

## 5. Meritve anten

Gradnike brezvrvične zveze: oddajnik, sprejemnik in pripadajoče antene, običajno načrtujemo tako, da bo zveza delovala pri največjem zahtevanem dometu  $r_{MAX}$ . Na manjših razdaljah  $r < r_{MAX}$  od največjega zahtevanega dometa zveze si lahko privoščimo celo znižanje moči oddajnika oziroma moramo zmanjšati občutljivost sprejemnika. Na manjših razdaljah preprosto skušamo uporabljati iste, nespremenjene antene.

Antene skoraj vedno načrtujemo za največji domet zveze, torej jih ostrimo (fokusiramo) v neskončnost. Nižje slabljenje razširjanja valovanja na manjših razdaljah prinese dosti večje povečanje sprejetega signala od izgube ostrenja (fokusa) anten. Na zelo majhnih razdaljah pogosto pride do izpada zveze zaradi prekrmljenja sprejemnika s premočnim signalom.

Resnična radijska zveza vsebuje veliko število spremenljivk, še posebno v primeru ovir na poti radijskih valov. Večine spremenljivk ne poznamo zadosti dobro, da bi v resnični zvezi lahko natančno preizkušali oddajnike, sprejemnike in antene. Radijski oddajniki in sprejemniki imajo priključke za vodeno elektromagnetno valovanje, torej jih lahko preizkušamo in umerjamo z običajnimi elektronskimi merilnimi inštrumenti v poljubno majhnem laboratoriju.

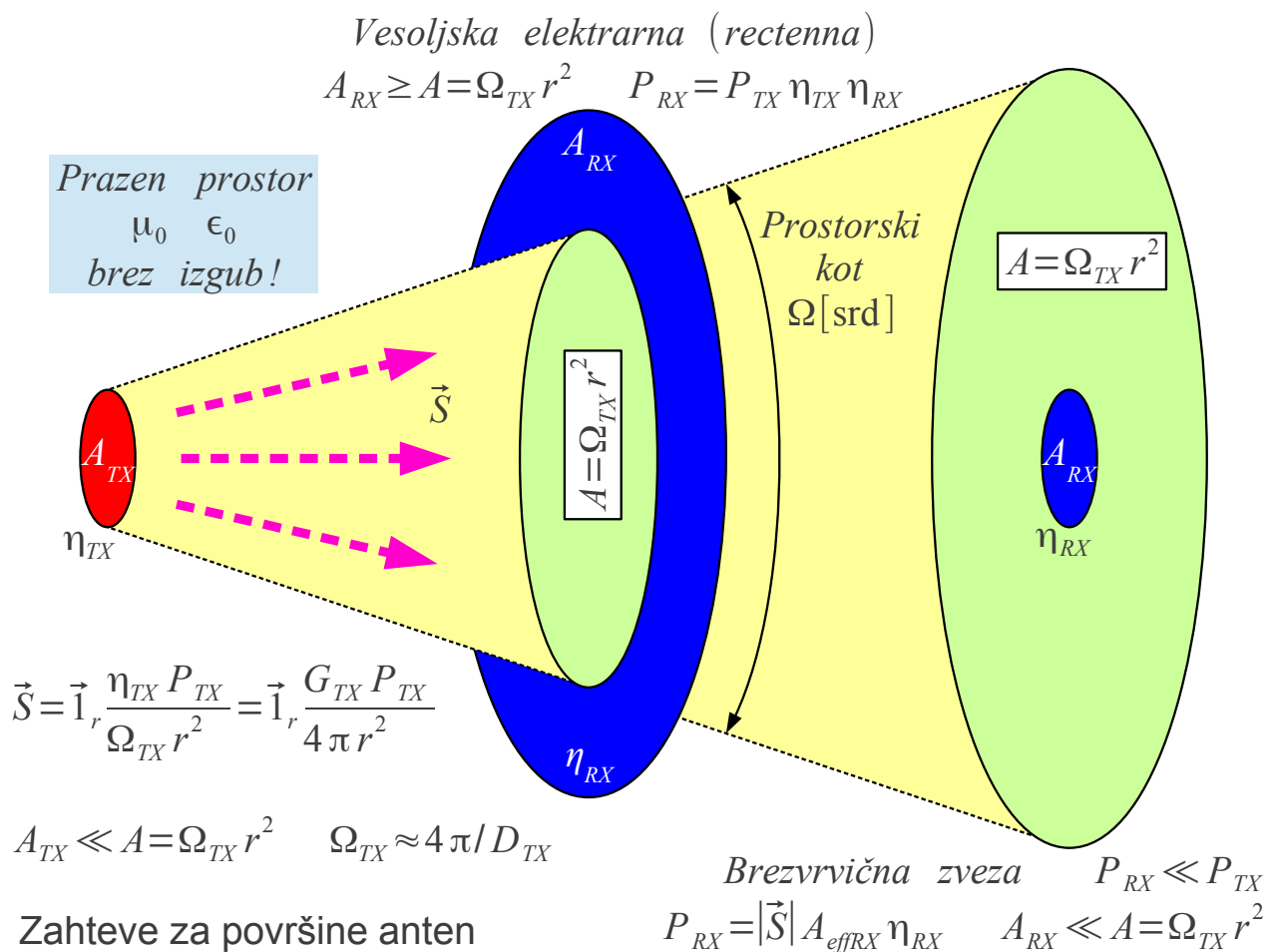
Antene v vsakem primeru sevajo v prostor oziroma od tam sprejemajo elektromagnetno sevanje. Meritev anten zahteva poleg primernih merilnih inštrumentov tudi zadosti prostora za razširjanje elektromagnetnega valovanja. Anten običajno ne moremo preizkušati pri največjem zahtevanem dometu zveze  $r_{MAX}$ , ker nimamo tako velikega laboratorija, kaj šele, da bi v njemu zadosti natančno poznali pojave pri razširjanju valovanja, kot so razna slabljenja, sipanja, ukloni in odboji valovanja.

