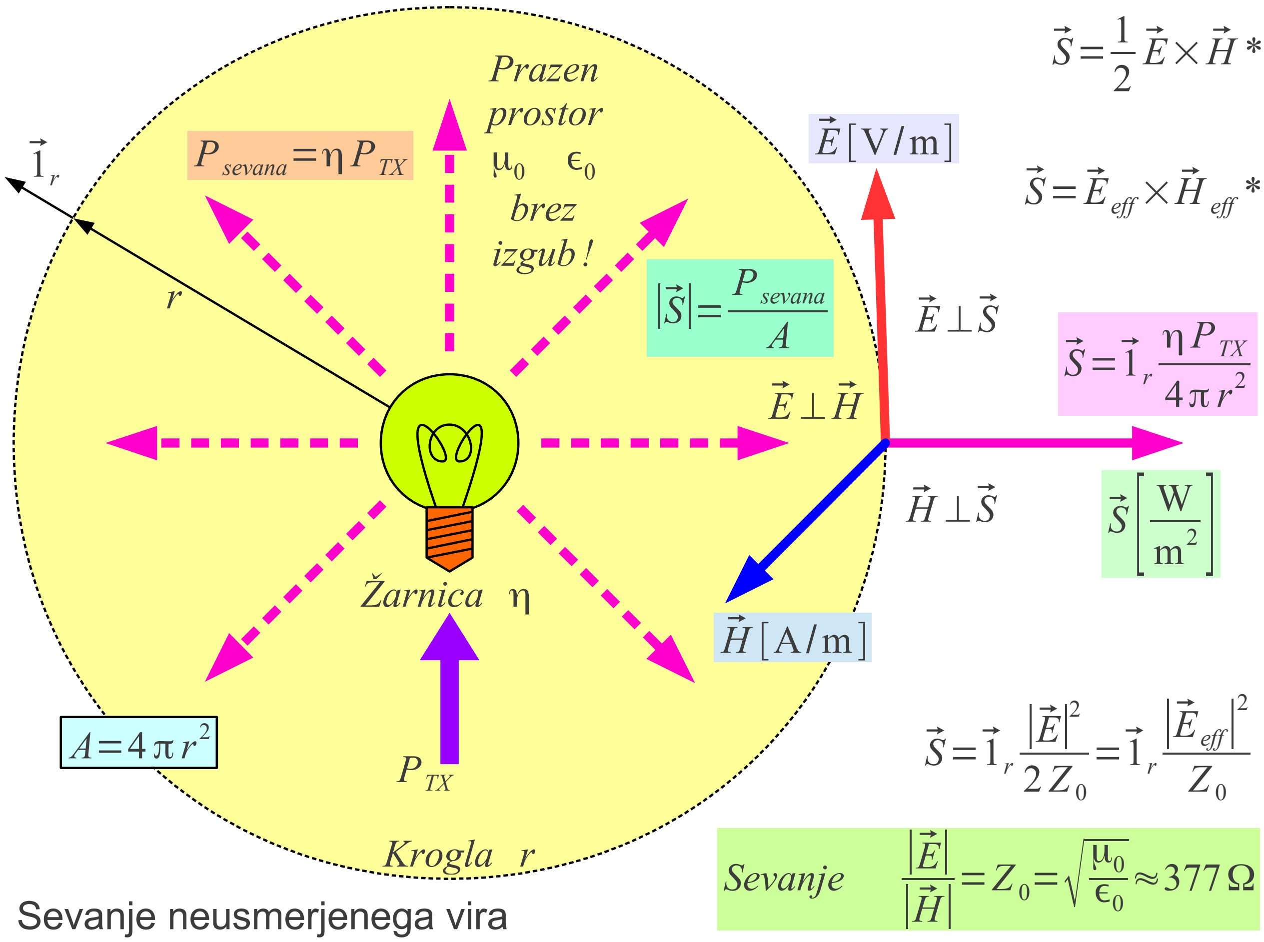
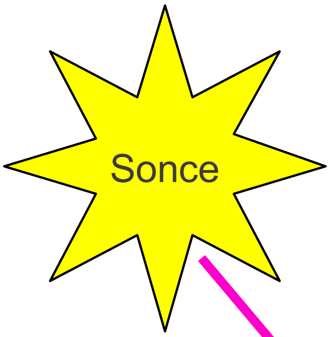
4. Radijska zveza v praznem prostoru

Večina nalog iz anten in razširjanje valov zahteva obravnavo v treh dimenzijah prostora. Tako skalarne kot vektorske veličine so funkcije časa in vseh treh dimenzij prostora. Ozkopasovne signale $B \ll f$ radia največkrat smemo v izračunih ponazoriti s harmonskim signalom ene same krožne frekvence $\omega = 2\pi f$, kar poenostavi časovne odvode v $\partial/\partial t = j\omega$.

