

Definicije antenskih parametrov

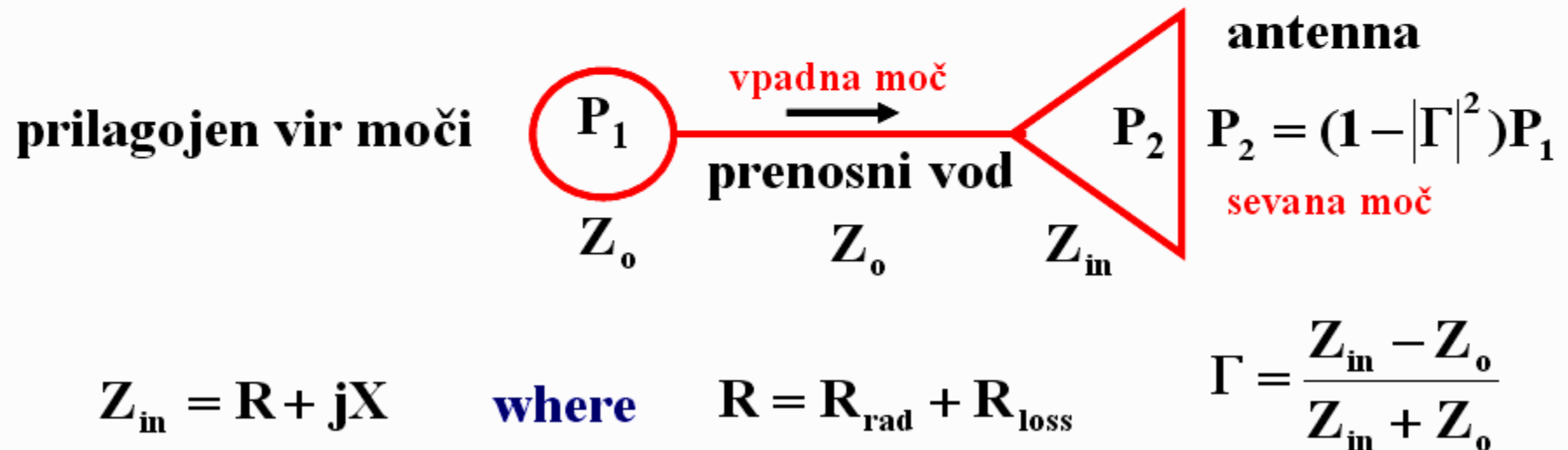
- Območja okoli antene:
Reaktivno, Fresnelovo, Fraunhoferjevo
- Smerni diagram
- Dobitek in efektivna površina
- Skupine anten
- Polarizacija anten
- Foto galerija

Mobitel d.d. – izobraževanje 6.3.2009, predavanje 7

Prof. dr. Jožko Budin

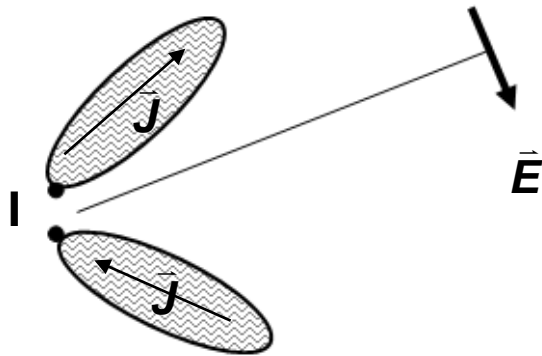
Antena kot pretvornik

- ♦ Antena je del oddajno-sprejemne naprave, ki oddaja in sprejema elektromagnetne valove
- ♦ Antena je pretvornik vodenega vala (koaks.vod, valovod) v valovanje praznega prostora in obratno
- ♦ Za učinkovito pretvorbo mora biti prilagojena ($\Gamma=0$, $Z_{in}=Z_0$)

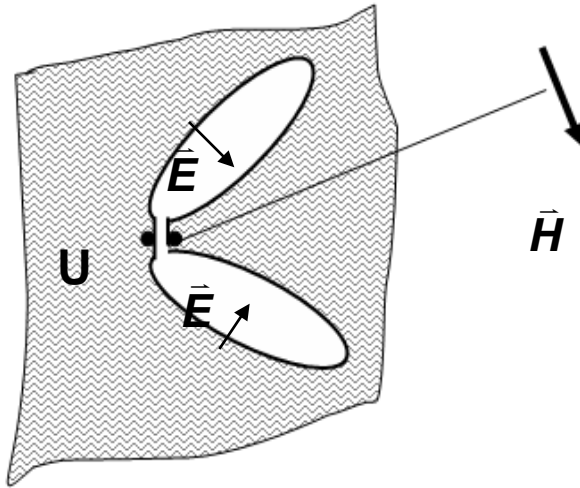


Antene – definicije in naprave

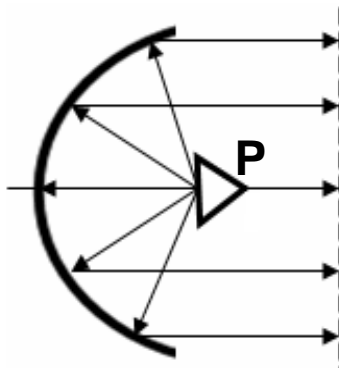
1. Kovinska antena (vodnik)



2. Komplementarna antena (reža)



3. Odprtinska antena zrcalo



G dobitek antene glede na izotropni vir

GP efektivna izotropno sevana moč

A efektivna površina antene

SA največja zajeta moč pri sprejemu

$P_{\check{s}}$ šumna moč na izhodu antene

$$A = \frac{\lambda^2}{4\pi} G \quad \text{recipročnost med oddajo in sprejemom}$$

$$T_{\check{s}} = \frac{P_{\check{s}}}{k\Delta f} \quad \text{efektivna (šumna) temperatura antene}$$

$$\frac{G}{T_{\check{s}}} \quad \text{razmerje sorazmerno S/N zveze}$$

$k = 1,38 \cdot 10^{-24}$ Js Boltzmannova konstanta

Δf frekvenčni pas v Hz

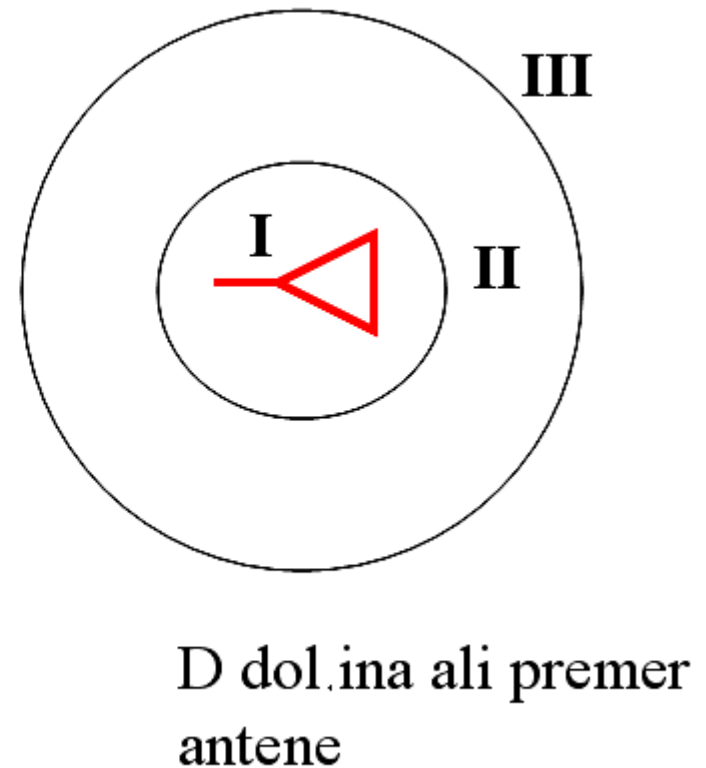
Prostorska območja okoli antene

- ◆ Prostor okoli antene razdelimo na tri območja glede na značilnosti polja:

- ◆ I: Reaktivno bližnje polje $r < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$

- ◆ II: Sevalno bližnje polje (Fresnelovo območje)
Prostorska porazdelitev sevanja je odvisna od razdalje

- ◆ III: Sevano daljnje polje (Fraunhoferjevo območje)
Prostorska porazdelitev sevanja ni odvisna od razdalje

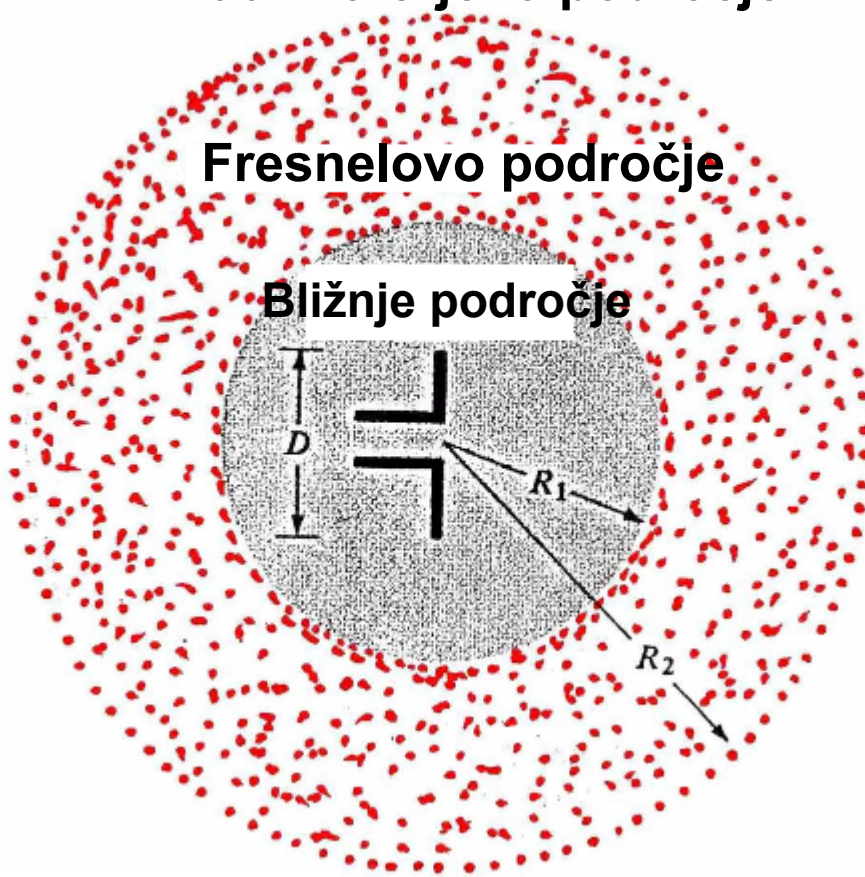


Značilnosti polja v sevalnih območjih okoli antene

Fraunhoferjevo področje

Fresnelovo področje

Bližnje področje



$$R_1 = 0.62 \sqrt{D^3 / \lambda}$$

$$R_2 = 2D^2 / \lambda$$

1. Fraunhoferjevo področje:

- področje daljnega polja ($r > R_2 = 2D^2 / \lambda$)
- delovna moč
- komponenta $1/r$
- žarki brez paralakse
- linearna fazna razlika

2. Fresnelovo področje:

- področje razgibane interference
- prevlada komponente $1/r$
- delovna moč
- kvadratna fazna razlika

3. Bližnje področje:

- področje bližnjega polja $r < R_1 = 0.62 \sqrt{D^3 / \lambda}$
- področje prevlade komponent $1/r^2$ in $1/r^3$ nad $1/r$
- prevladuje reaktivna moč

Značilne računske aproksimacije

1. Bližnje (reaktivno) območje:

Amplitudo in fazo prispevkov iz posameznih delov antene upoštevamo brez zanemaritev.