Razdaljo merile radijske zveze, na kateri merimo lastnosti neznane antene, moramo skrbno izbrati. Bližnjemu polju se izognemo na dovolj veliki razdalji  $r \gg \lambda/2\pi$ . Povrhu se na premajhni razdalji antena obnaša drugače, saj resnična zveza zahteva ostrenje (fokusiranje) v neskončnost. Na preveliki razdalji bo težje ovrednotiti oziroma izločiti neželjene pojave razširjanja valovanja: slabljenja, sipanja, uklone in odboje.

V prejšnjem poglavju je bilo razloženo, da antene za različne vrste brezvrvičnih zvez načrtujemo na različne načine. Pri brezvrvičnem prenosu električne energije želimo s sprejemnikom ujeti skoraj vso moč oddajnika, kar

zahteva sprejemno anteno  $A_{RX} \geq A = \Omega_{TX} r^2$  večjo od preseka snopa oddajnika. Edino izgubo moči predstavljajo izgube oddajnika  $\eta_{TX} < 1$  in sprejemnika  $\eta_{RX} < 1$ .

Pri brezvrvičnem prenosu informacije običajno uporabljamo manjše in cenejše antene, saj si lahko privoščimo  $P_{RX} \gg P_{TX}$ . Antena za sprejem informacije je običajno dosti manjša  $A_{RX} \ll A = \Omega_{TX} r^2$  od preseka snopa oddajnika:



Friisova enačba za domet radijske zveze velja na dovolj veliki razdalji od oddajnika, kjer gostota sevanja moči  $\vec{S} = \vec{1}_r P_{sevana} / 4\pi r^2$  upada s kvadratom razdalje. Na dovolj veliki razdalji je presek snopa sevanja  $A = \Omega_{TX} r^2 \gg A_{TX}$  dosti večji od oddajne antene. V primeru koherentne oddaje lahko izračunamo pogoj za razdaljo iz velikosti oddajne antene:

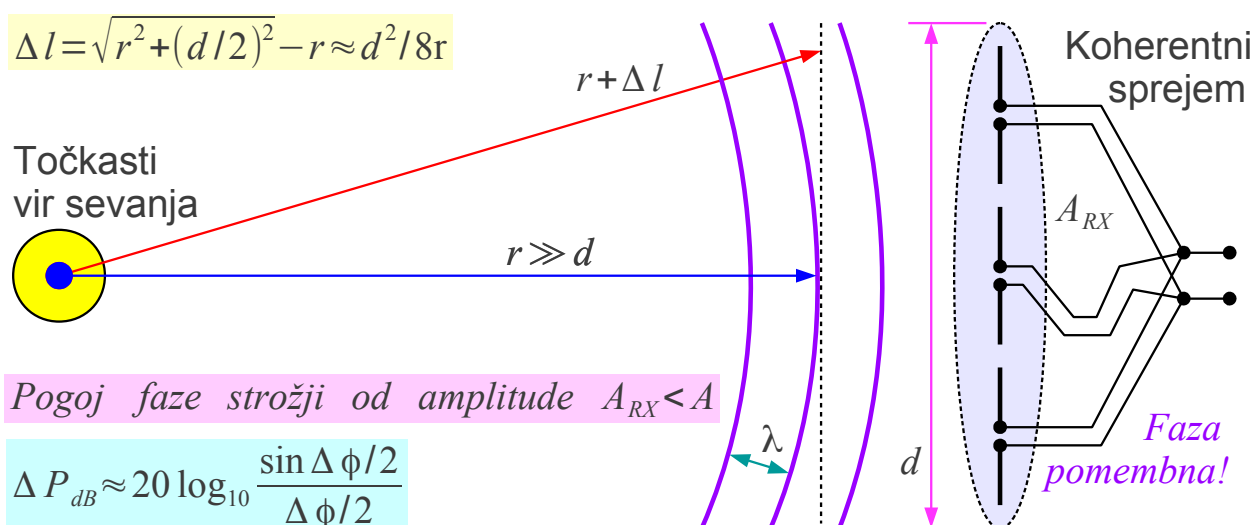
$$D_{TX} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{effTX} = \rightarrow \Omega_{TX} = \frac{4\pi}{D_{TX}} = \frac{\lambda^2}{A_{effTX}} \rightarrow A = \Omega_{TX} r^2 = \frac{\lambda^2 r^2}{A_{effTX}}$$

$$A_{TX} \gg A = \frac{\lambda^2 r^2}{A_{effTX}} \approx \frac{\lambda^2 r^2}{A_{TX}} \rightarrow r \gg \frac{A_{TX}}{\lambda}$$

V majhni sprejemni anteni  $A_{RX} \ll A = \Omega_{TX} r^2$  v primerjavi s presekom snopa oddajnika je sprejeta moč preprosto  $P_{RX} = |\vec{S}| A_{effRX} \eta_{RX}$ . V primeru koherentne oddaje in koherentnega sprejema je Friisova enačba popolnoma recipročna: oddajno in sprejemno anteno smemo zamenjati med sabo. V tem primeru mora veljati oboje:

$$r \gg \frac{A_{TX}}{\lambda} \quad \text{in} \quad r \gg \frac{A_{RX}}{\lambda}$$

V primeru koherentnega sprejema lahko določimo natančnejšo mejo iz napake faze. Koherentna sprejemna antena je ostrena v neskončnost, torej prirejena za sprejem ravnih valovnih front. Na premajhni razdalji  $r$  ukrivljenost valovnih front povzroči napako faze. Napaka faze znižuje kazalčno vsoto prispevkov v sprejemni anteni:

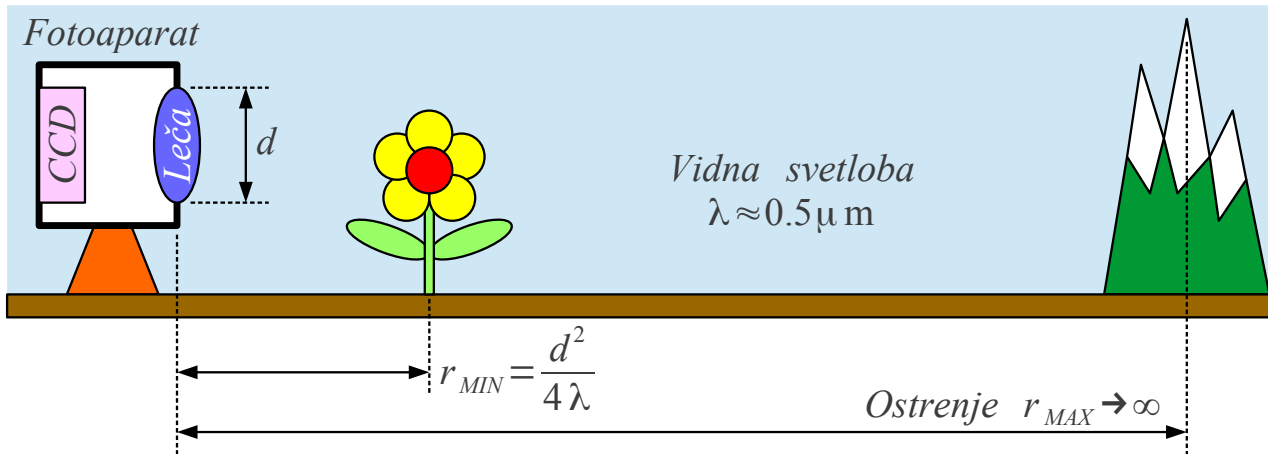


$\Delta l$	$\Delta \phi [\text{rd}]$	$\Delta P [\text{dB}]$	$r \geq$	Uporaba
$\lambda/2$	$\pi$	-3.922	$d^2/4\lambda$	Globinska ostrina fotoaparata
$\lambda/4$	$\pi/2$	-0.912	$d^2/2\lambda$	Lord Rayleigh 1891
$\lambda/8$	$\pi/4$	-0.224	$d^2/\lambda$	
$\lambda/16$	$\pi/8$	-0.056	$2d^2/\lambda$	Meritev radijskih signalov

Fraunhoferjev pogoj (Rayleighjeva razdalja)

V primeru enakomerno vzbujane krožne sprejemne odprtine premera

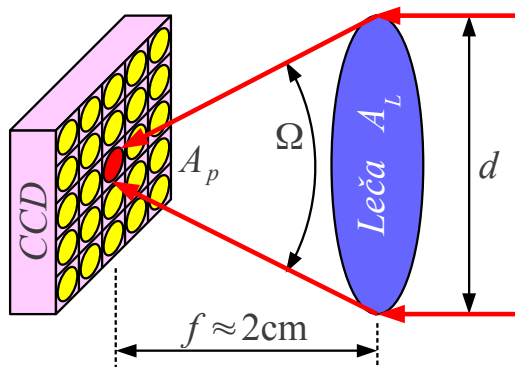
$d$  preprosto izračunamo znižanje sprejete moči  $\Delta P[\text{dB}]$  iz odstopanja faze na robu odprtine. V primeru izračuna globinske ostrine fotoaparata dopuščamo razmeroma velik upad moči  $\Delta P \approx 4\text{dB}$ , kar daje pogoj za razdaljo  $r \geq r_{\text{MIN}} = d^2/4\lambda$ :



$$\Omega \approx \frac{\lambda^2}{A_p} = \frac{\lambda^2}{\pi(d_p/2)^2}$$

$$A_L = \pi(d/2)^2 \approx \Omega f^2$$

$$d_p \approx \frac{4\lambda f}{\pi d}$$



Premer $d$	Razdalja $r_{\text{MIN}}$	Zaslonka $f/d$	Ločljivost $d_p$
1cm	50m	2:1	$1.27 \mu\text{m}$
1mm	0.5m	20:1	$12.7 \mu\text{m}$