Ko reševanje naloge zahteva dva različna krogelna koordinatna sistema z različnima izhodiščema, je edina smotrna pot preračunavanje preko vmesnih kartezičnih koordinat (x, y, z).



Sevanje neusmerjenega vira



Učinek sevanja	*Gostota pretoka moči* $\lvert\vec{S}\rvert$		*Jakost polja* $\lvert\vec{E}_{eff}\rvert$
Sončna svetloba	$1\mathrm{kW/m^2}$	$100\mathrm{mW/cm^2}$	$614\mathrm{V_{eff}/m}$
Zaznaven učinek	$100\mathrm{W/m^2}$	$10\mathrm{mW/cm^2}$	$194\mathrm{V_{eff}/m}$
Varna meja	$10\mathrm{W/m^2}$	$1\mathrm{mW/cm^2}$	$61\mathrm{V_{eff}/m}$
Zakonska omejitev	$0.1\mathrm{W/m^2}$	$10\mathrm{\mu W/cm^2}$	$6\mathrm{V_{eff}/m}$

$$|\vec{E}|=\sqrt{2Z_0|\vec{S}|} \qquad |\vec{E}_{eff}|=\sqrt{Z_0|\vec{S}|}$$

Prazen prostor
$\mu_0 \quad \epsilon_0$
brez izgub!

$|\vec{S}|\approx 1\,\mathrm{kW/m^2}$
(na površini Zemlje)