2. Fresnelovo (interferenčno) območje:

Amplitudo prispevkov iz posameznih delov antene nadomestimo s srednjo vrednostjo. Fazo prispevkov iz posameznih delov antene računamo pri kvadratni aproksimaciji razdalje.

3. Fraunhoferjevo (sevalno) območje:

Amplitudo prispevkov iz posameznih delov antene nadomestimo s srednjo vrednostjo. Fazo prispevkov iz posameznih delov antene računamo pri linearni aproksimaciji razdalje (vzporedni žarki brez paralakse).

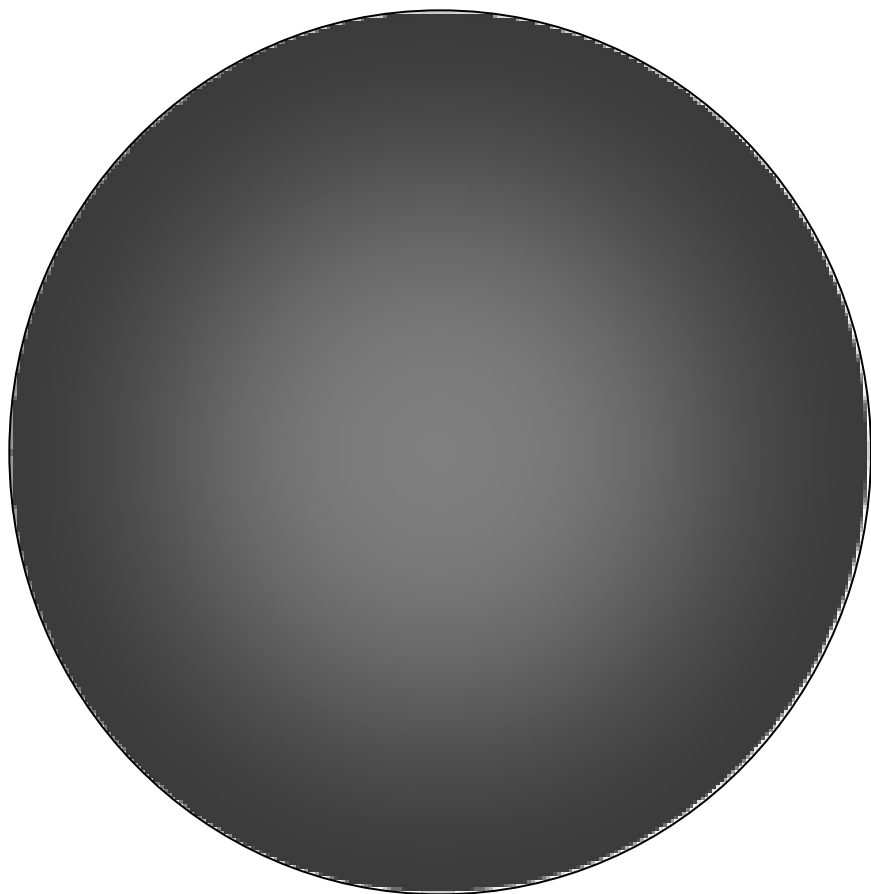
Kriterij za Fraunhoferjevo področje

$$r > 2D^2/\lambda$$

Primeri:

- $D = \lambda$, $\lambda = 1\text{m}$; $R > 2\lambda = 2\text{ m}$
- $D = 10\lambda$, $\lambda = 1\text{m}$; $R > 200\lambda = 200\text{ m}$
- $D = 100\lambda$, $\lambda = 0,1\text{m}$; $R > 20000\lambda = 2\text{ km}$
- $D = 1.000\lambda$, $\lambda = 0,01\text{m}$; $R > 2 \cdot 10^6\lambda = 20\text{ km}$
- $D = 10.000\lambda$, $\lambda = 0,001\text{m}$, $R > 200\text{ km}$
- $D = 100.000\lambda$, $\lambda = 0,001\text{m}$, $R > 20.000\text{ km}$
- V zadnjih dveh primerih diagrama antene ni mogoče meriti na zemeljskih razdaljah! Kot vir signala se uporablja signal iz satelita ali radijsko sevanje zvezde.
- Antena velikosti 100 m pri valovni dolžini 1 mm je čez mejo uresničljivosti zaradi povesa in temperaturnih raztezkov.
- Merimo bližnje polje antene in računamo smerni diagram.

Izotropna antena?



Elektromagnetno polje zaradi svojega vektorskega značaja ne more biti izotropno (neodvisno od kotov). Komponente polja se spreminjajo s smerjo v prostor.

Skalarna polja (akustika) imajo lahko izotropno porazdelitev.

Že najpreprostejši vir (tokovni element) ima neizotropno porazdelitev polja

Smerni diagram antene

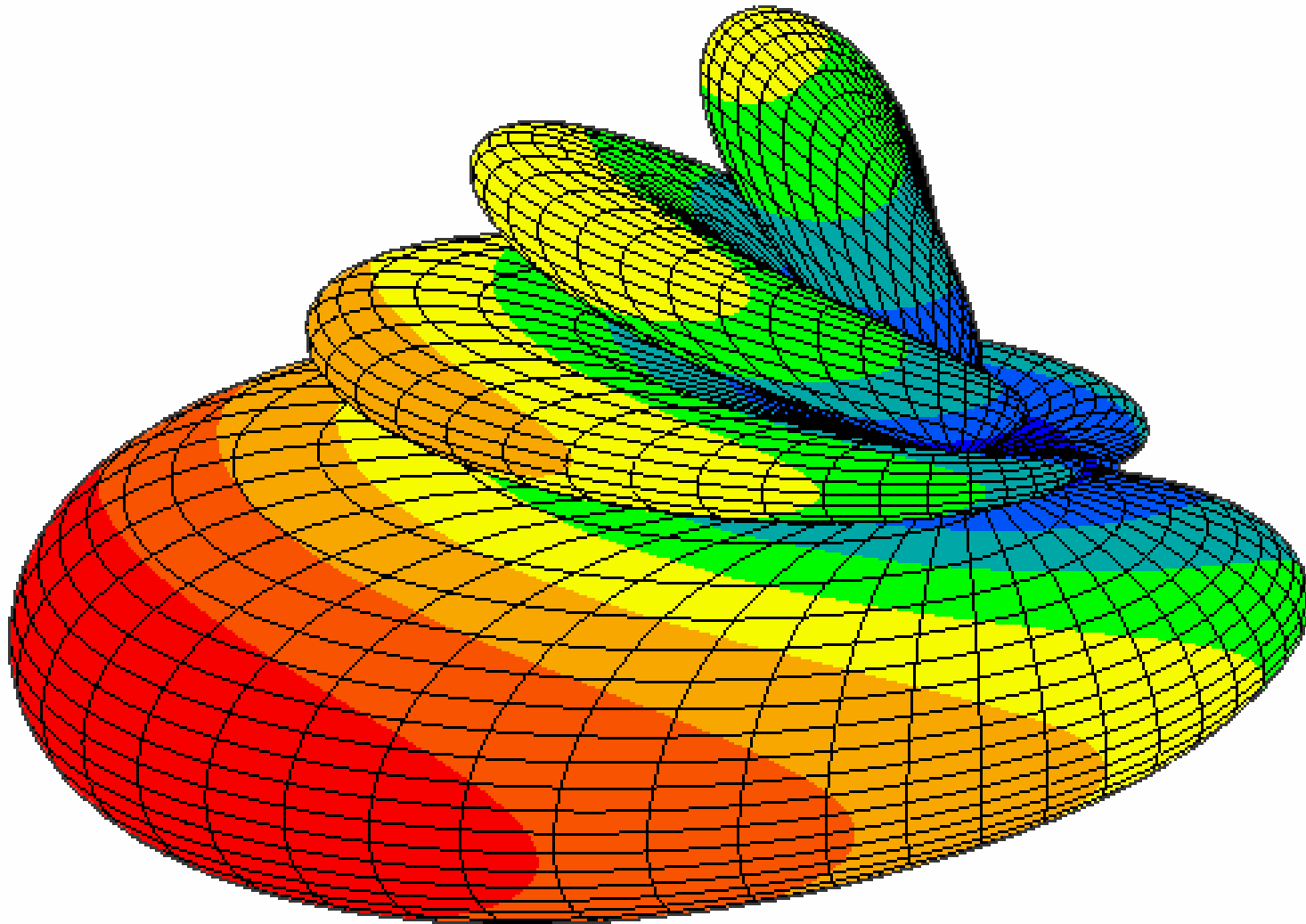
- Smerni diagram je normirana kompleksna odvisnost sevanega polja od smeri (θ, ϕ) v prostor