Globinska ostrina fotoaparata

$$F(\Theta, \Phi) = A(\Theta, \Phi) e^{j\phi(\Theta, \Phi)}$$

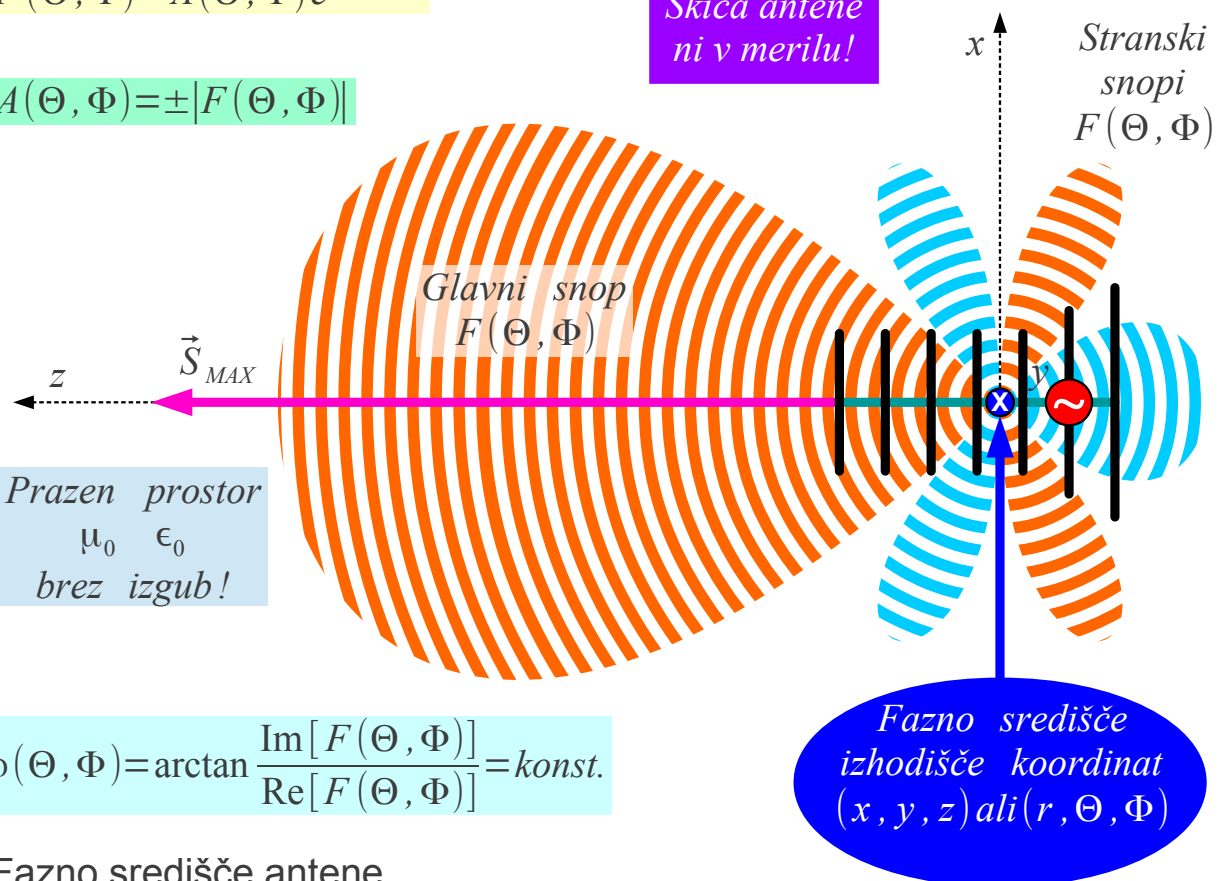
$$A(\Theta, \Phi) = \pm |F(\Theta, \Phi)|$$

