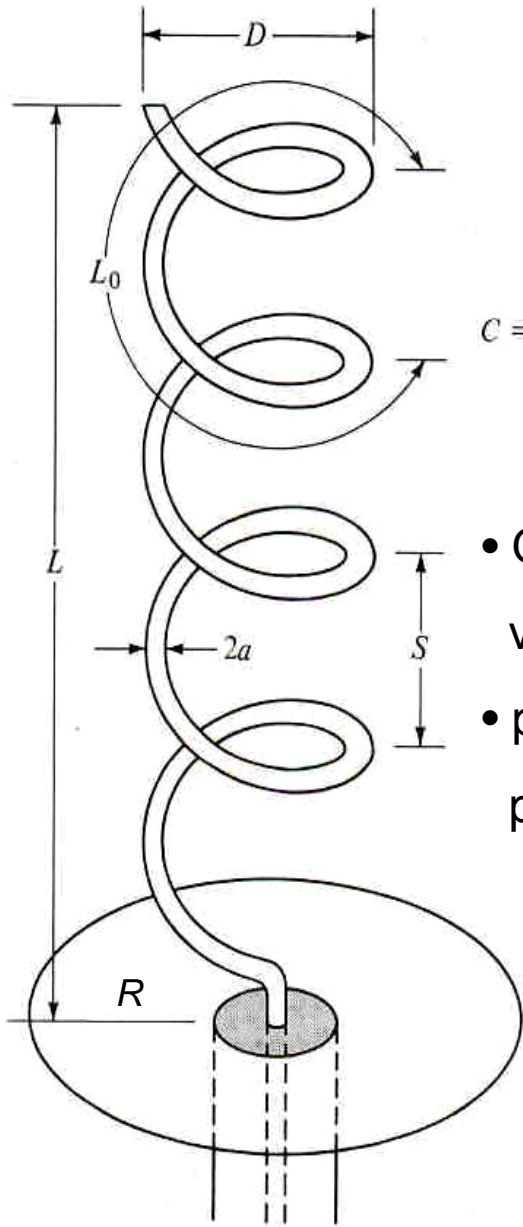
Ojačenje

Vhodna upornost

$$G \doteq 15 \left( \frac{c}{\lambda} \right)^2 N \frac{S}{\lambda}$$

$$R = 140 \frac{c}{\lambda}$$

# Osni heliks



- Osno sevajoča vijačna antena:
- potujoči val toka po vijačnici

Omejitve:

$$12^\circ < \alpha < 15^\circ$$

$$3/4 < C/\lambda < 4/3$$

$$0,8\lambda < R < 1,1\lambda$$

$$R \approx 140 \left( \frac{C}{\lambda} \right)$$

Vhodna upornost

$$\text{HPBW} \approx \frac{52\lambda^{3/2}}{C\sqrt{NS}}$$

3 dB širina snopa

$$\text{FNBW} \approx \frac{115\lambda^{3/2}}{C\sqrt{NS}}$$

Širina snopa med ničloma

$$D_0 \approx 15N \frac{C^2 S}{\lambda^3}$$

Smernost

$$\text{AR} = \frac{2N+1}{2N}$$

Oсно razmerje

$$E = \sin\left(\frac{\pi}{2N}\right) \cos\theta \frac{\sin[(N/2)\psi]}{\sin[\psi/2]}$$

