

Strokovno izobraževanje

SODOSTOP IN PONOVNNA UPORABA

Matjaž Vidmar

AKOS, Ljubljana, 12.6.2015

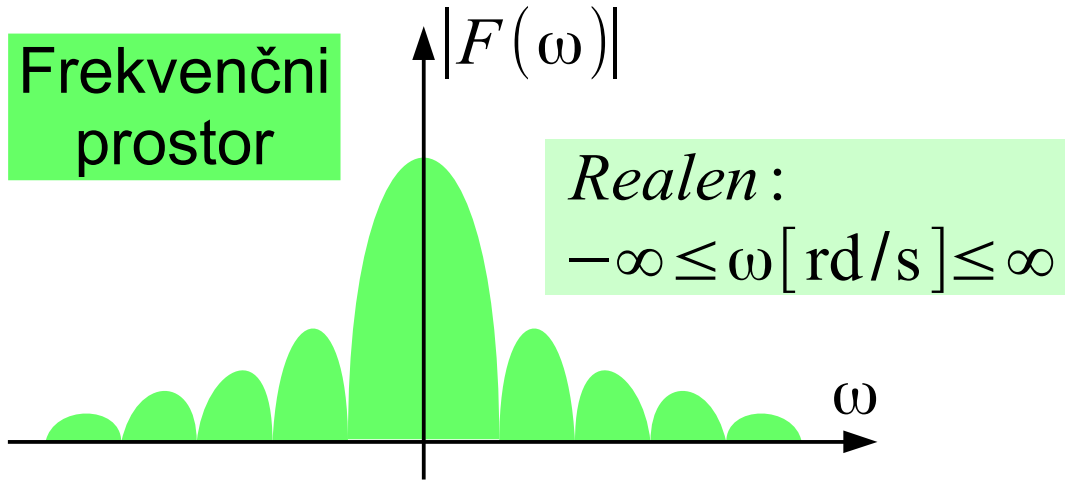
Seznam prosojnic predavanja: SODOSTOP IN PONOVNA UPORABA

- 1 - Frekvenčni in časovni prostor
- 2 - Perioda, valovna dolžina in koherenčna dolžina
- 3 - Frekvenčni in časovni sodostop
- 4 - Radijsko omrežje s skrito postajo
- 5 - Tekmovalni in upravni sodostop
- 6 - Raznolikost kot protiukrep za presih
- 7 - Pogostnost izpada pri nekoreliranem sprejemu
- 8 - MIMO (Multiple-In Multiple-Out)
- 9 - Odpravljanje popačenja večpotja z izravnalnim sitom
- 10 - Razširjeni spekter (Spread spectrum)
- 11 - Kodni sodostop (CDMA)
- 12 - Večtonski modem kot protiukrep za popačenje večpotja
- 13 - Orthogonal Frequency-Division Multiplex (OFDM)
- 14 - Lastnosti OFDM
- 15 - Ponovna uporaba spektra
- 16 - Izbira učinkovite modulacije
- 17 - Povečanje zmogljivosti z usmerjenimi antenami

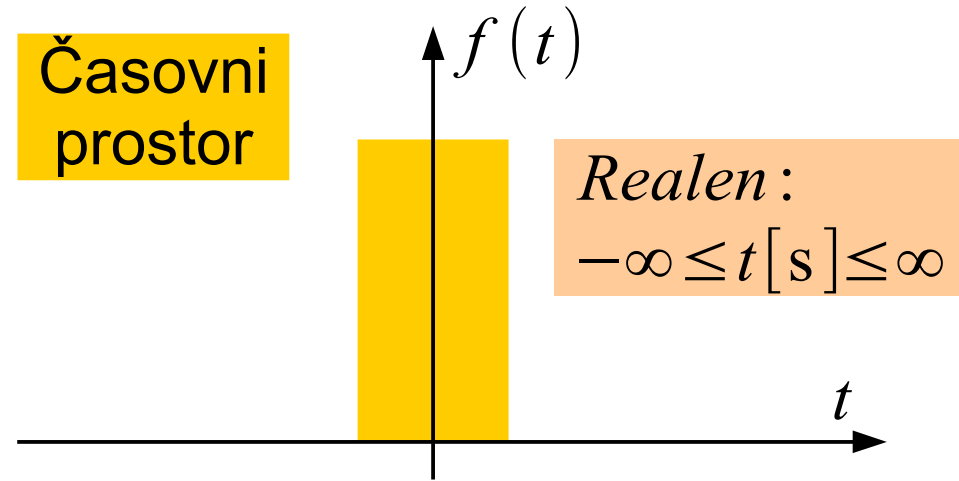
$$F(\omega) = U(\omega), I(\omega), E(\omega) \dots$$

$$f(t) = u(t), i(t), E(t) \dots$$

Frekvenčni prostor



Časovni prostor



$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$



$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

$$F(2\pi f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi f t} dt$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} [\text{Hz}]$$

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(2\pi f) e^{j2\pi f t} df$$

Realen: $f(t) \rightarrow F(\omega) = F(-\omega)^* \rightarrow$ samo pozitivne: $\omega = 2\pi f \geq 0$

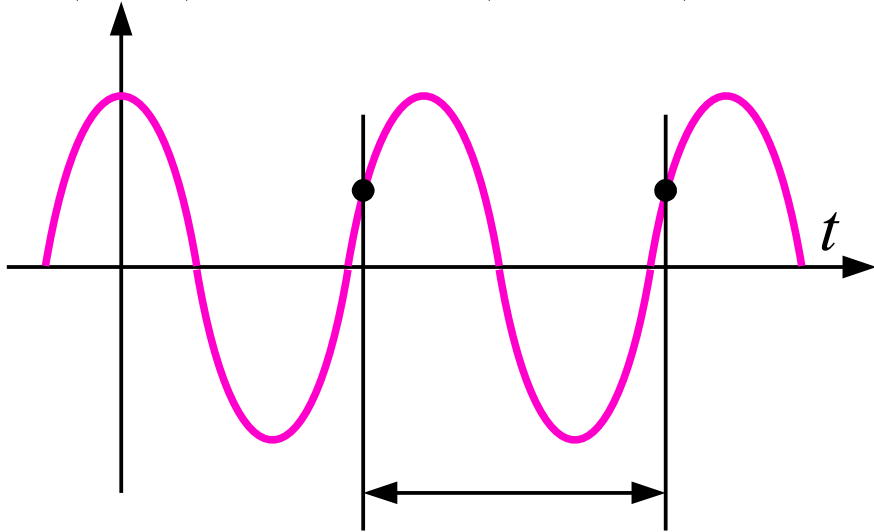
Nedoločенost:

$$\Delta\omega \cdot \Delta t \geq 2\pi \quad \Delta f \cdot \Delta t \geq 1$$

Močnostni spekter:

$$P(\omega) = \alpha |F(\omega)|^2 = \alpha \left| \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \right|^2$$