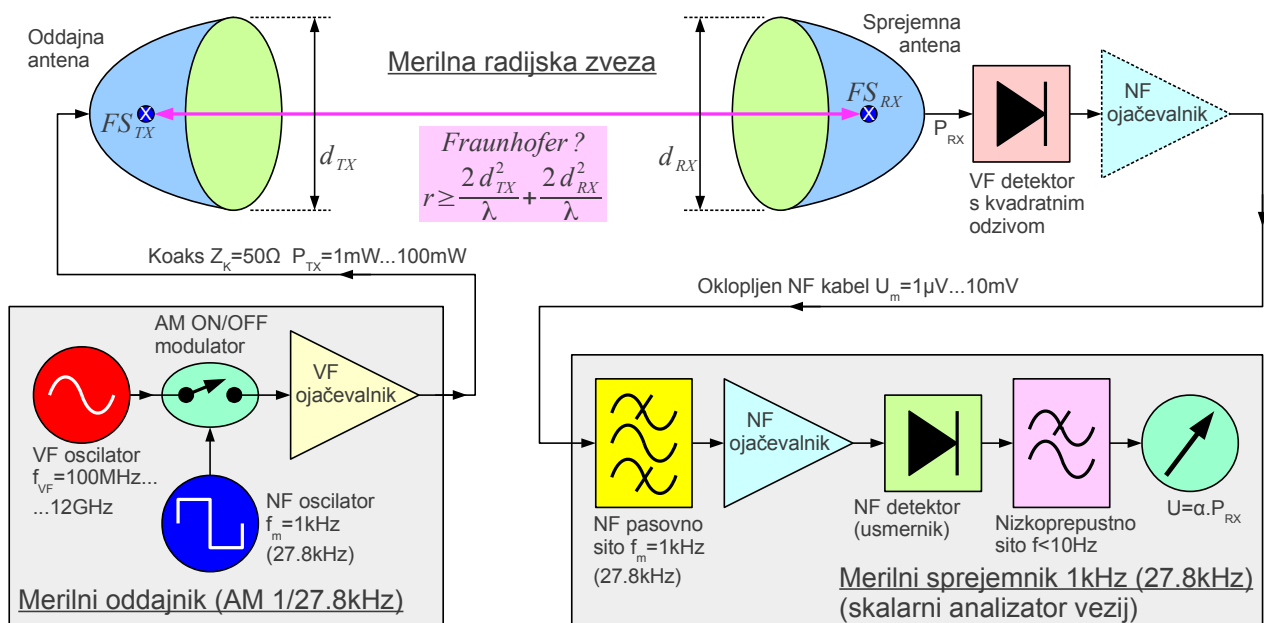
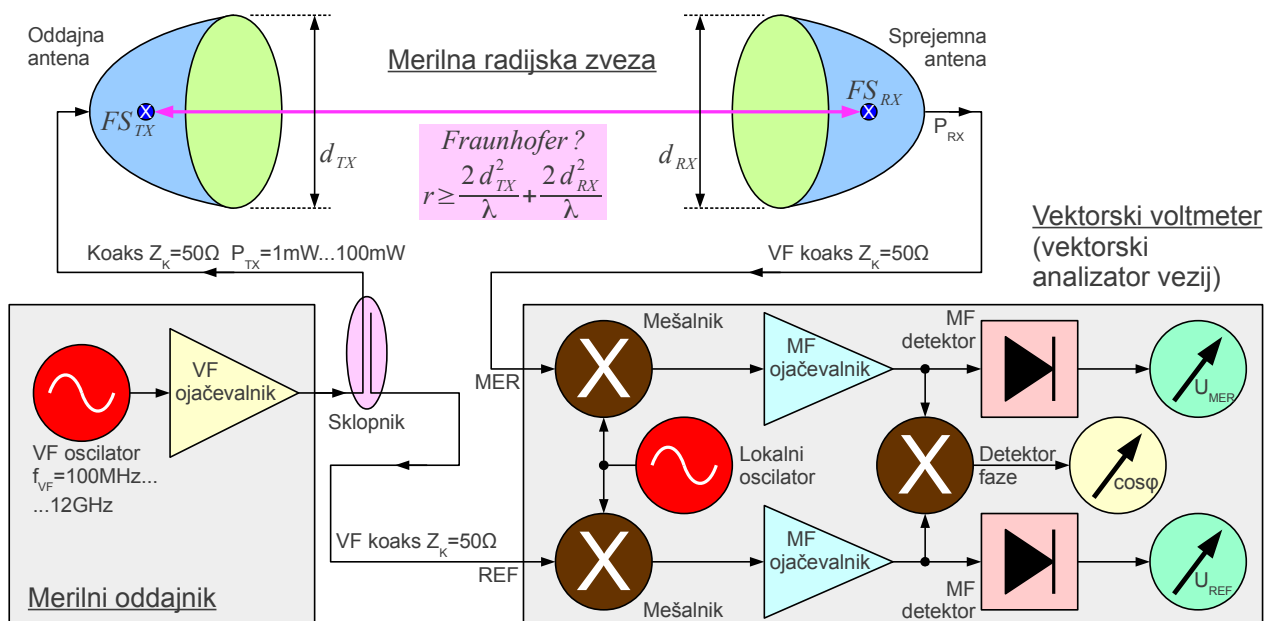
Skica antene  
ni v merilu!