$$F(\theta, \phi) = E(\theta, \phi) / E_{\max}$$

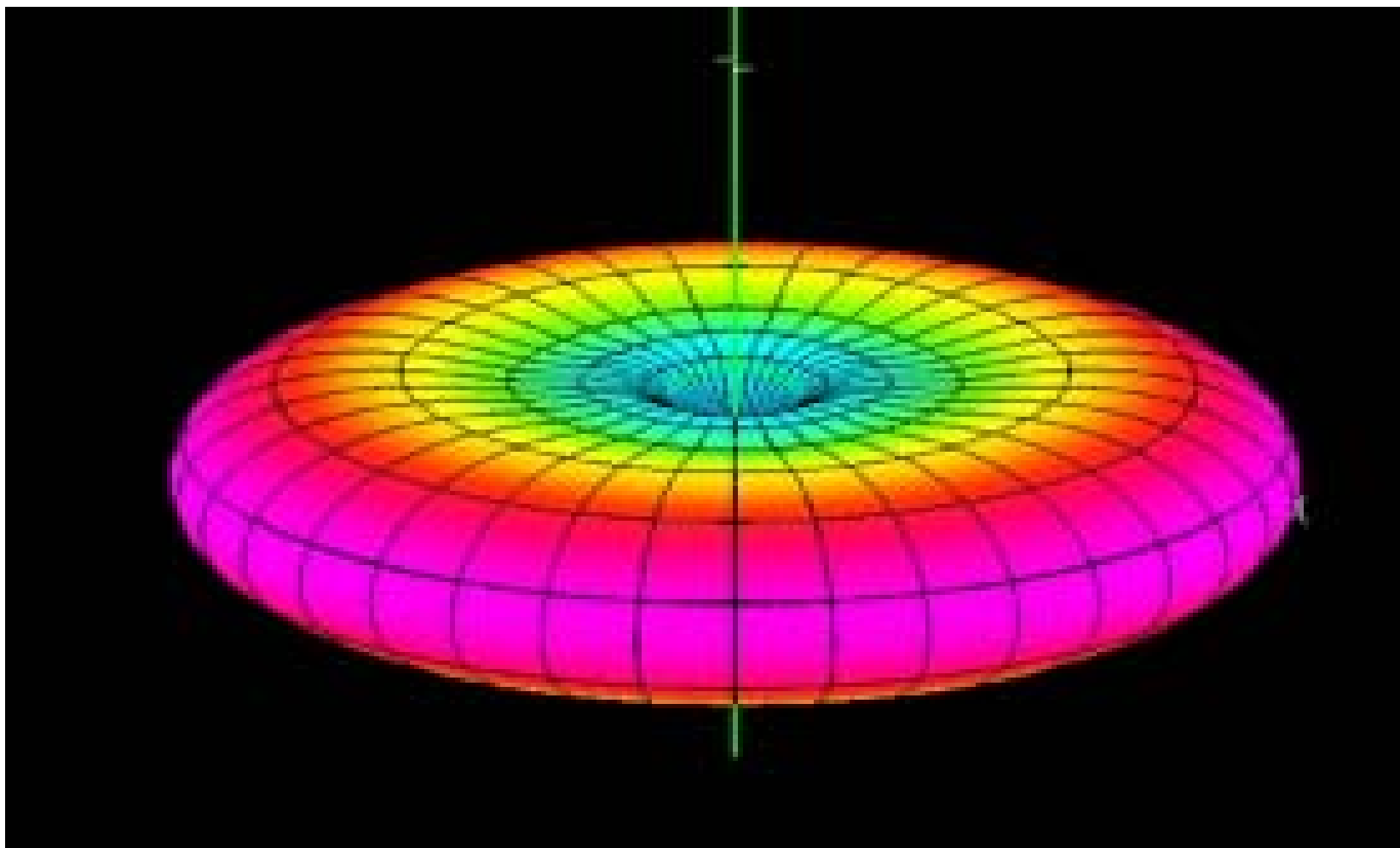
Za obe posamezni komponenti polja izražamo komponentna smerna diagrama:

$$F_{\theta}(\theta, \phi) = E_{\theta}(\theta, \phi) / E_{\theta \max} \quad F_{\phi}(\theta, \phi) = E_{\phi}(\theta, \phi) / E_{\phi \max}$$