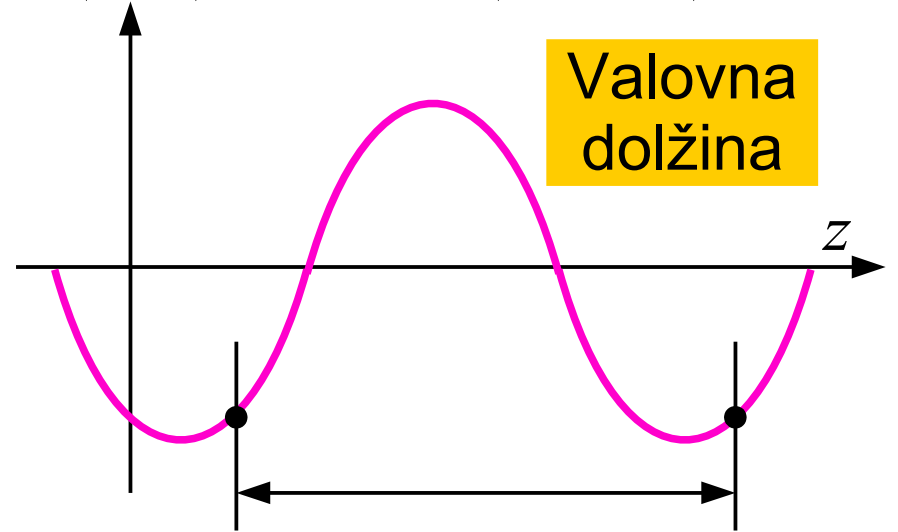
$$u(z, t) = A \cos \omega(t - z/v)$$



Perioda

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f} [\text{s}]$$

$$u(z, t) = A \cos \omega(t - z/v)$$



Valovna dolžina

$$\lambda = \frac{2\pi v}{\omega} = \frac{v}{f} [\text{m}]$$

$$v = \frac{c_0}{n} \rightarrow \lambda = \frac{c_0}{n f}$$

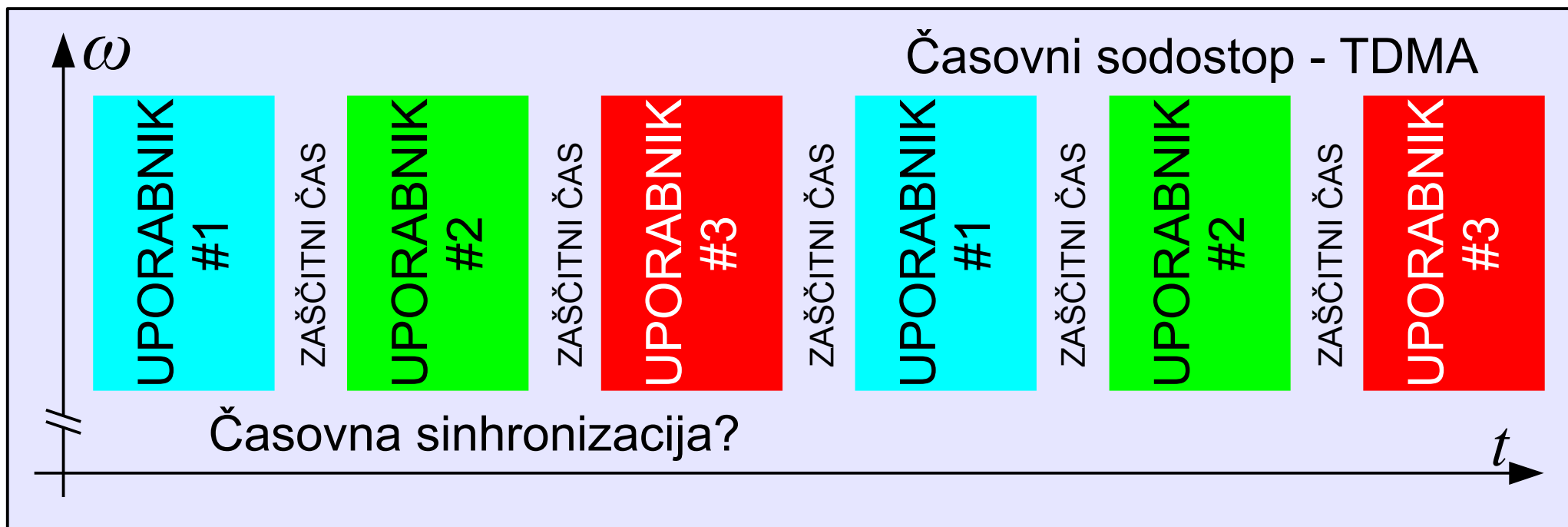
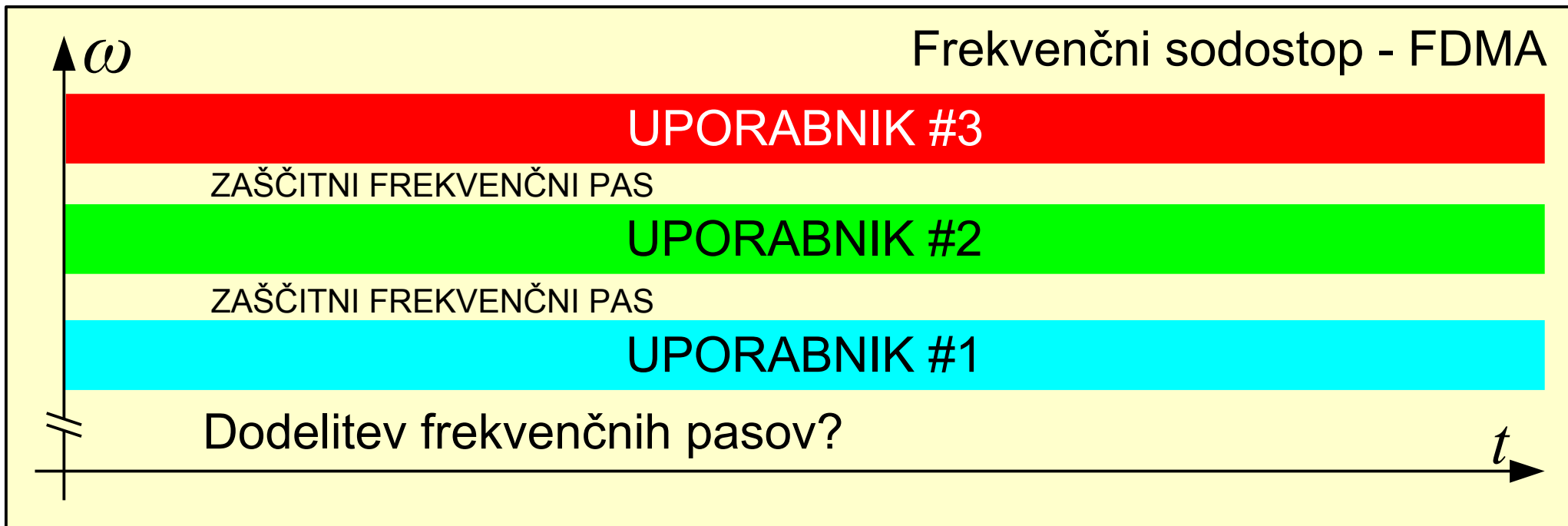
Prazen prostor: $\lambda_0 = \frac{c_0}{f}$ $c_0 = 299792458 \text{ m/s}$