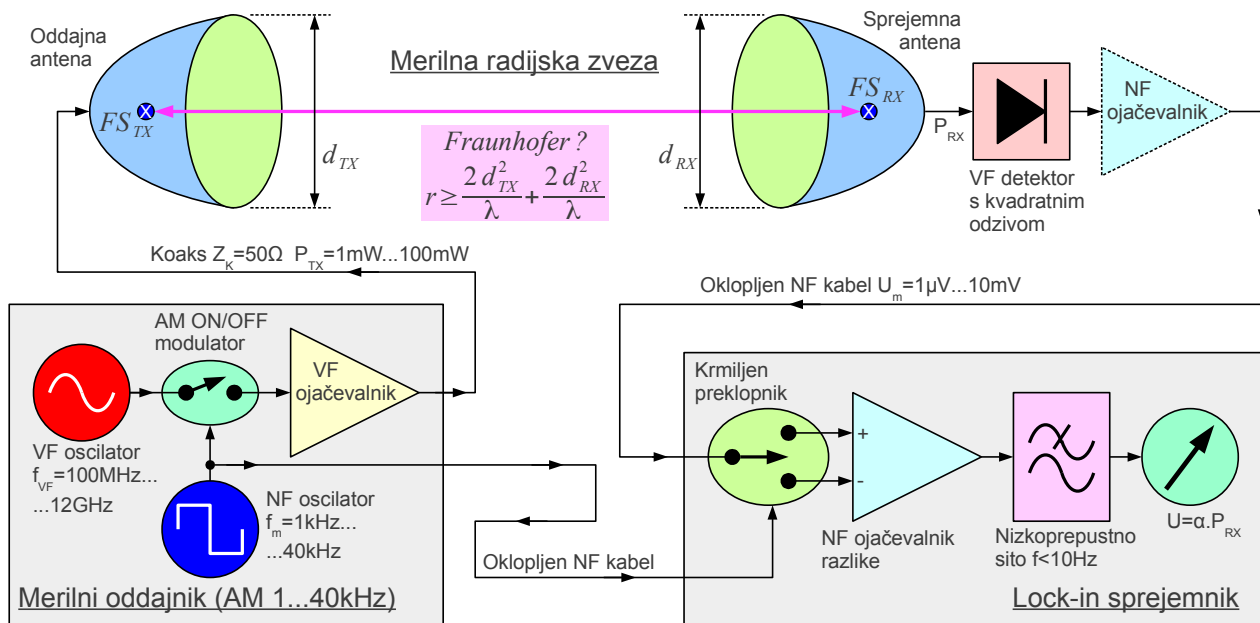
Prazen prostor  
 $\mu_0 \quad \epsilon_0$   
brez izgub!