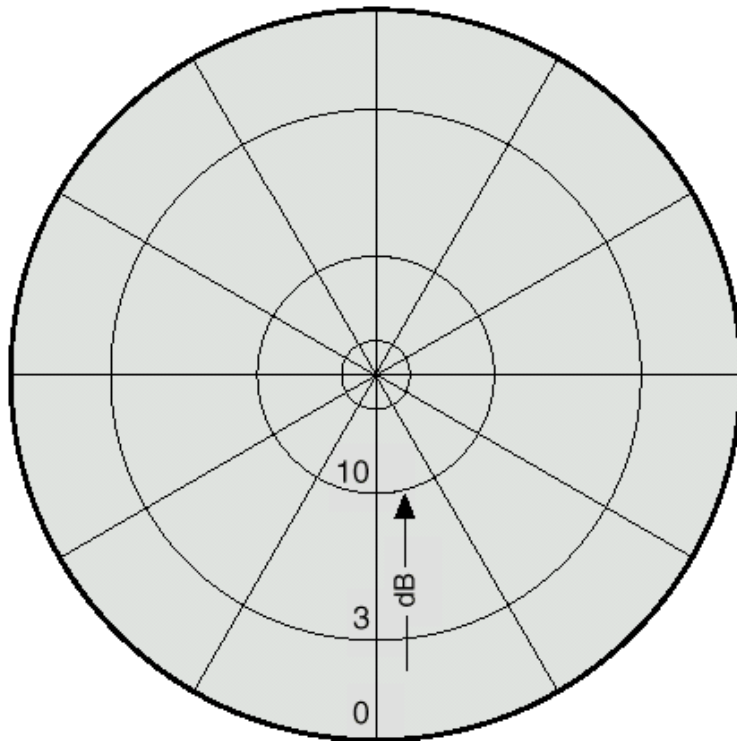
Smerni diagram v prostoru



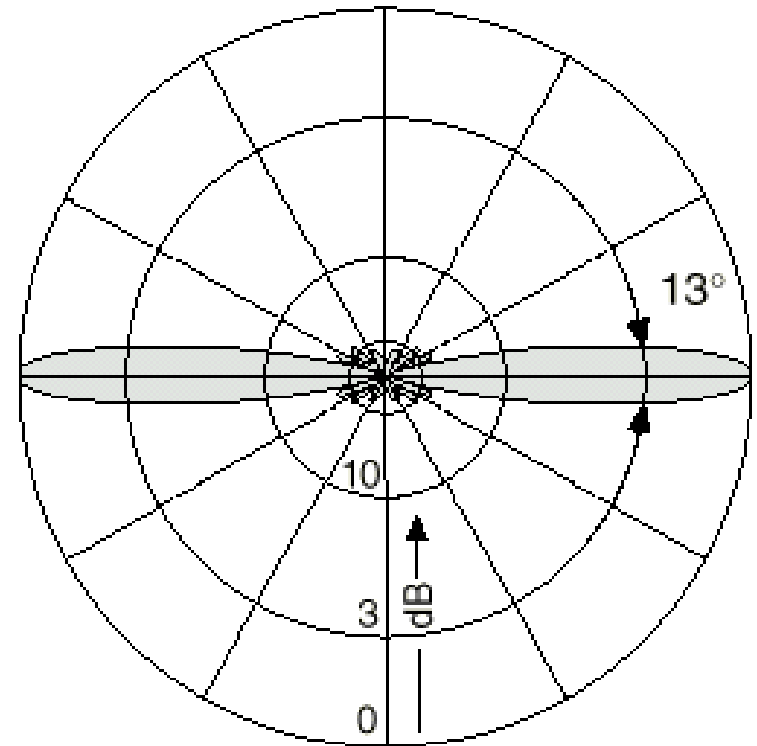
Smerni diagram vsesmerne antene



Smerni diagram antene



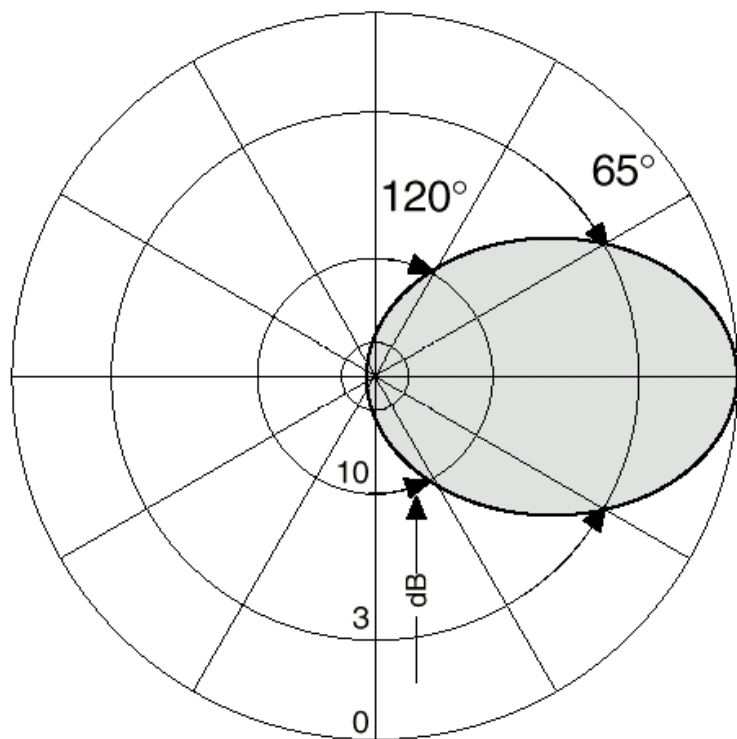
Horizontalna ravnina



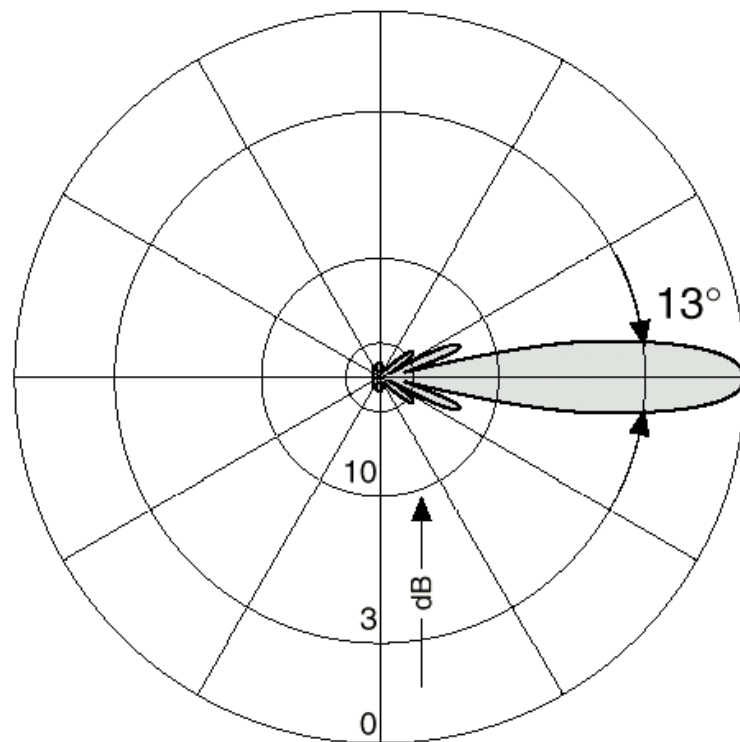
Vertikalna ravnina

Vsesmerna antena v horizontalni ravnini

Smerni diagram usmerjene antene



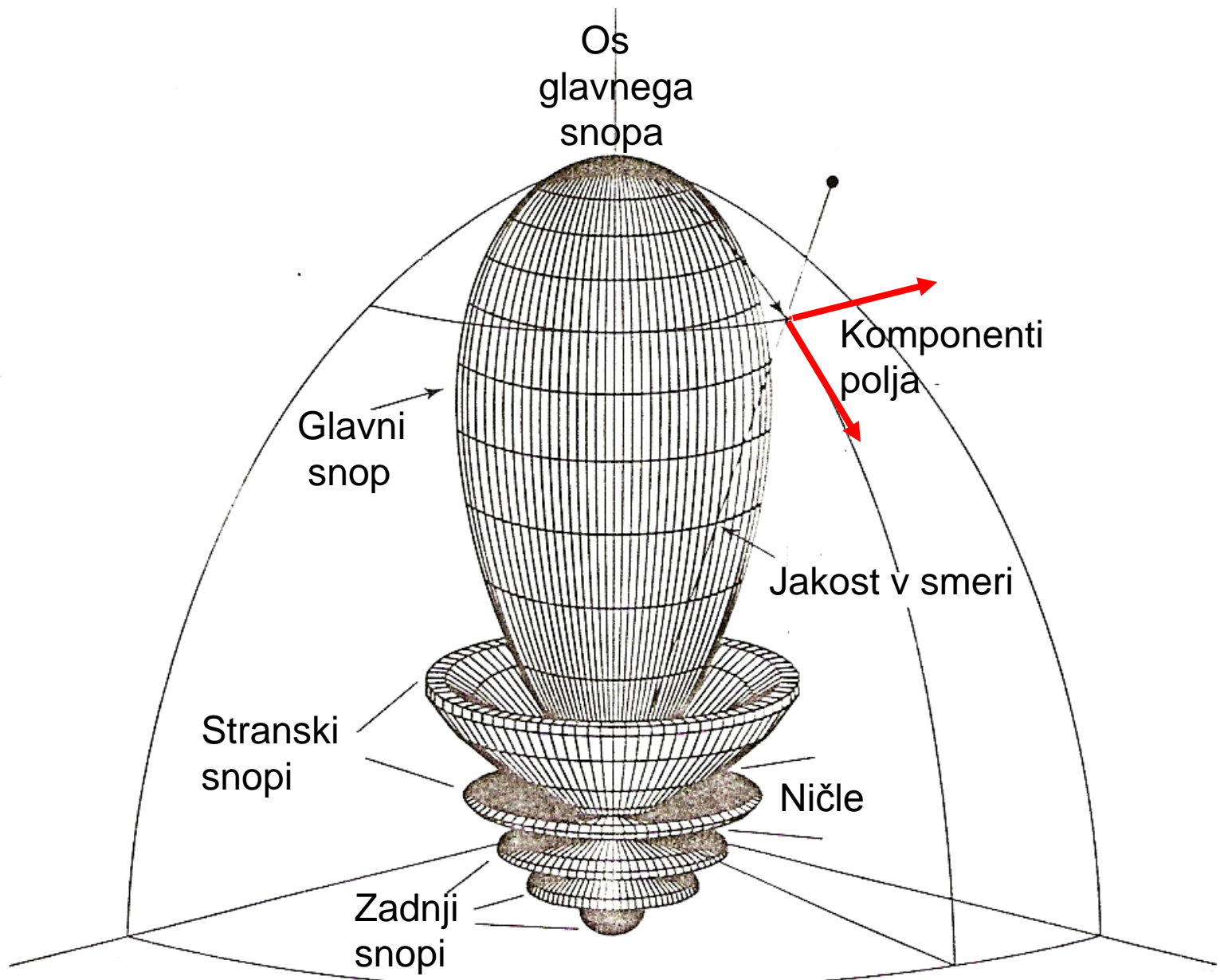
Horizontalna ravnina



Vertikalna ravnina

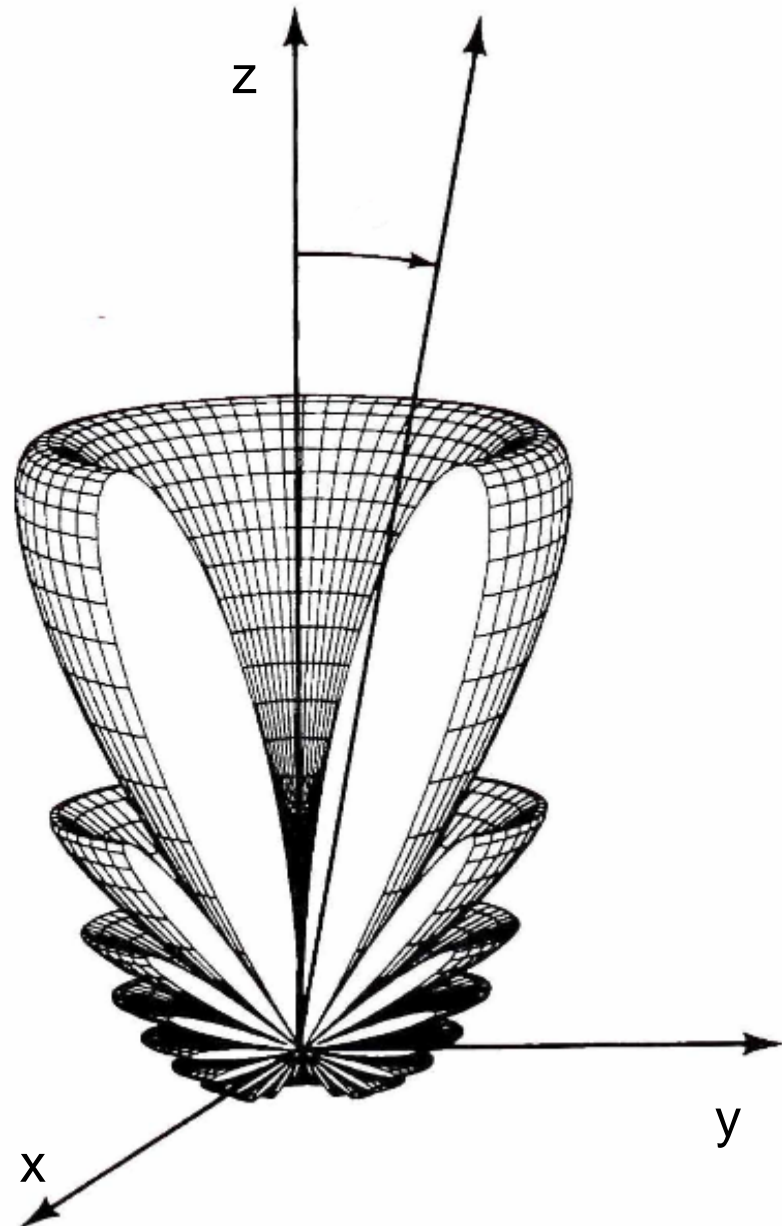
Usmerjena ravnina v horizontalni ravnini

Smerni diagram antene v prostoru



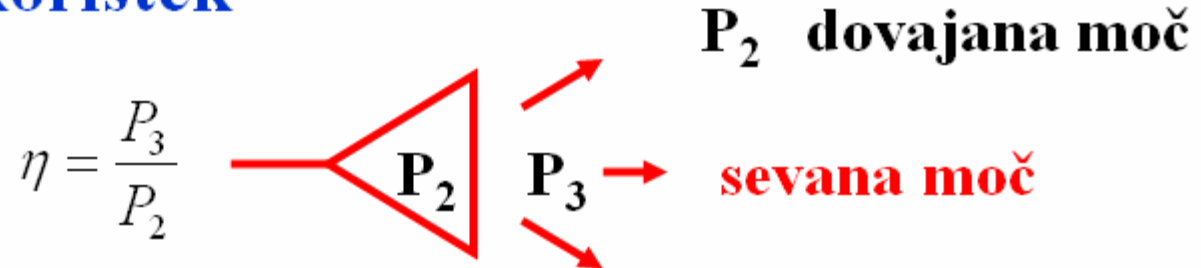
Smerni diagram z osno ničlo

Vodnik $l = 5 \lambda$ v smeri osi z s potujočim valom toka



Dobitek G antene

♦ Sevalni izkoristek



♦ Dobitek G in smernost D

\underline{P}_{av} : površinska gostota moči (Poyntingov vektor)

$$P_3 = \oint P_{av} \cdot ds$$

$$\boxed{G = \frac{S_{av(max)}}{\frac{P_2}{4\pi r^2}} \quad D = \frac{S_{av(max)}}{\frac{P_3}{4\pi r^2}}} \quad \eta = \frac{G}{D}$$

- D ne upošteva izgube moči v anteni
- $G < D$ upošteva izgube (ohmske, dielektrične) moči v anteni

Vrste anten in njihove lastnosti

- Žične antene, kratki, polvalovni in enovalovni dipol
- Odprtinske antene, lijaki in zrcala
- Reže, mikrotrakaste antene in krpice
- Antene na stojni val in antene na potujoči val
- Antena Yagi-Uda in vijačna antena
- Ozkopasovne in širokopasovne antene
- Spiralne in log-per antene
- Antene za usmerjene zveze
- Radioteleskopi

ANTENE – pregled in razvrstitev

1. Žične antene:

1.1 Antene na stojni val

- unipol
- polvalovni dipol enovalovni dipol

1.2 Antene na potujoči val

- vijačna antena (heliks)
- rombna antena
- log-per dipolska antena

2. Diskretne antenske skupine (nizi):

2.1 Linearne skupine

- osna skupina
- bočna skupina

2.2 Planarne skupine

2.3 Prostorske skupine

2.4 Sklopljene skupine

3. Komplementarne antene:

3.1 Reže

3.2 Planarne (krpice)

4. Odprtinske antene:

4.1 Lijaki

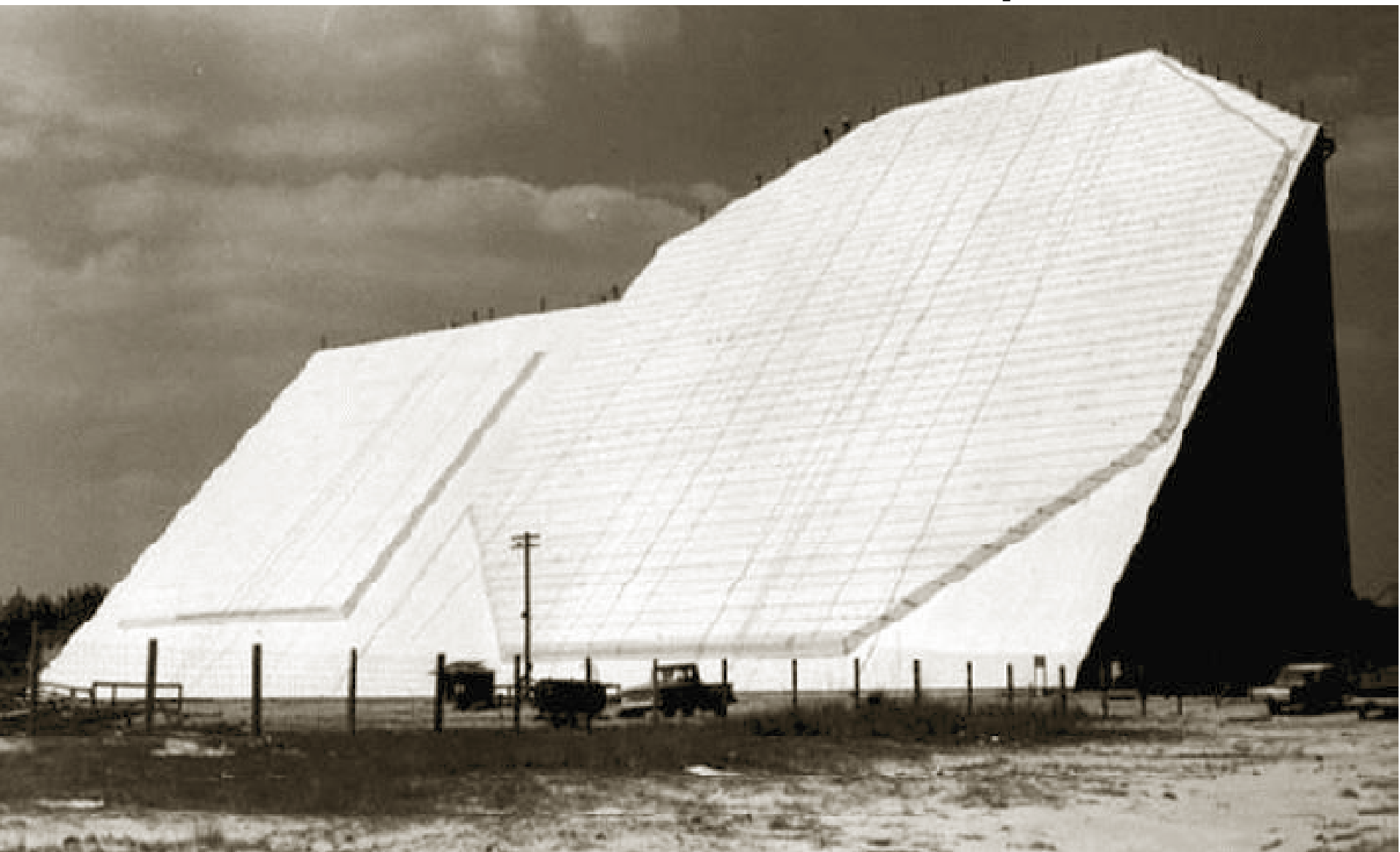
4.2 Leče

4.3 Zrcala

Dipolska križna antena



Radarska fazna skupina



Rojstvo radioastronomije

1932: Karl Jansky given task to find sources of radio frequency interference (RFI) to transatlantic radio communications