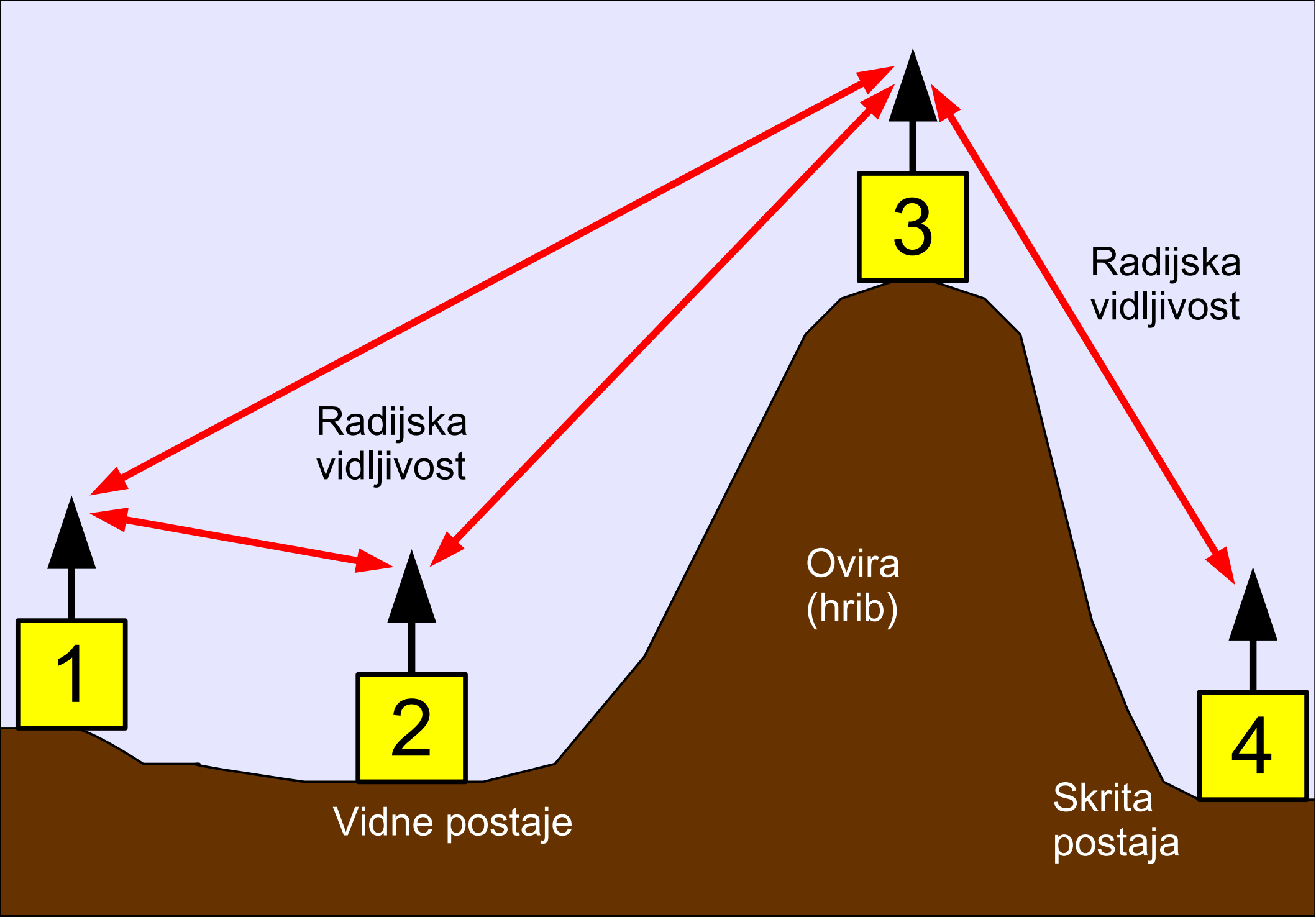
$$\frac{d\lambda}{df} = -\frac{c_0}{n f^2} \rightarrow \text{Pasovna širina: } \Delta\lambda = \frac{c_0}{n f^2} \Delta f \quad \Delta f = \frac{c_0}{n \lambda^2} \Delta\lambda$$

$$\text{Vzdolžna koherenčna dolžina: } d = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda_0} = \frac{c_0}{\Delta f} [\text{m}]$$

$v = ?$ $n = ?$
 λ se ne uporablja!