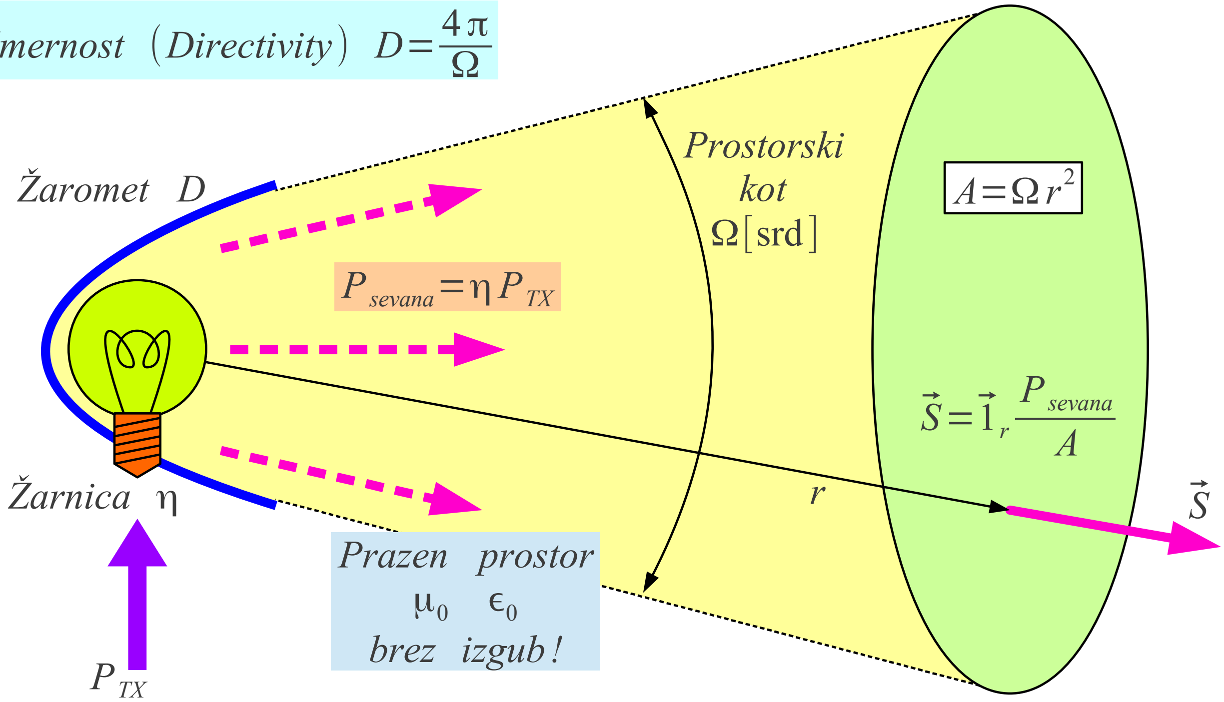
$A_{maček}\approx 0.05\,\mathrm{m^2}$

$P_{RX}=\vec{S}\cdot\vec{1}_n A_{maček}\left(1-|\Gamma|^2\right)$

$P_{RX}\approx 50\,\mathrm{W}$

Toplotni učinki sevanja

$$Smernost\ (Directivity)\ D=\frac{4\pi}{\Omega}$$

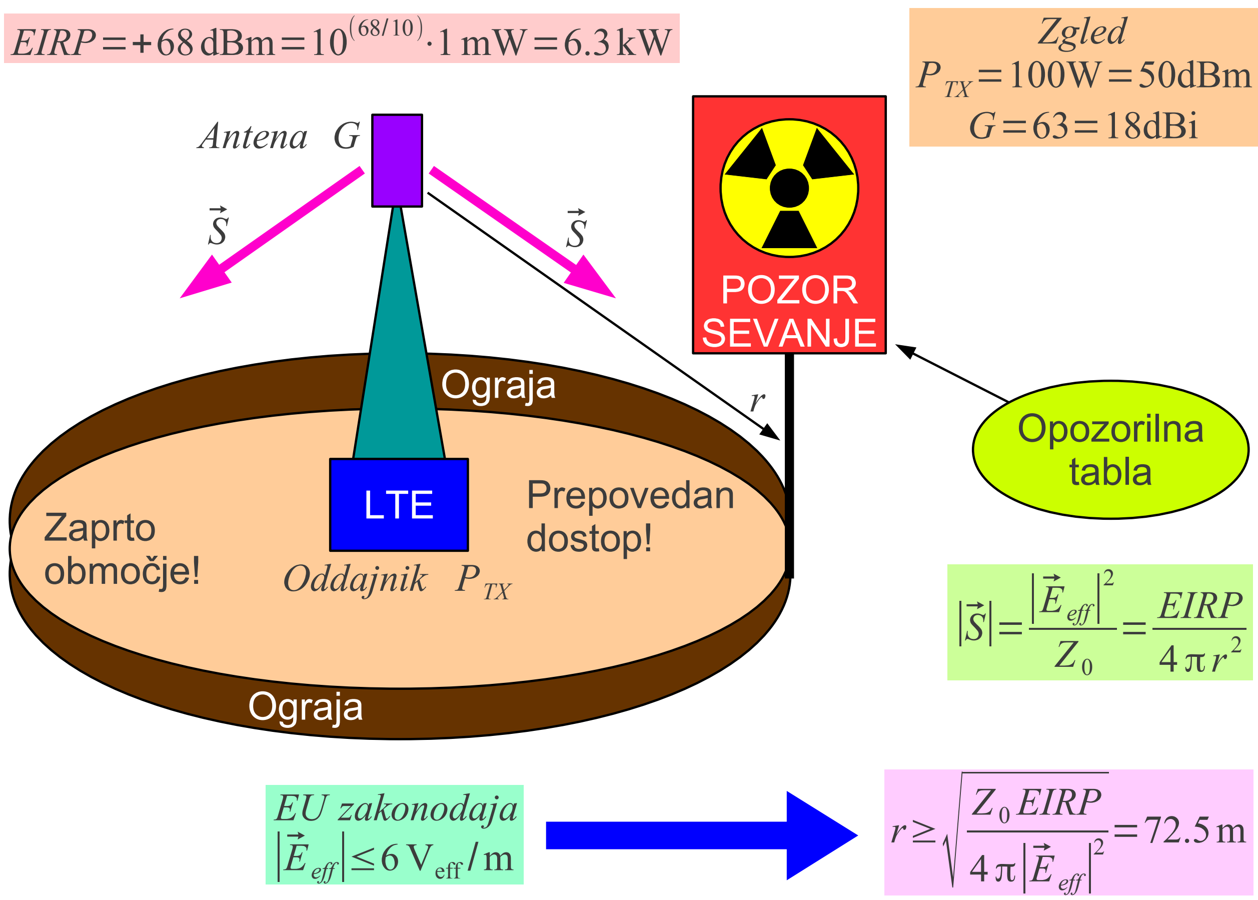


$$EIRP=D\,P_{sevana}=G\,P_{TX}$$

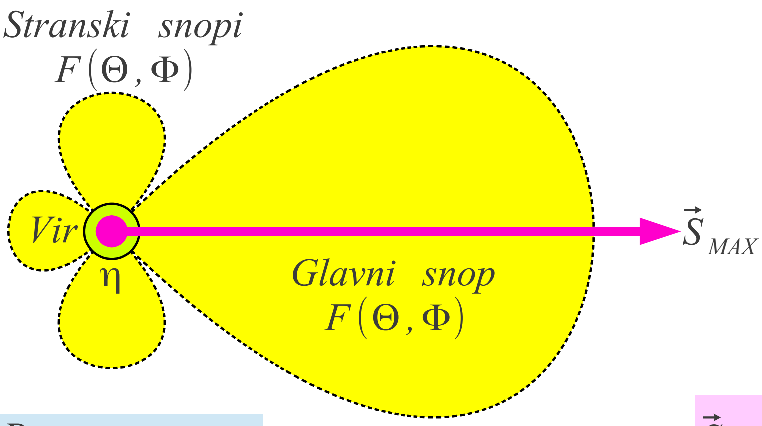
$$Dobitek\ (Gain)\ G=\eta D$$

$$\vec{S}=\vec{1}_r\frac{\eta P_{TX}}{\Omega r^2}=\vec{1}_r\frac{\eta D P_{TX}}{4\pi r^2}=\vec{1}_r\frac{G P_{TX}}{4\pi r^2}$$

Sevanje usmerjenega izvora



Ograja okoli vira sevanja



$$\vec{E}(\vec{r})=\vec{1}_E\,\alpha\,\frac{e^{-jkr}}{r}F(\Theta,\Phi)$$

$$F(\Theta,\Phi)\equiv smerni\ \ diagram$$

$$\vec{S}=\vec{1}_r\frac{|\vec{E}|^2}{2Z_0}$$

$$\vec{S}(\vec{r})=\vec{1}_r\frac{|\alpha|^2}{2Z_0r^2}|F(\Theta,\Phi)|^2$$

Prazen prostor
$\mu_0 \quad \epsilon_0$
brez izgub!