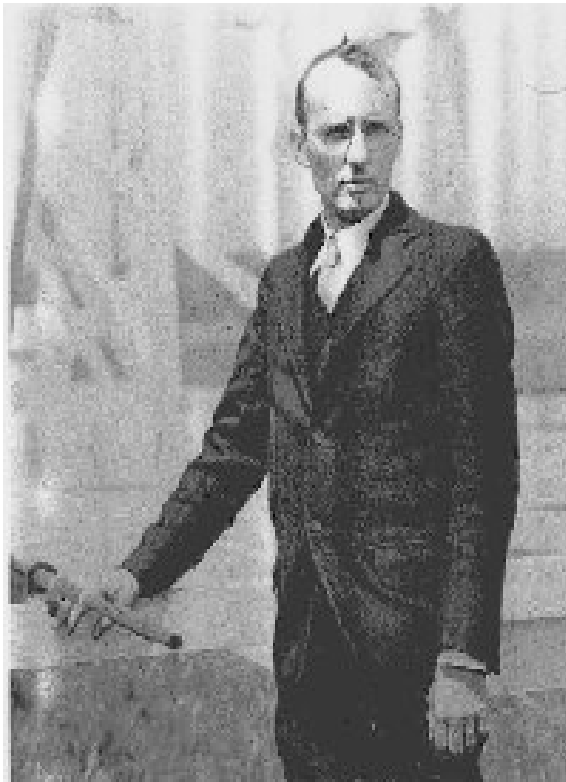
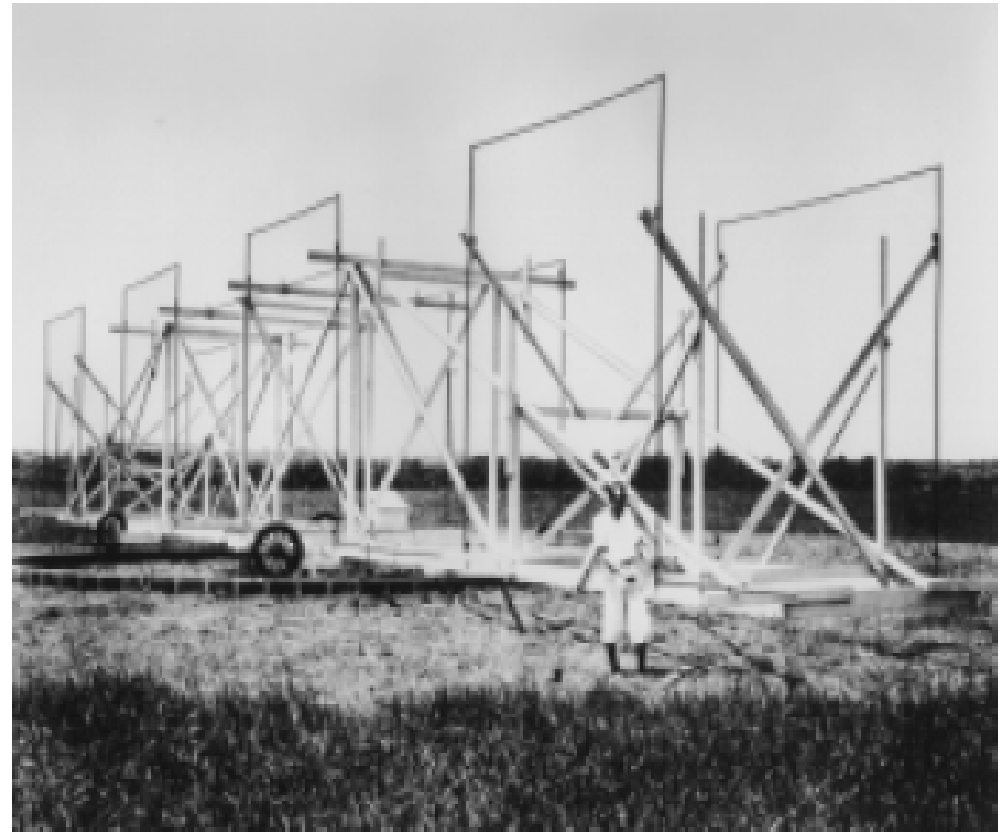


Fig. 1—Earl Gurne Service, about 1935



Radio teleskop Arecibo



Širina smernega diagrama tankega dipola s sinusno porazdelitvijo toka po kriteriju polovične moči

HPBW

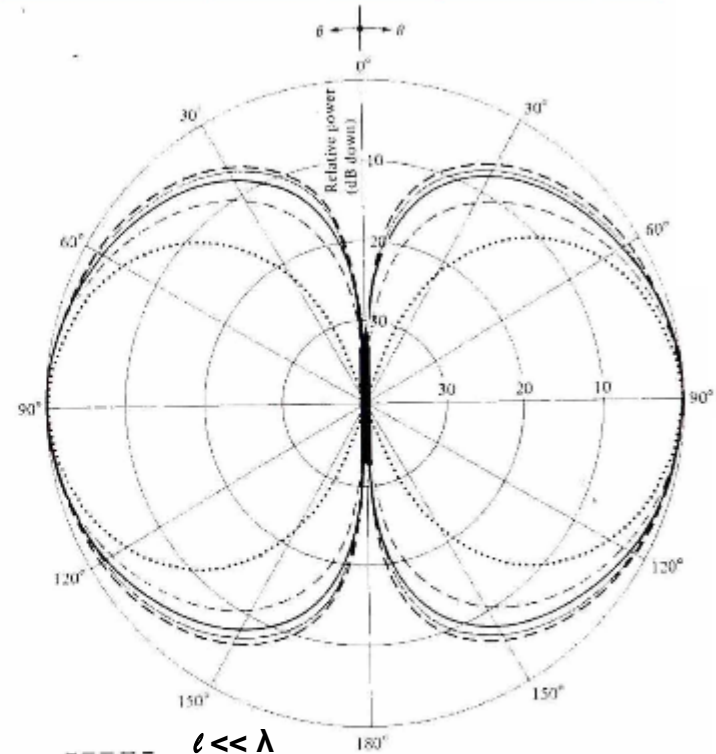
1. $l \leq \frac{\lambda}{50}$: HPBW = 90°
2. $l \leq \frac{\lambda}{2}$: HPBW = 74.93°
3. $l \leq \lambda$: HPBW = 47.8°

$$\frac{\lambda}{50} \leq l \leq \lambda$$

$$90^\circ \geq \text{HPBW} \geq 47.8^\circ$$

$$\Delta(\text{HPBW}) = 42.2^\circ$$

($l = \ll \lambda, \lambda/4, \lambda/2, 3\lambda/4, \lambda$)



- $l \ll \lambda$
- $l = \lambda/4$
- $l = \lambda/2$
- $l = 3\lambda/4$
- $l = \lambda$

Skupine anten

Delitev po elementih:

- Skupine neizotropnih virov (anten), npr. polvalovnih dipolov
- Skupine izotropnih virov

Delitev po načinu razvrstitve virov:

- Prema diskretna skupina izotropnih virov
- Prema zvezna skupina izotropnih virov
- Ploskovna diskretna skupina izotropnih virov
- Ploskovna zvezna skupina izotropnih virov

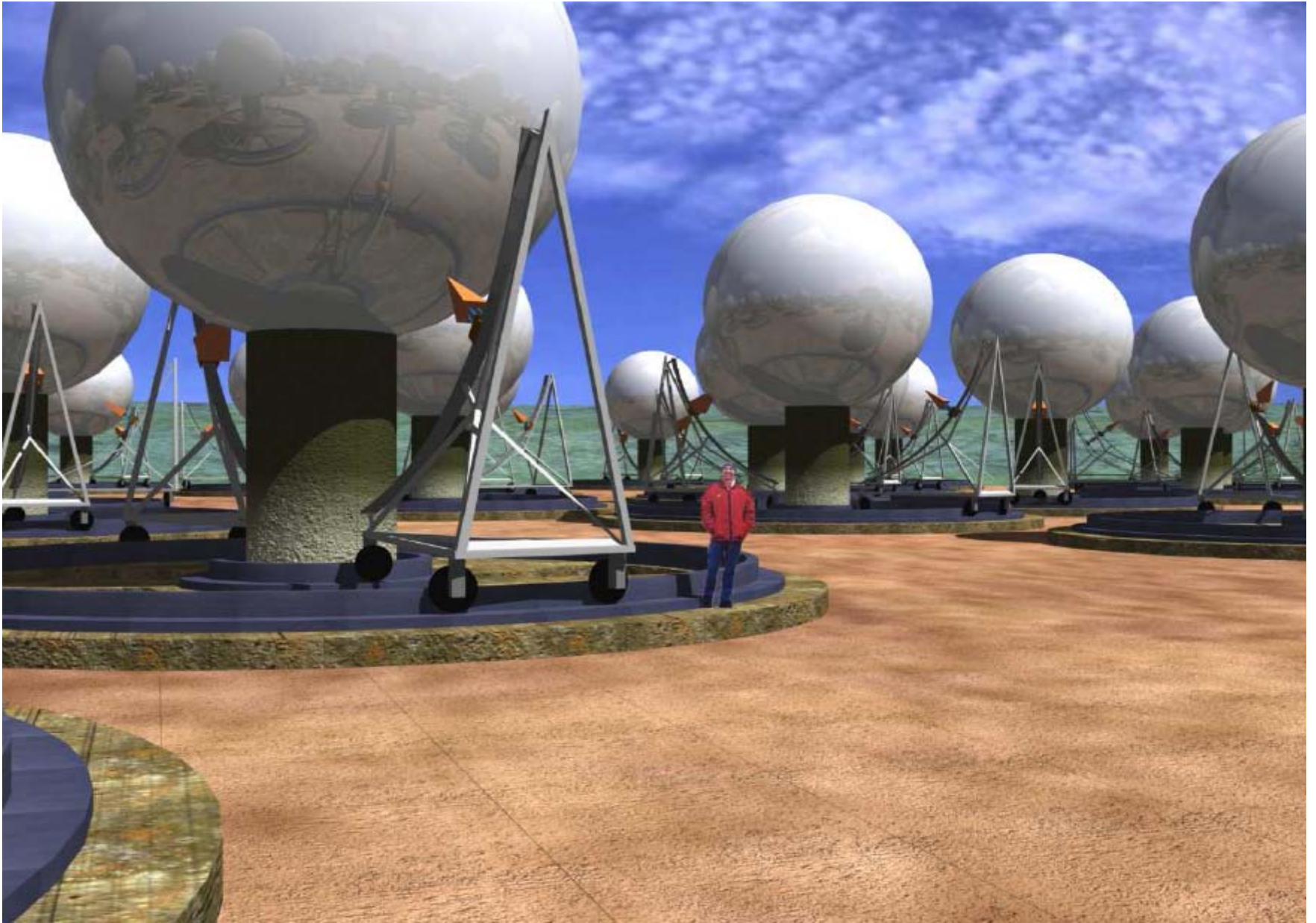
Primer skupine zančnih anten



2D skupina leč



Skupina Luneburgovih leč



Pravilo o multiplikaciji

Smerni diagram skupine neizotropnih elementov (anten) $F(\theta, \phi)$ je enak zmnožku smernega diagrama $F_i(\theta, f)$ skupine izotropnih elementov in smernega diagrama $F_e(\theta, f)$ elementa.