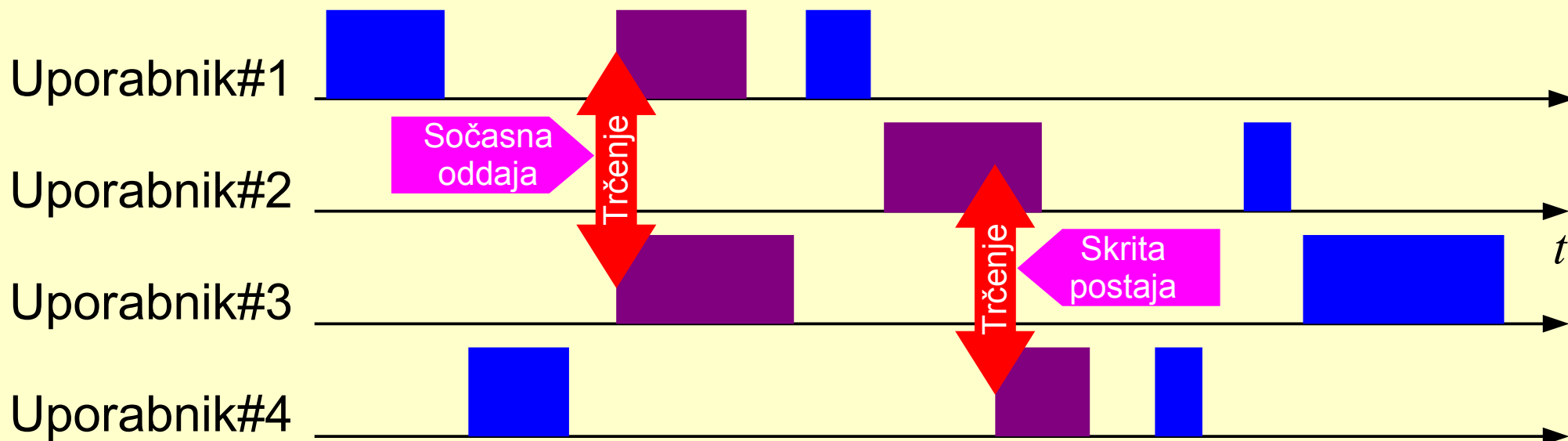
2 - Perioda, valovna dolžina in koherenčna dolžina



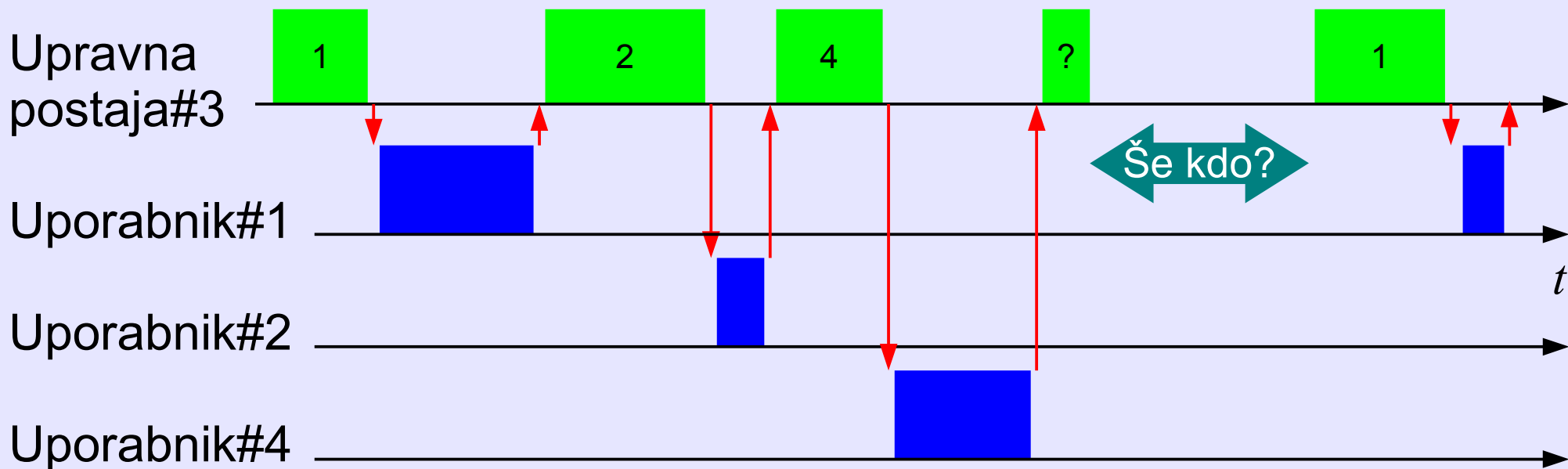


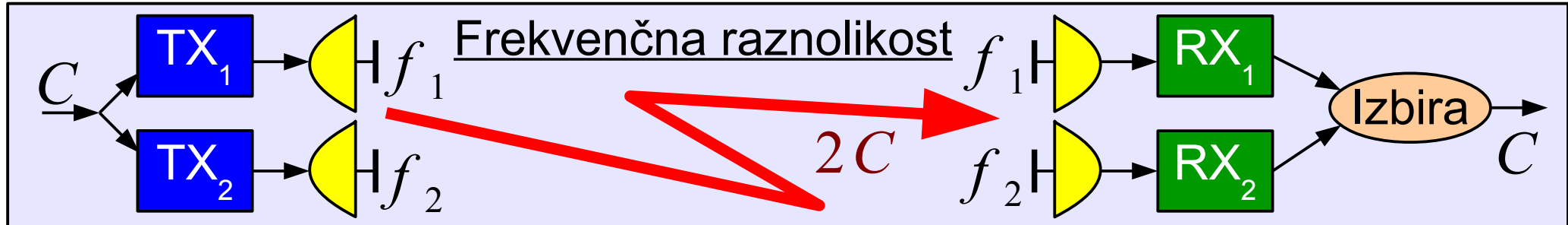
4 - Radijsko omrežje s skrito postajo

Tekmovalni sodostop → izgube trčenj (Aloha)