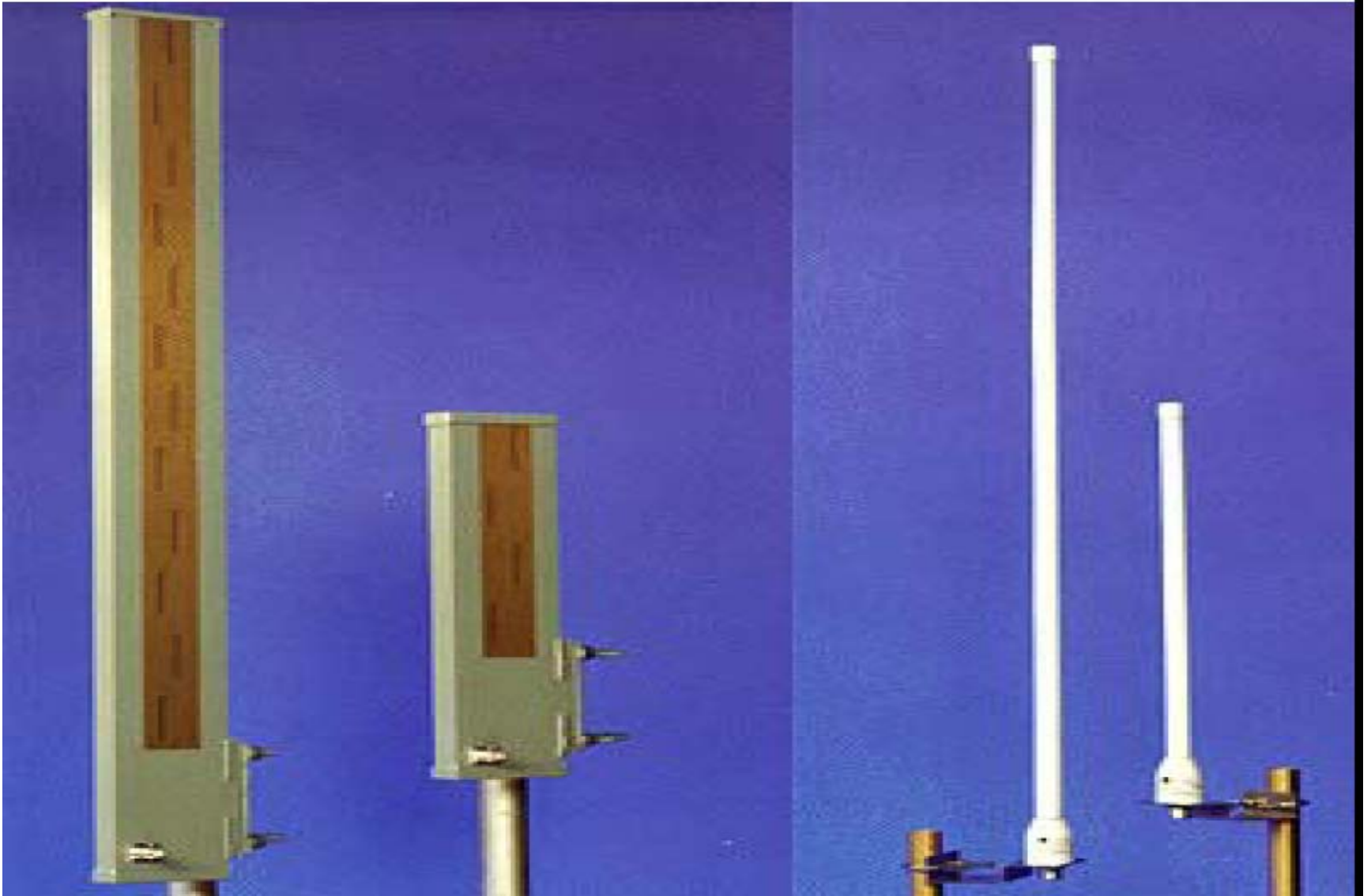
$$\psi = 2\pi \left[ \frac{S}{\lambda} (1 - \cos\theta) + \frac{1}{2N} \right]$$

Diagram

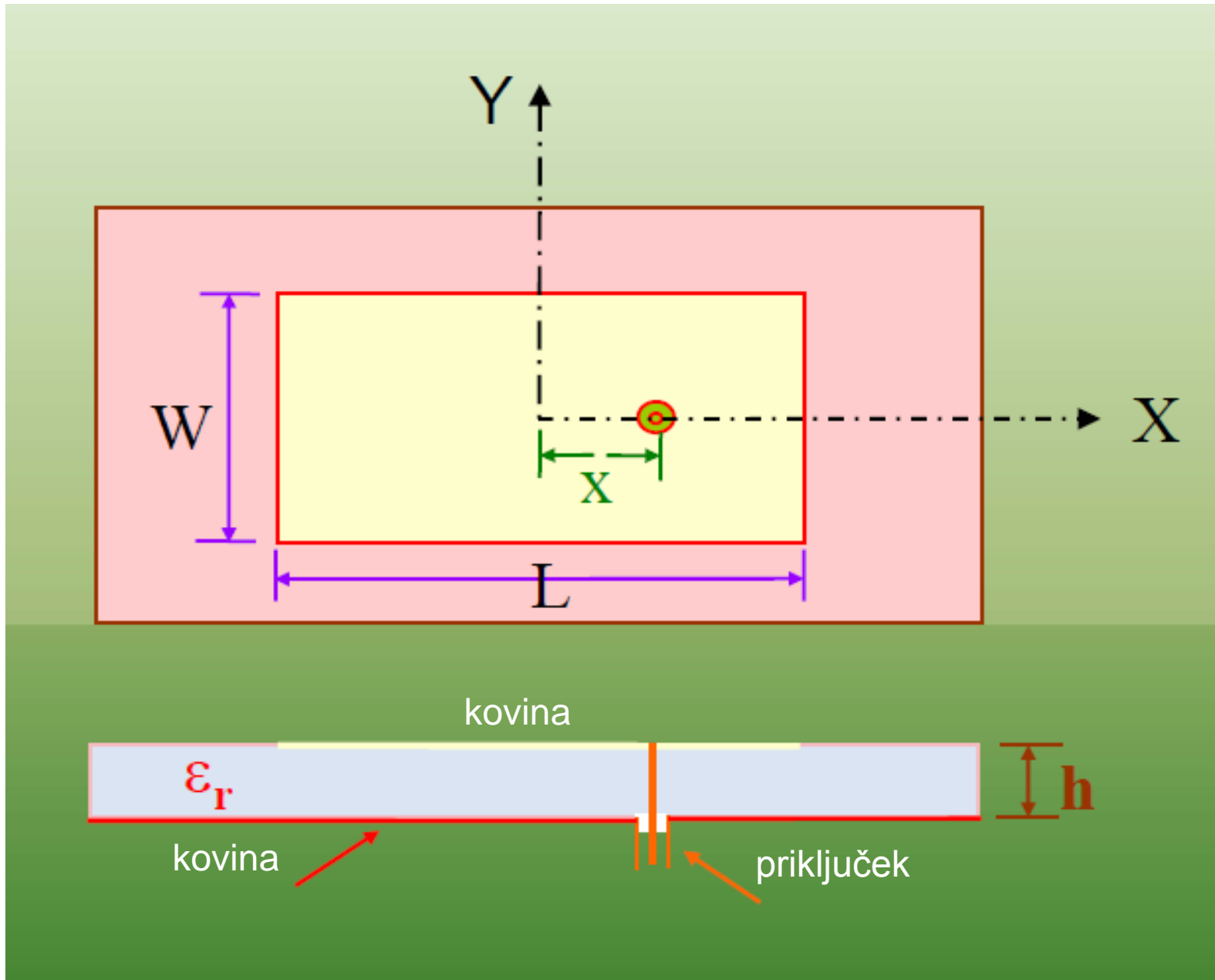
:



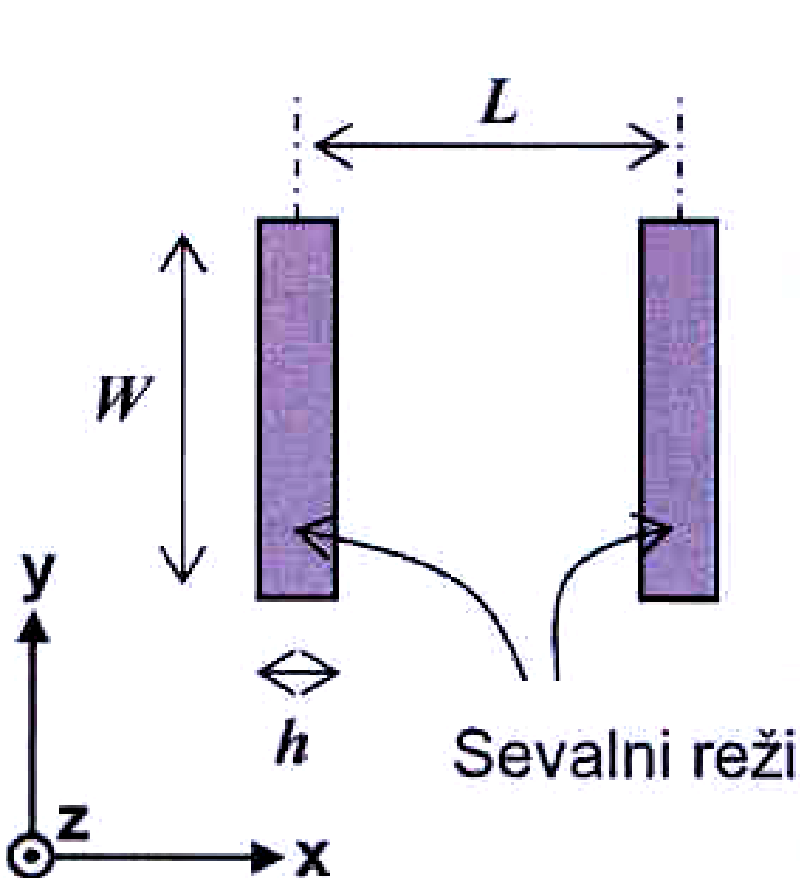
# Antene baznih postaj



# Krpičasta antena



# Krpičasta antena, polje in smerni diagram



$$\vec{E} = (\bar{1}_\phi \cos \Theta \sin \phi - \bar{1}_\Theta \cos \phi) j k_0 E_0 h \frac{e^{-jk_0 r}}{2\pi r} F_1 F_2,$$

$$F_1 = \text{sinc} \left( \frac{k_0 h}{2} \sin \Theta \cos \phi \right) \text{sinc} \left( \frac{k_0 W}{2} \sin \Theta \sin \phi \right)$$

$$F_2 = 2 \cos \left( \frac{k_0 L}{2} \sin \Theta \cos \phi \right)$$

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin(x)}{x}$$

Konec