$$F(\theta, \phi) = F_i(\theta, f) F_e(\theta, f)$$

Absolutne vrednosti se množijo, faze se seštevajo:

Absolutna vrednost: $|F(\theta, \phi)| = |F_i(\theta, f)| |F_e(\theta, f)|$;

Faza: $\arg(F(\theta, \phi)) = \arg(F_i(\theta, f)) + \arg(F_e(\theta, f))$;

Elementi izotropne skupine, nameščeni v faznih središčih anten, so vzbujaeni enako kot antene.

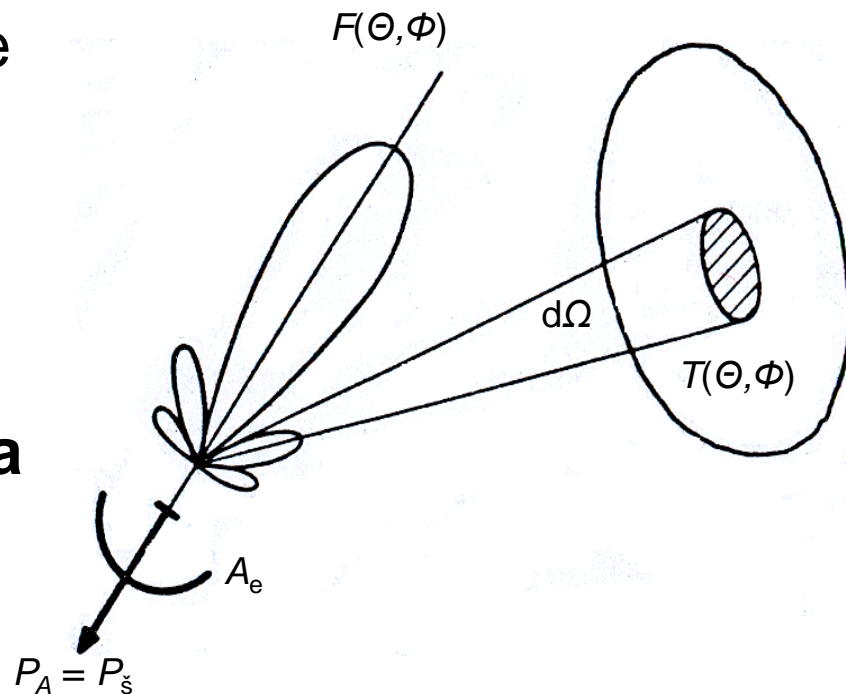
Sprejem zunanjega toplotnega šuma

- Sprejemana šumna moč v frekvenčnem Δf na izhodu smerne antene

$$P_{\check{s}} = k_B \frac{A_e}{\lambda^2} \Delta f \int_{4\pi} T(\Theta, \Phi) |F(\Theta, \Phi)|^2 d\Omega$$

- (Navidezna) šumna temperatura antene

$$T_A = T_{\check{s}} = \frac{P_A}{k_B \Delta f} = \frac{A_e}{\lambda^2} \int_{4\pi} T(\Theta, \Phi) |F(\Theta, \Phi)|^2 d\Omega$$



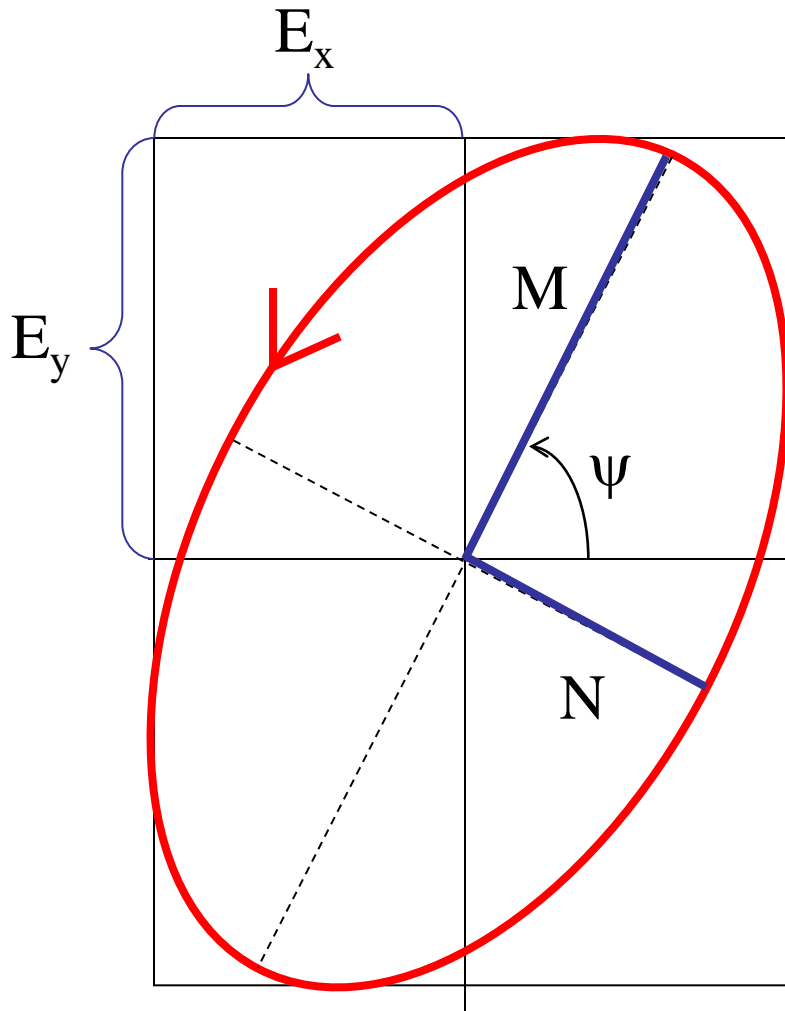
- Razmerje $G/T_{\check{s}}$

$$\frac{G}{T_{\check{s}}} = \frac{4\pi}{\int_{4\pi} T(\Theta, \Phi) |F(\Theta, \Phi)|^2 d\Omega}$$

$$\left(\frac{G}{T_{\check{s}}} \right)_{dB} = G_{dB} - T_{\check{s}, dB}$$

Razmerje $G/T_{\check{s}}$ v decibelih

Polarizacijska elipsa



- Splošno eliptično polarizacijo predstavimo s polarizacijsko elipso
- Elipso določajo trije podatki:
 1. Osno razmerje N/M
 2. Naklonski kot ψ velike polosi
 3. Smisel vrtenja (desno, levo)

Antena pri oddaji in sprejemu

- Oddaja: **dobitek G**

V smeri maksimuma polja seva antena navidezno G krat večjo moč, kot če bi sevala izotropno:

GP

navidezna izotropno sevana moč antene

G od 1,5 do 10^6 in več

- Sprejem: **ef. površina A**

Antena ne glede na vrsto sprejema moč iz prostora skozi navidezno efektivno površino (odprtino) A:

P = SA

S gostota moči

A od cca. $0,1\lambda^2$ do $10^6 \lambda^2$ in več

Razmerje G/A

Pri vseh valovnih dolžinah in za vse vrste anten velja enačba recipročnosti:

$$G/A = 4\pi/\lambda^2$$

Oddajne in sprejemne karakteristike antene so medsebojno povezane.

Razmerje G/T

Razmerje nastopa v (satelitskih in zemeljskih) komunikacijskih enačbah kot najpomembnejši parameter zveze. Izraža se v dB.

$$(G/T)_{\text{db}} = G_{\text{db}} - T_{\text{db}}$$

Občutljivost sprejema je sorazmerna dobitku in je obratno sorazmerna s šumno temperaturo.

Prenos moči v praznem prostoru

$$\begin{aligned} P_R &= PFD \cdot A_e \\ &= \left(\frac{G_T P_T}{4\pi r^2} \right) \left(\frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} \right) \\ &= P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \end{aligned}$$

- λ : valovna dolžina
- P_R : moč (razpoložljiva) na sprejemni anteni
- P_T : dovajana moč oddajni anteni
- G_R : dobitok sprejemne antene
- G_T : dobitok oddajne antene
- Predpostavljamo prilagojeni anteni in usklajeni polarizaciji

e.i.r.p. – effective isotropically radiated power

- Efektivna izotropno sevana moč:

$$EIRP = G P$$

- Ta moč nastopa v radiodifuziji, radiokomunikacijah in ekologiji (varstvo pred sevanjem).
- Podajamo jo v smeri največjega sevanja.
- Potrebno vrednost EIRP želimo doseči s čim manjšo močjo in čim večjim dobitkom.

Dobitek in efektivna površina antene

- Dobitek G je karakteristika antene pri oddaji
- Efektivna površina A je karakteristika antene pri sprejemu. Podaja površino navidezne ploskve, iz katere antena sprejema moč
- Zaradi recipročnosti med oddajo in sprejemom sta A in D povezana z enačbo:
- Odprtine, ki imajo fizično odprtino A_{fiz} in efektivno površino A , imajo izkoristek $\eta = A / A_{fiz}$.

$$A = \eta \frac{\lambda^2}{4\pi} D \quad \eta - \text{izkoristek moči antene}$$

Antenski dobitek G_i , G_d

- G_i je dobitek antene glede na izotropno anteno
- Izotropna antena ne obstaja in po teoriji ni mogoča
- G_d je dobitek antene glede na polvalovni dipol
($G_i = G_d \times 1,64$, $G_{i,db} = G_{d,db} + 2,15$ dB)
- Primerjalna antena je lahko lahko vsaka druga normala z umerjenim ojačenjem
- G običajno podajamo v decibelih G_{dB} .