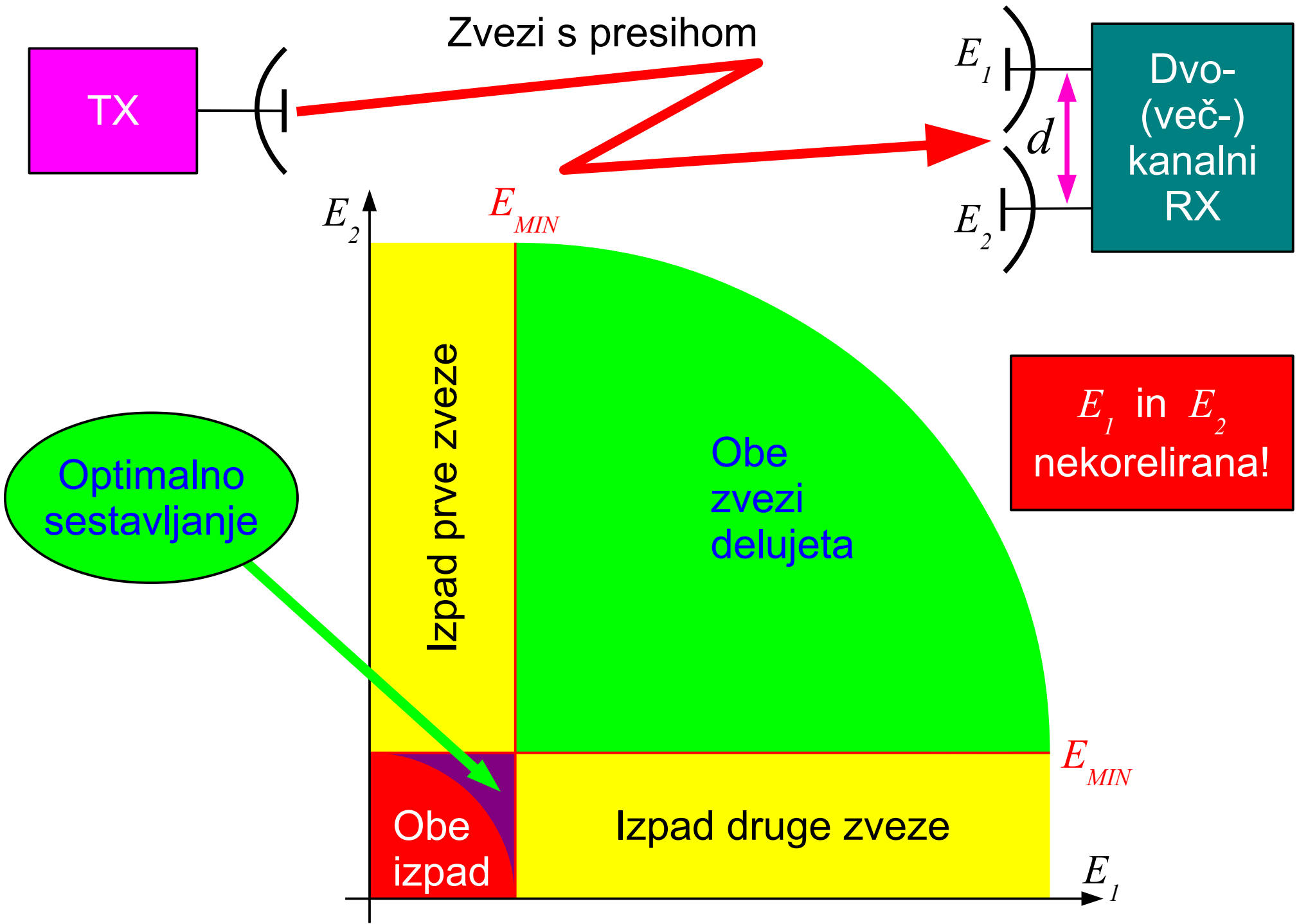


Upravni sodostop → (samo) upravna postaja?

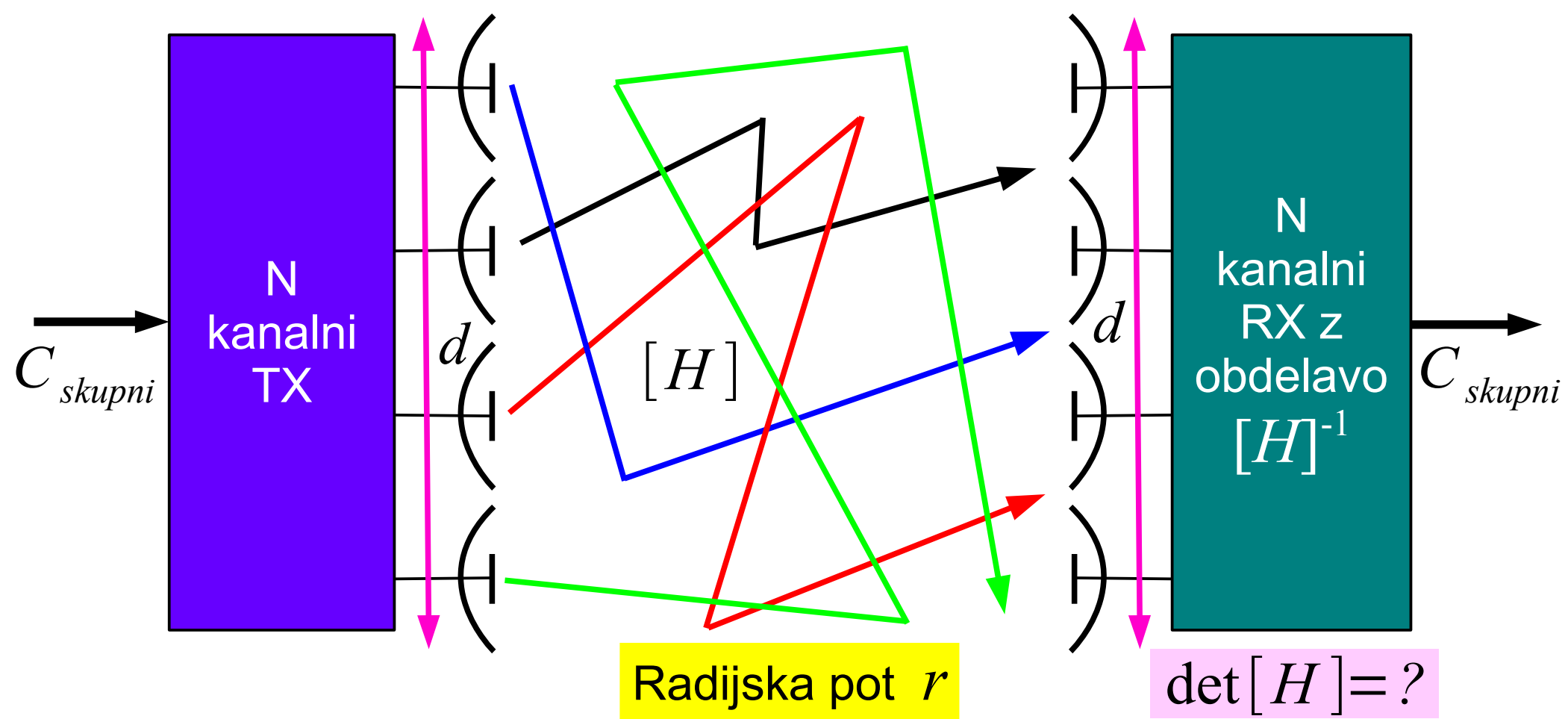




6 - Raznolikost kot protiukrep za presih



7 - Pogostnost izpada pri nekoreliranem sprejemu



Koristna uporaba večpotja! $C_{skupni} = N \cdot C_{kanala} = N \cdot B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right)$