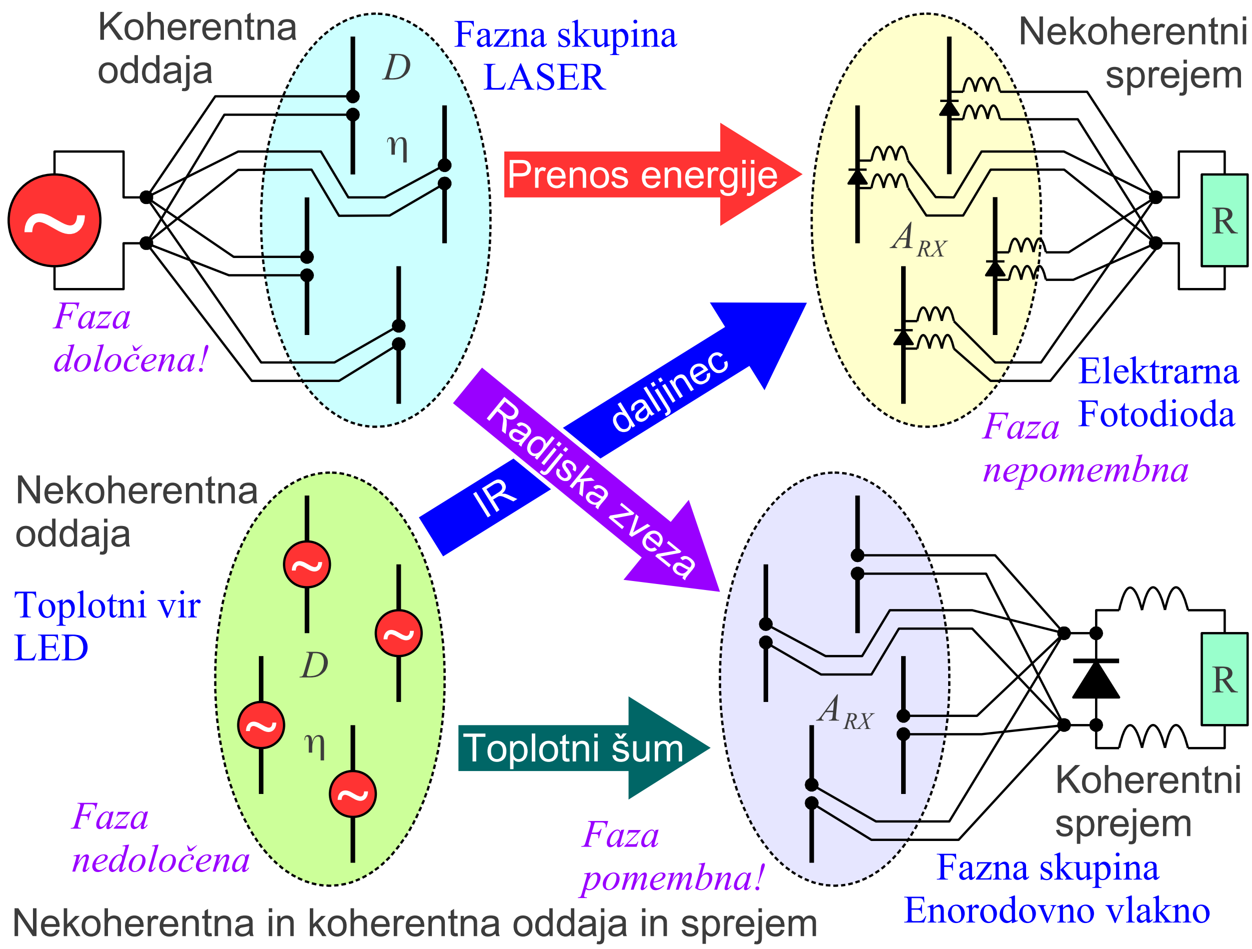
$$\vec{S}_{MAX}=\vec{1}_r\frac{|\alpha|^2}{2Z_0r^2}|F(\Theta_{MAX},\Phi_{MAX})|^2$$

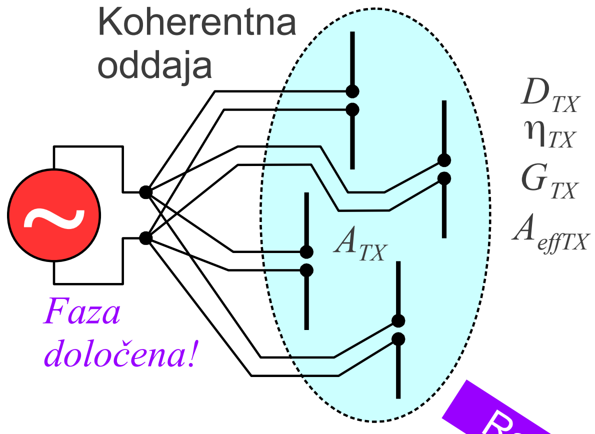
$$P_{sevana}=\oiint_{4\pi}\vec{S}(\vec{r})\cdot\vec{1}_r r^2\,d\Omega=\frac{|\alpha|^2}{2Z_0}\oiint_{4\pi}|F(\Theta,\Phi)|^2\,d\Omega$$

$$D=\frac{|\vec{S}_{MAX}|}{\left(\dfrac{P_{sevana}}{4\pi r^2}\right)}=\frac{\dfrac{|\alpha|^2}{2Z_0r^2}|F(\Theta_{MAX},\Phi_{MAX})|^2}{\dfrac{1}{4\pi r^2}\dfrac{|\alpha|^2}{2Z_0}\oiint_{4\pi}|F(\Theta,\Phi)|^2\,d\Omega}$$

$$D=\frac{4\pi|F(\Theta_{MAX},\Phi_{MAX})|^2}{\oiint_{4\pi}|F(\Theta,\Phi)|^2\,d\Omega}$$