Radiokomunikacijska zveza

Moč sprejema:

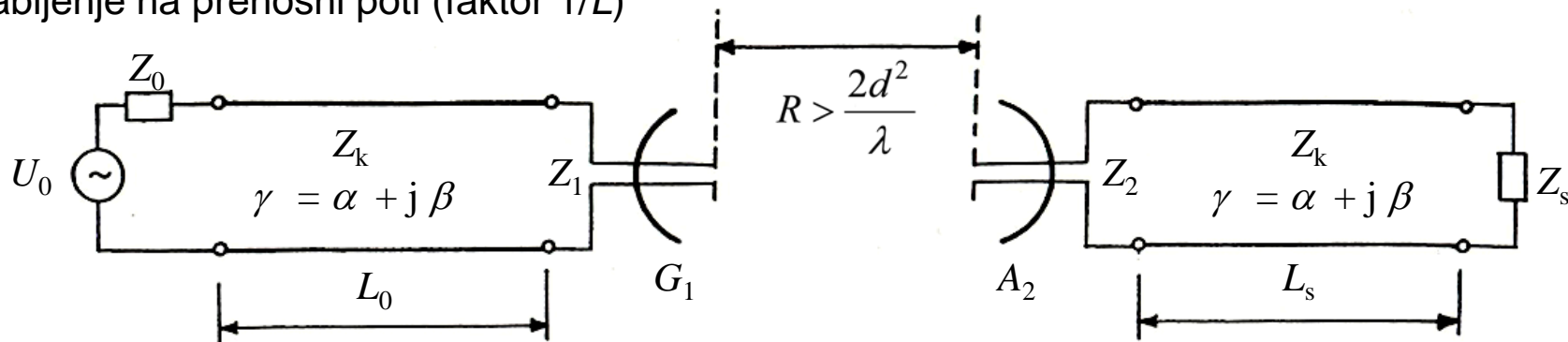
$$P_2 = P_1 G_1 A_2 / 4\pi r^2 = P_1 G_1 G_2 (\lambda / 4\pi r)^2$$

- Anteni sta usmerjeni ena proti drugi;
- Anteni sta impedančno prilagojeni na oddajnik oz. sprejemnik ($Z_1 = Z_0^*$, $Z_2 = Z_s^*$);
- Anteni sta polarizacijsko skladni.

RAZŠIRJENA PRENOSNA ENAČBA - neprilagojenost in neusklajenost

Upoštevamo:

- slabljenje v kabljih (faktor $e^{-2\alpha L}$)
- dodatno slabljenje zaradi neprilagojenosti na oddajni in sprejemni strani (izkoristek h_0 in h_s)
- dodatno slabljenje zaradi polarizacijske neskladnosti (izkoristek h_p)
- slabljenje na prenosni poti (faktor $1/L$)



$$\Gamma_0 = \frac{Z_0 - Z_k}{Z_0 + Z_k}$$

$$Q_1 = \frac{E_{L1}}{E_{D1}}$$

$$Q_2 = \frac{E_{L2}}{E_{D2}}$$

$$\Gamma_2 = \frac{Z_2 - Z_k}{Z_2 + Z_k}$$

$$\Gamma_1 = \frac{Z_1 - Z_k}{Z_1 + Z_k}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\lambda^2 G_1 G_2 \eta_0 \eta_s \eta_p}{(4\pi R)^2 L}$$

$$\Gamma_s = \frac{Z_s - Z_k}{Z_s + Z_k}$$

$$\eta_0 = \frac{(1 - |\Gamma_0|^2)(1 - |\Gamma_1|^2) e^{-2\alpha L_0}}{|1 - \Gamma_0 \Gamma_1 e^{-2\gamma L_0}|^2}$$

$$\eta_p = \frac{|1 + Q_0 Q_1|^2}{(1 + |Q_0|^2)(1 + |Q_1|^2)}$$

$$\eta_s = \frac{(1 - |\Gamma_2|^2)(1 - |\Gamma_s|^2) e^{-2\alpha L_s}}{|1 - \Gamma_2 \Gamma_s e^{-2\gamma L_s}|^2}$$

Recipročnost med oddajo in sprejemom

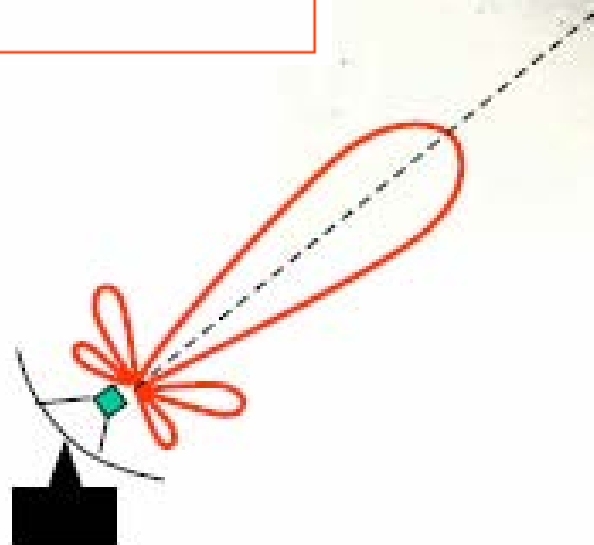
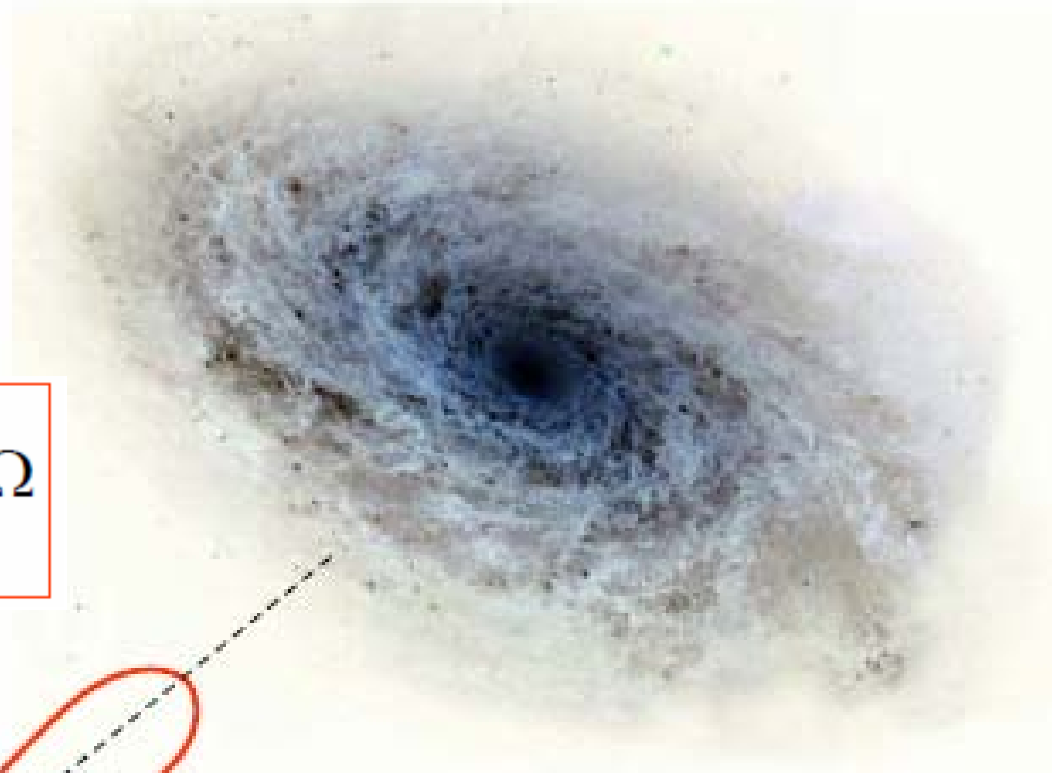
- Smerni diagram $F_o(\theta, \phi)$ antene pri oddaji je enak smernemu diagramu $F_s(\theta, \phi)$ antene pri sprejemu.
- Impedanca antene pri oddaji Z_o , ki kot breme oddajnika, je enaka impedanci antene pri sprejemu Z_s , ki deluje kot notranja impedanca antene kot generatorja napetosti.
- G in A sta zaradi recipročnosti povezani z enačbo:

$$A = G \lambda^2 / 4\pi, \text{ po pomenu antenska enačba št. 1}$$

Izpeljava recipročnosti s termičnim šumom

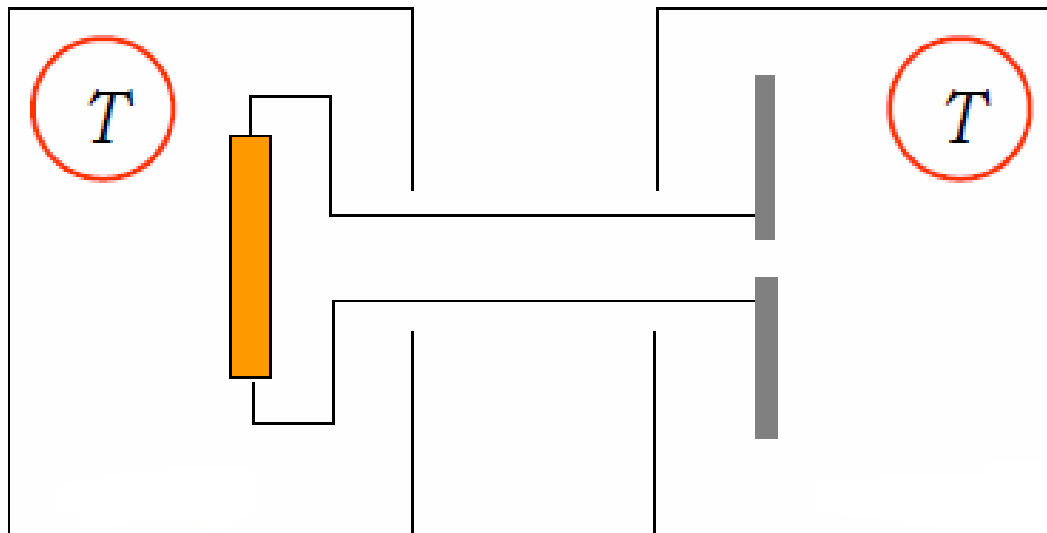
$$w = \frac{1}{2} AB \Delta v \int P(\theta, \phi) d\Omega$$