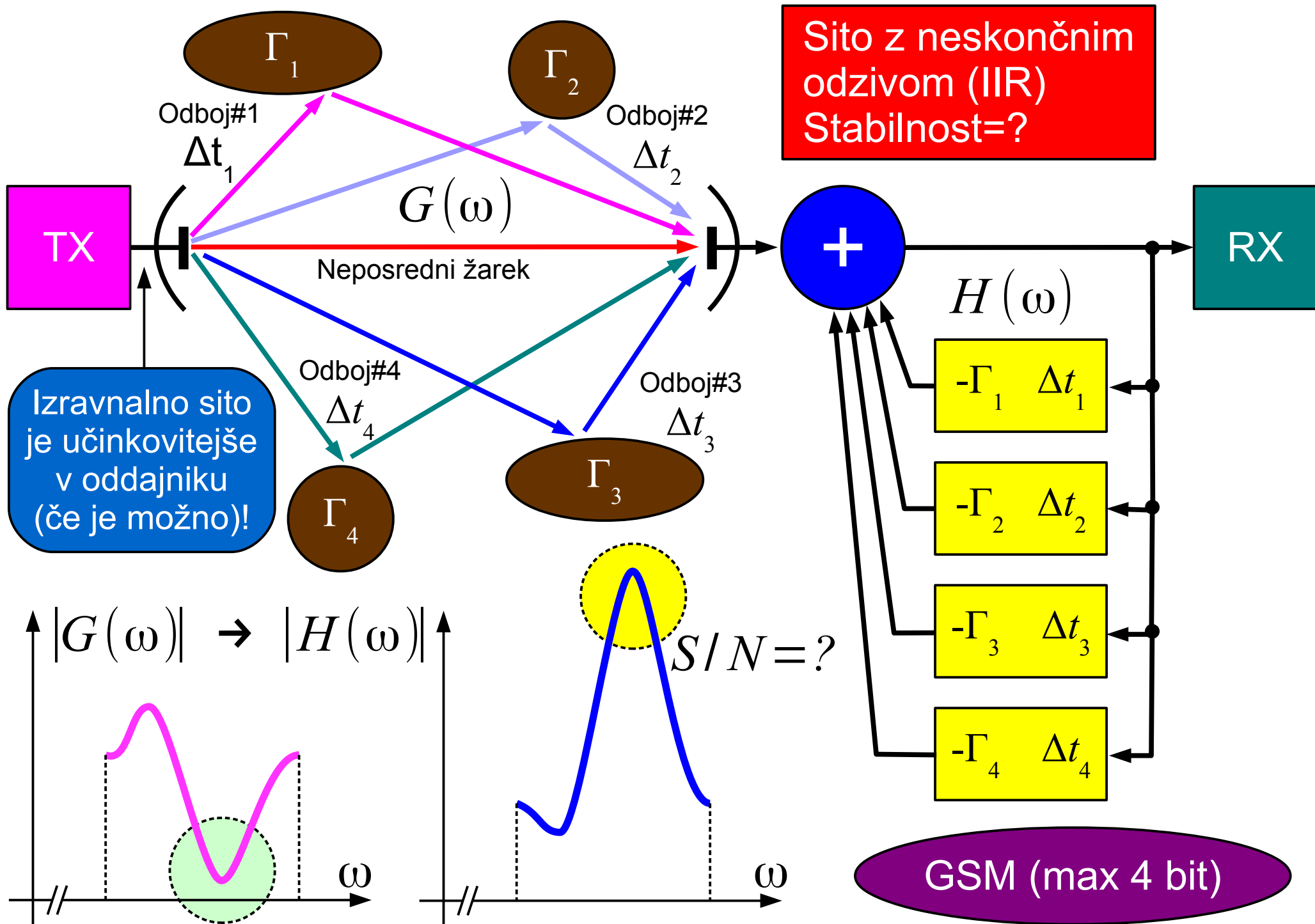
(+) visoka spektralna učinkovitost: $C/B \approx 10$ bit