$$\phi(\Theta, \Phi) = \arctan \frac{\text{Im}[F(\Theta, \Phi)]}{\text{Re}[F(\Theta, \Phi)]} = \text{konst.}$$

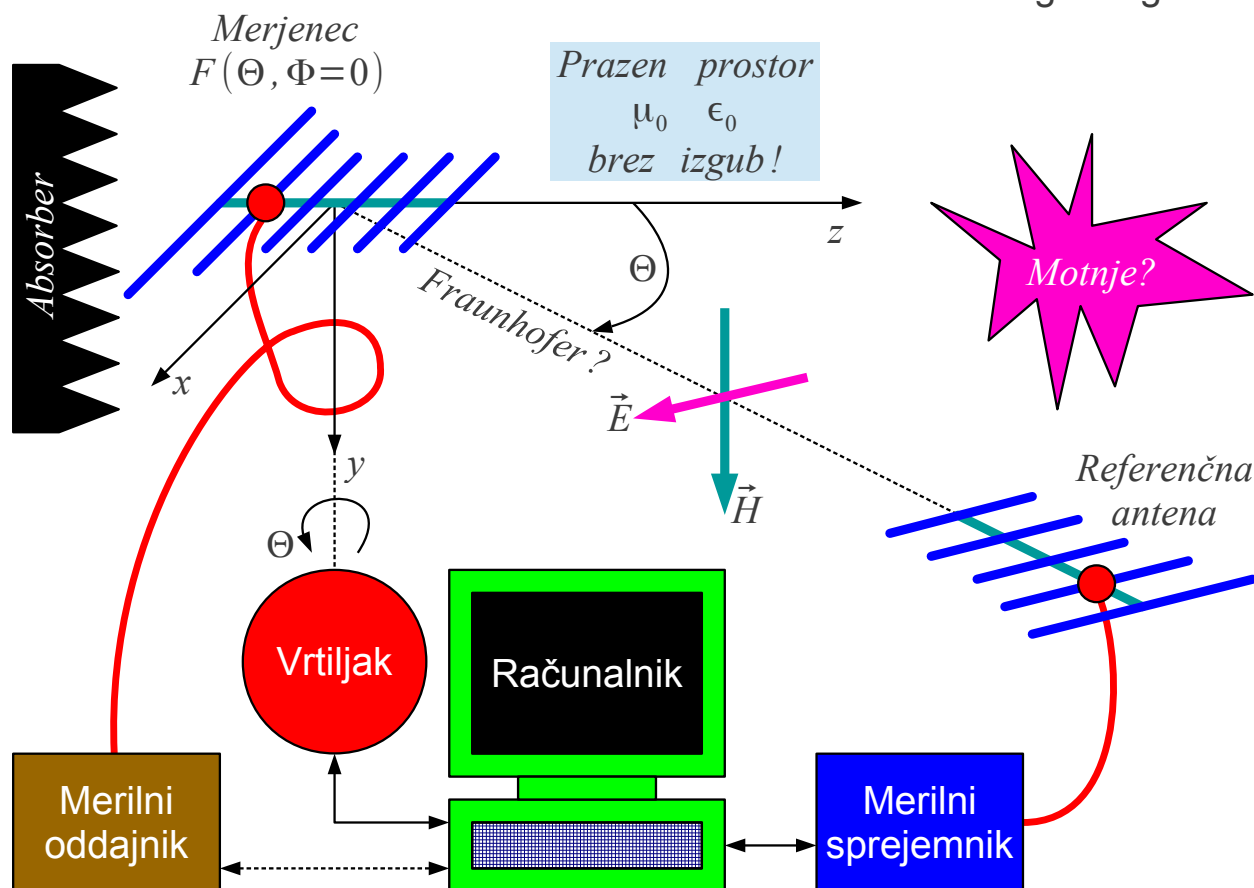
Fazno središče antene



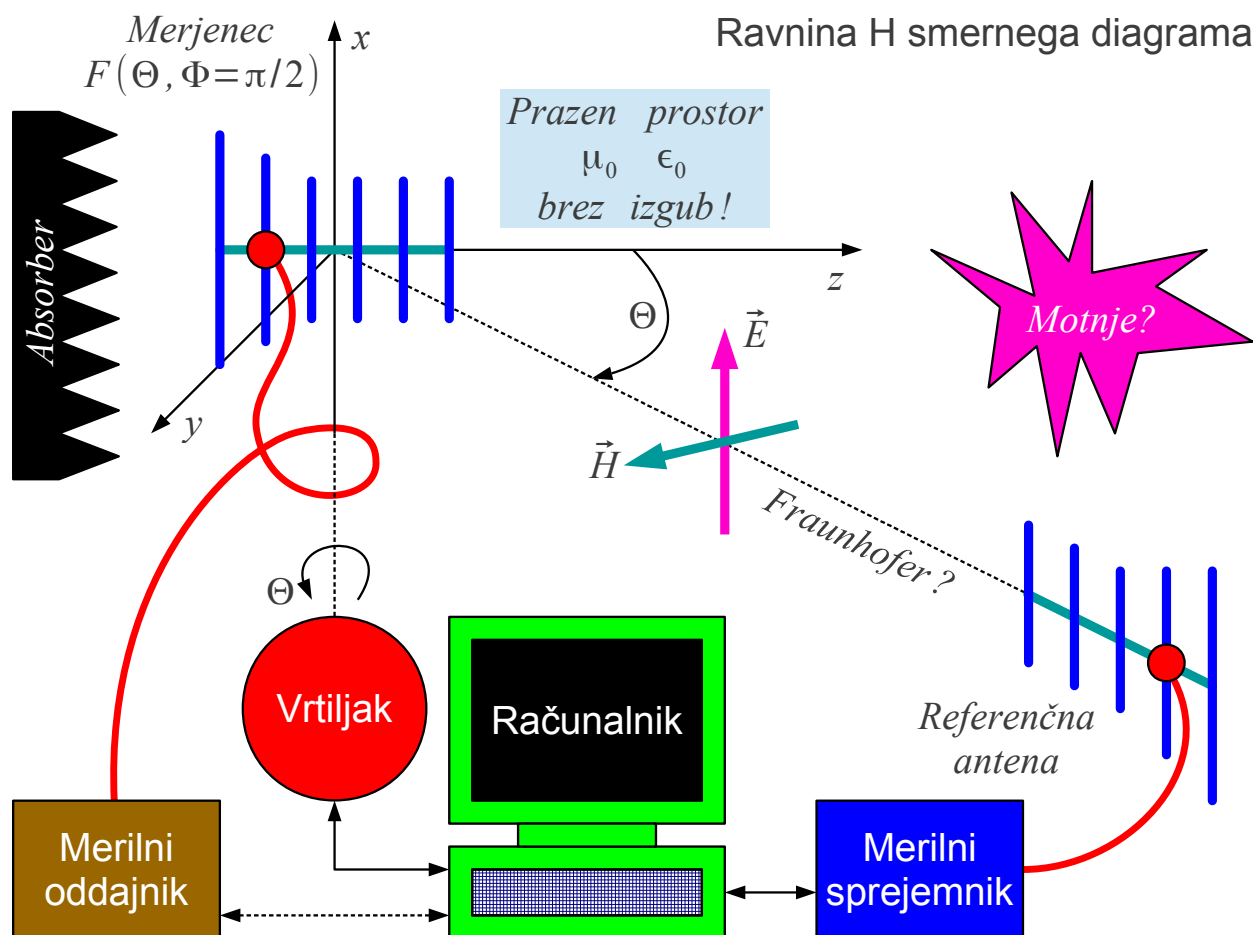




# Ravnina E smernega diagrama







\* \* \* \* \*