$$w = \frac{1}{2} A \Delta v \int P(\theta, \phi) B(\theta, \phi) d\Omega$$



Termično ravnovesje antene in bremena

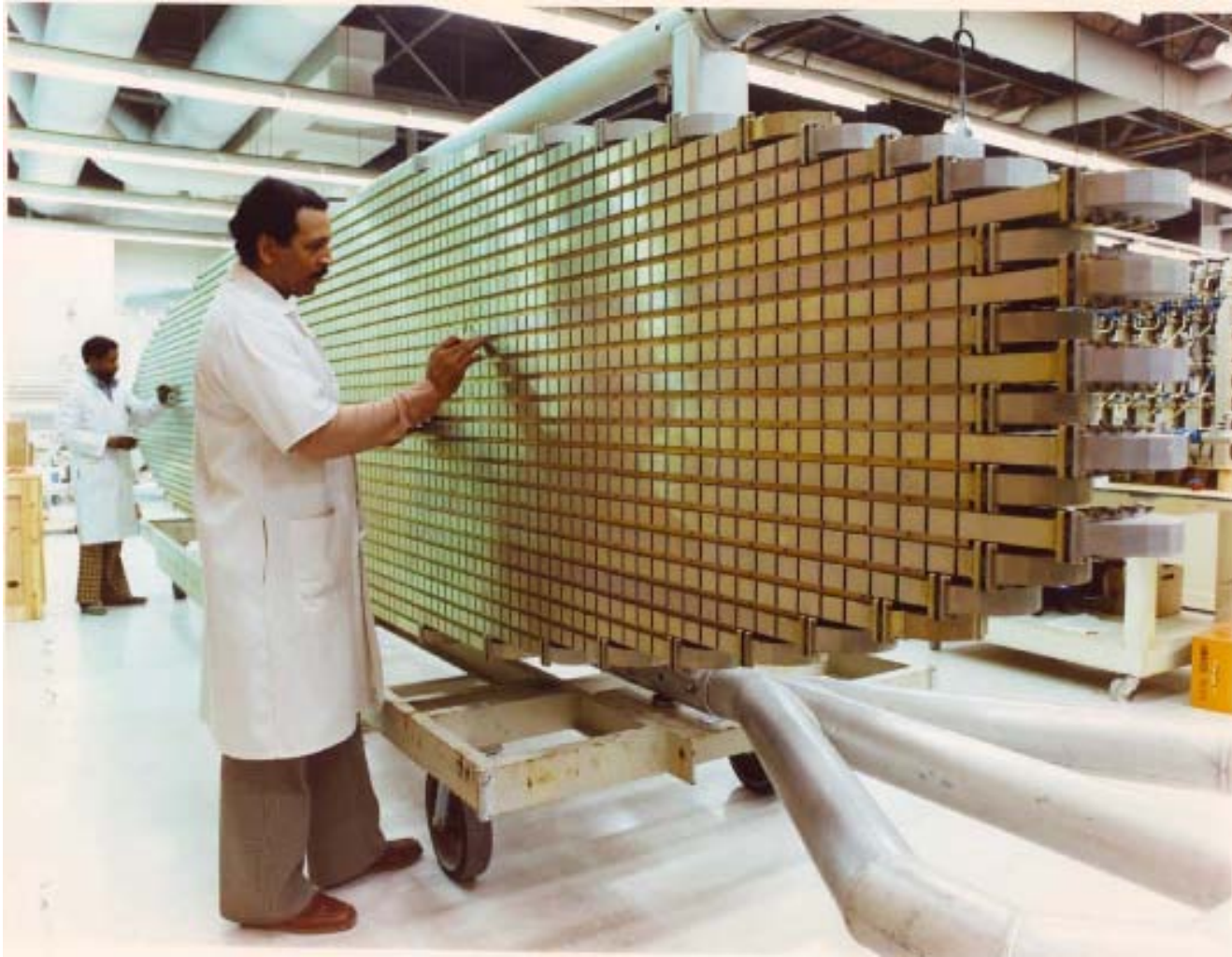
$$P = k_B T$$



$$w = k_B T \Delta \nu$$

Galerija anten

Antena AWACS



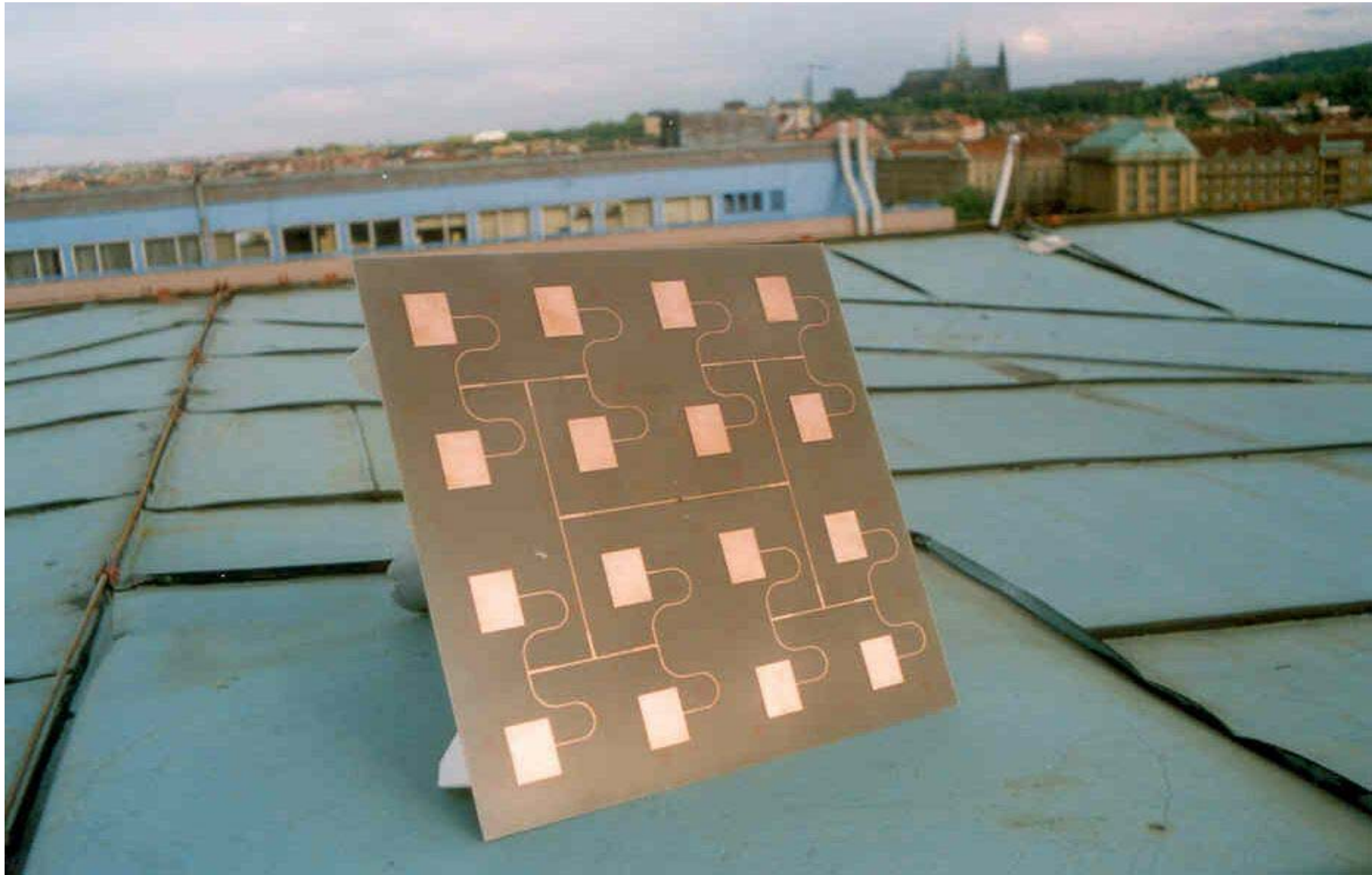
Dvodimenzionalna skupina rež, na ožji stranici valovoda

Antena SAR na satelitu

SAR antena na satelitu Envisat



Skupina krpičastih anten



Satelitska sprejemna antena Raisting

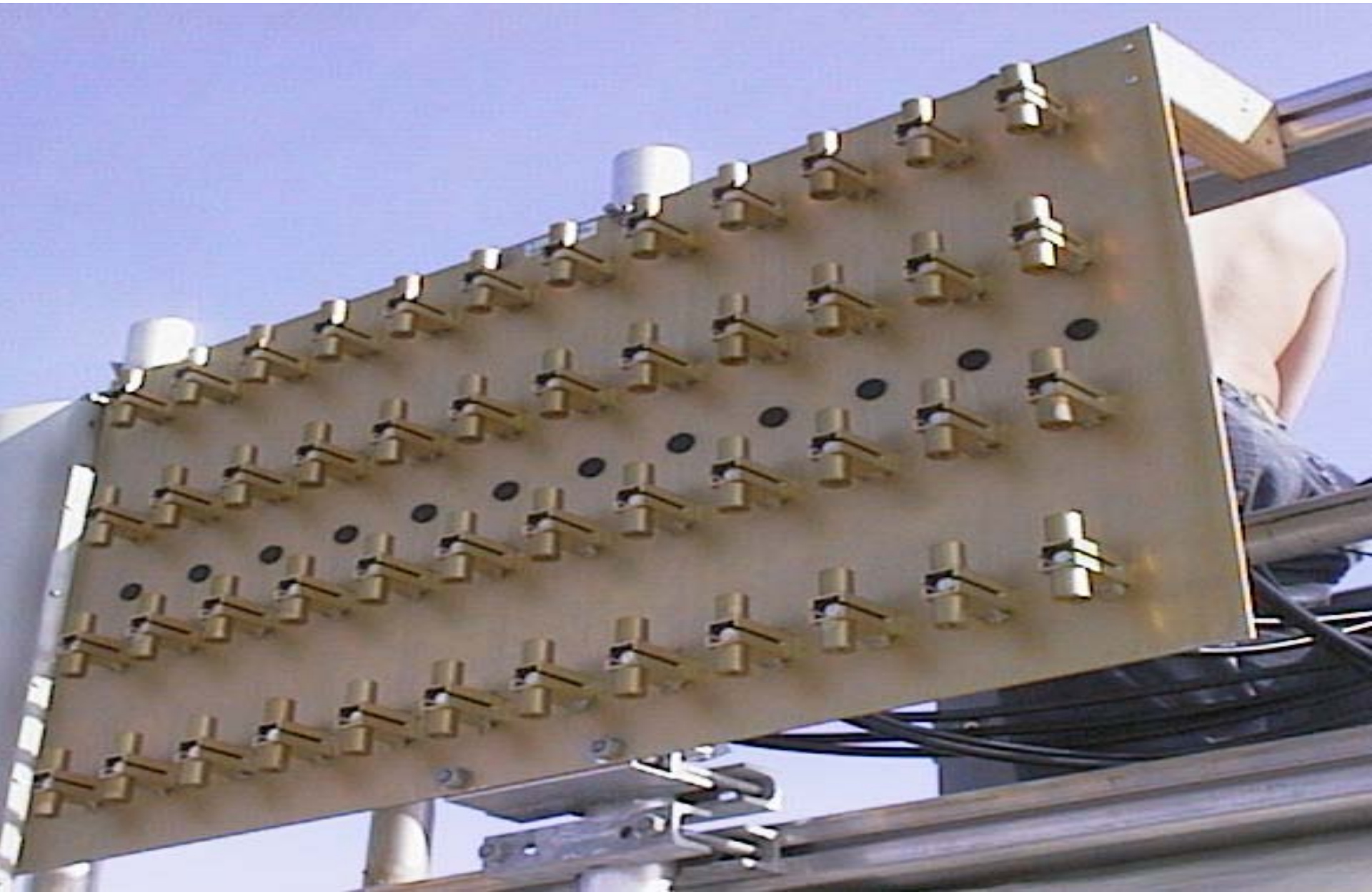
Satelitska
Antena
Raisting



Antene vsepovsod



Skupina dipolov



TV oddajna antena



Antene bazne postaje



Antene za usmerjene zveze



Antene vsepovsod