(-) zahteva N oddajnih anten in N sprejemnih anten

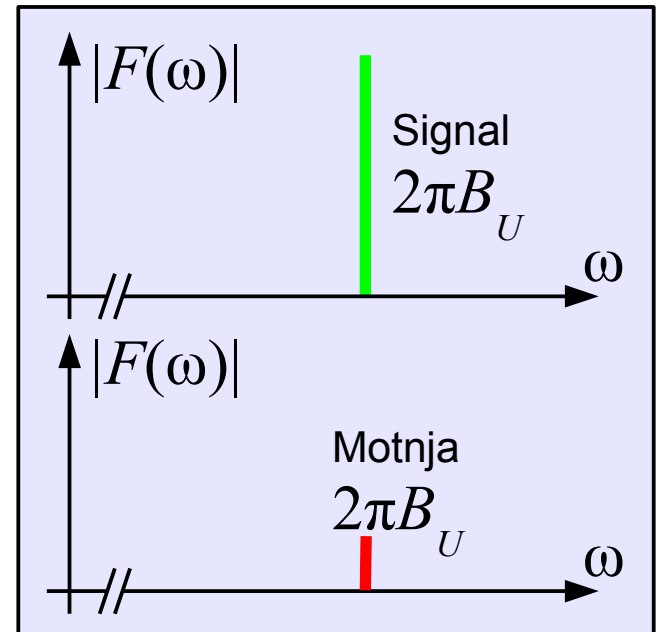
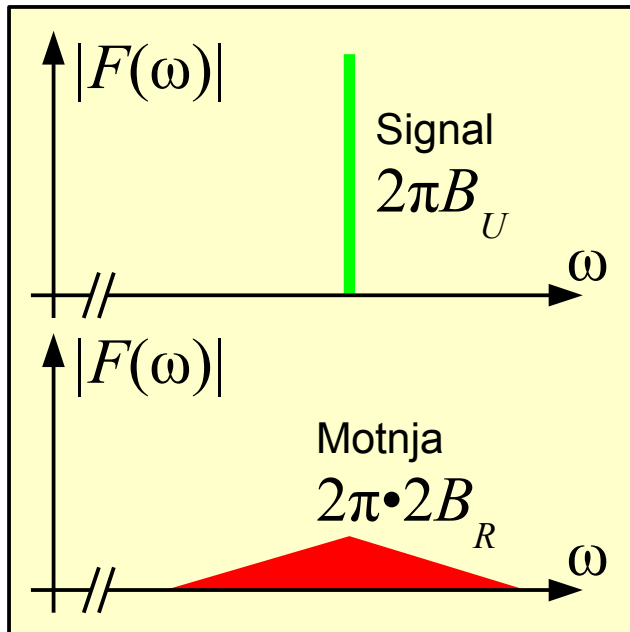
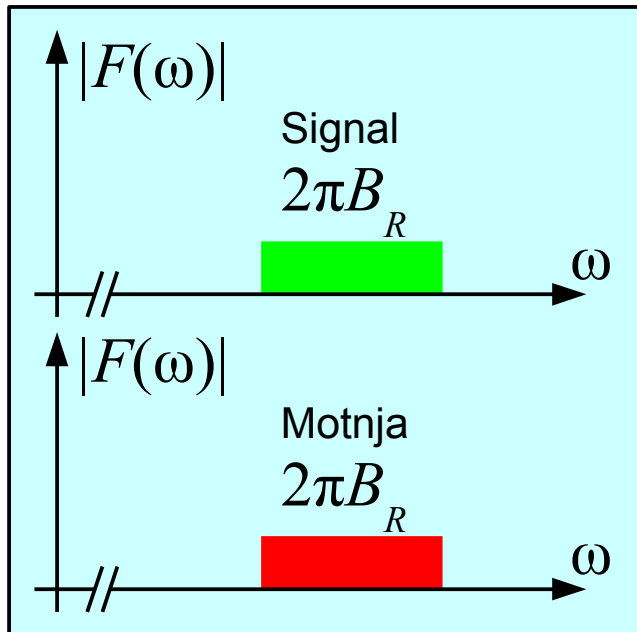
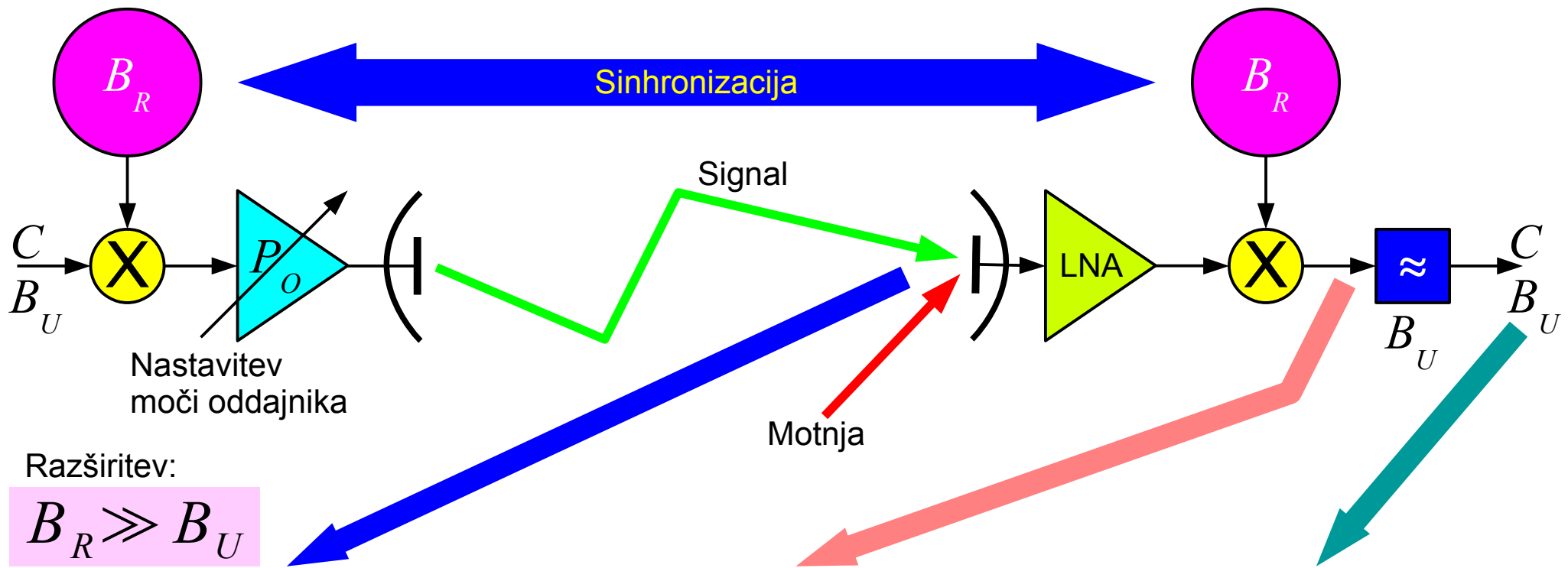
(+) preprosta rešitev MIMO 2x2: uporaba obeh polarizacij

(-) več kot dve polarizaciji $\det[H] \neq 0$ le na kratkih poteh $r \approx 2d^2/\lambda$

8 - MIMO (Multiple-In Multiple-Out)