Smernost oddajne antene


Koherentna
oddaja
D
η
Fazna skupina
LASER
Faza
določena!
Prenos energije
Nekoherentni
sprejem
A_{RX}
R
Elektrarna
Fotodioda
Faza
nepomembna
daljinec
IR
Radijska zveza
Nekoherentna
oddaja
Toplotni vir
LED
D
η
Faza
nedoločena
Toplotni šum
Faza
pomembna!
A_{RX}
R
Koherentni
sprejem
Fazna skupina
Enorodovno vlakno
Nekoherentna in koherentna oddaja in sprejem



$$A_{effTX} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D_{TX} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{G_{TX}}{\eta_{TX}}$$

$A_{eff} = A \cdot \eta_O \equiv$ *efektivna površina*

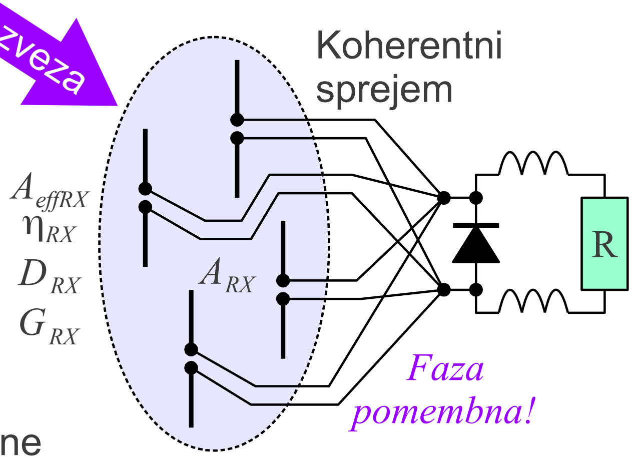
$\eta_O \equiv$ *izkoristek osvetlitve*

$\eta_O \approx 50\% ... 80\%$

Recipročnost !

$$D_{RX} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{effRX}$$

$$G_{RX} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{effRX} \eta_{RX}$$



Efektivna površina koherentne antene

$$P_{RX}=P_{TX}\frac{\eta_{TX}D_{TX}A_{effRX}\eta_{RX}}{4\pi r^2}$$

Zapis z dobitki anten: $$P_{RX}=P_{TX}G_{TX}G_{RX}\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2$$

Recipročnost !

Zapis s površinami anten: $$P_{RX}=P_{TX}\frac{\eta_{TX}A_{effTX}A_{effRX}\eta_{RX}}{\lambda^2 r^2}$$

Friisova enačba za domet koherentne zveze

$$P[\mathrm{dBm}]=10\log_{10}(P/1\mathrm{mW})=P[\mathrm{dBW}]+30\mathrm{dB}$$
$$P[\mathrm{dBW}]=10\log_{10}(P/1\mathrm{W})=P[\mathrm{dBm}]-30\mathrm{dB}$$

dBm ≡ dB glede na 1mW

dBW ≡ dB glede na 1W

$$D[\mathrm{dBi}]=10\log_{10}D$$
$$G[\mathrm{dBi}]=10\log_{10}G$$

dBi ≡ dB glede na neusmerjen (izotropni) vir

$$D[\mathrm{dBd}]=D[\mathrm{dBi}]-2.15\,\mathrm{dB}$$
$$G[\mathrm{dBd}]=G[\mathrm{dBi}]-2.15\,\mathrm{dB}$$

dBd ≡ dB glede na polvalovni dipol

$$P_{RX}[\mathrm{dBm}]=P_{TX}[\mathrm{dBm}]+G_{TX}[\mathrm{dBi}]+G_{RX}[\mathrm{dBi}]+$$
$$+20\log_{10}\lambda[\mathrm{m}]-20\log_{10}r[\mathrm{m}]-21.98\,\mathrm{dB}$$

Friisova enačba

$$P_{RX}=P_{TX}G_{TX}G_{RX}\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2$$

$$20\log_{10}(4\pi)=21.98\mathrm{dB}$$

Slabljenje praznega prostora

$$a[\mathrm{dB}]=20\log_{10}\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)$$

$$P_{RX}[\mathrm{dBm}]=P_{TX}[\mathrm{dBm}]+G_{TX}[\mathrm{dBi}]+G_{RX}[\mathrm{dBi}]-$$
$$-20\log_{10}f[\mathrm{MHz}]-20\log_{10}r[\mathrm{m}]+27.55\,\mathrm{dB}$$

Logaritemske merske enote

$$\lambda[\mathrm{m}]\approx 299.7/f[\mathrm{MHz}]\quad (zrak\quad n=1.0003)$$

* * * * *