9 - Odpravljanje popačenja večpotja z izravnalnim sitom



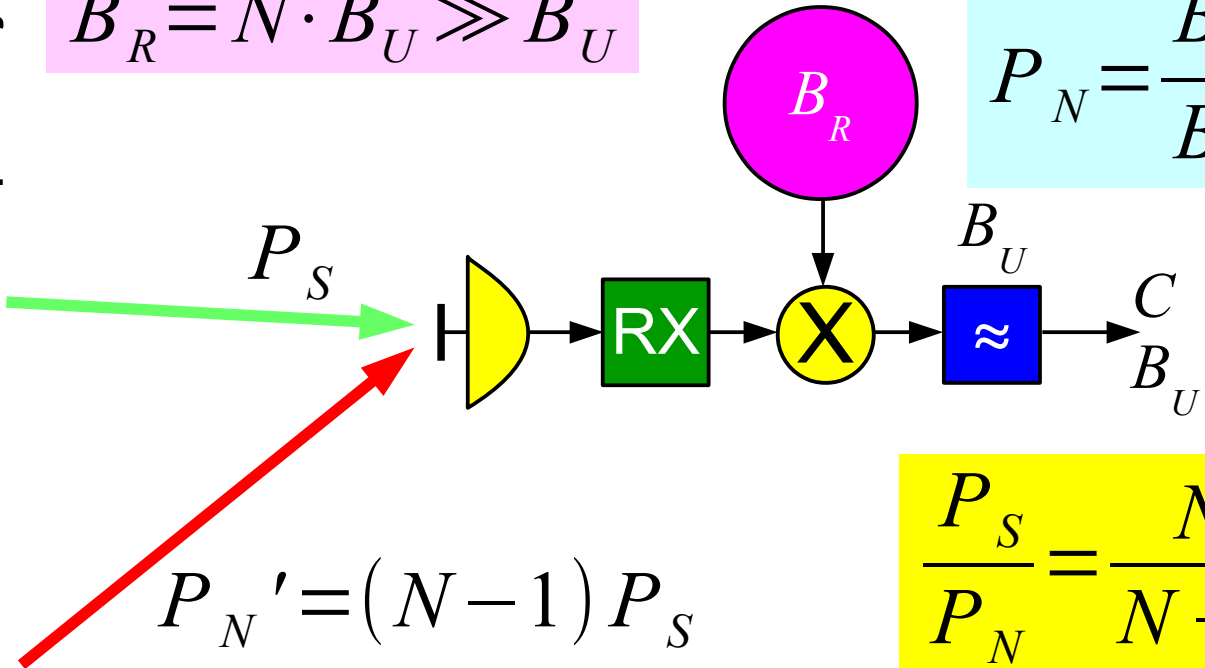
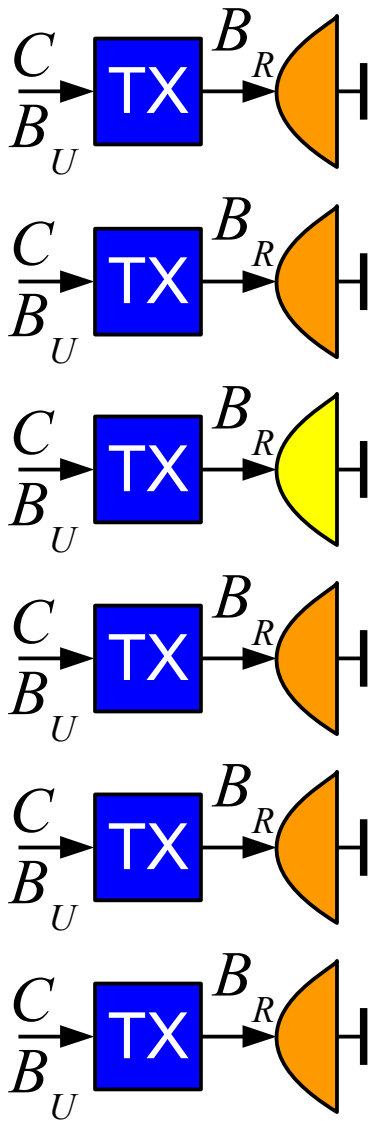
10 - Razširjeni spekter (Spread spectrum)

Odpornost na presih: $B_R \geq \Delta f$ večpotja

$$B_R = N \cdot B_U \gg B_U$$

$$P_N = \frac{B_U}{B_R} P_N'$$

N oddajnikov (uporabnikov)
različna razširitvena zaporedja



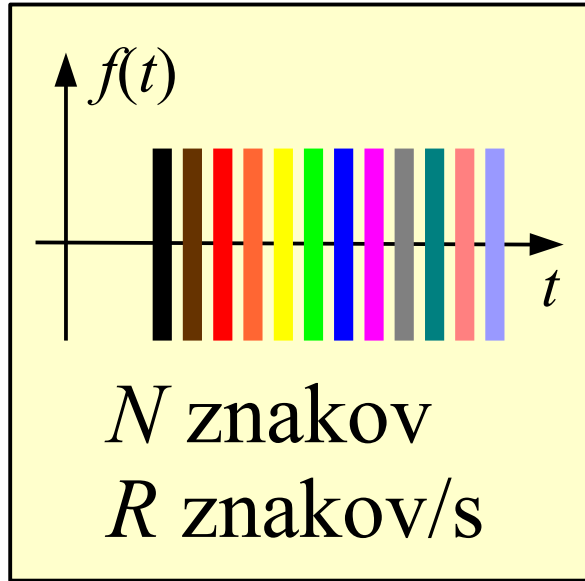
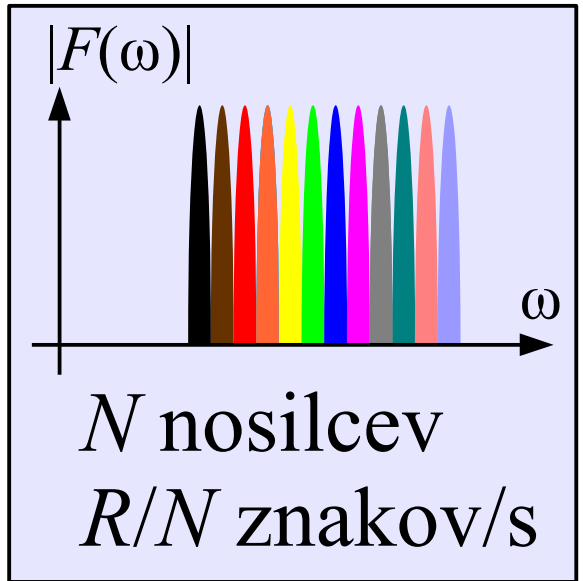
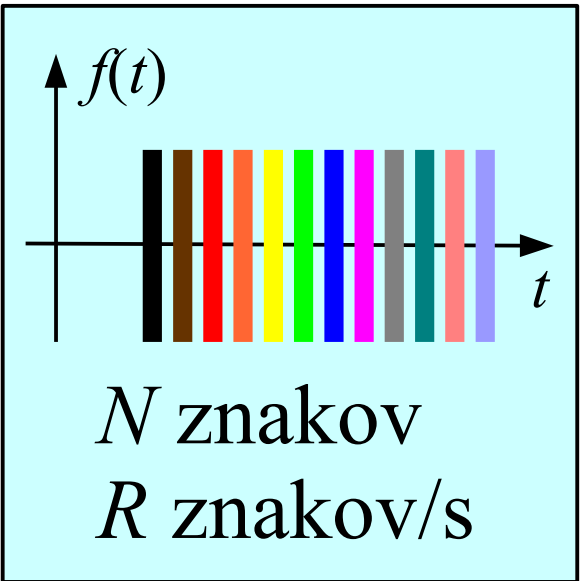
$$P_N' = (N - 1) P_S$$

$$\frac{P_S}{P_N} = \frac{N}{N - 1} \approx 1$$

UMTS
 $\Delta f_{\text{večpotja}} \approx 1.5 \text{ MHz}$
 $B_R = 5 \text{ MHz}$

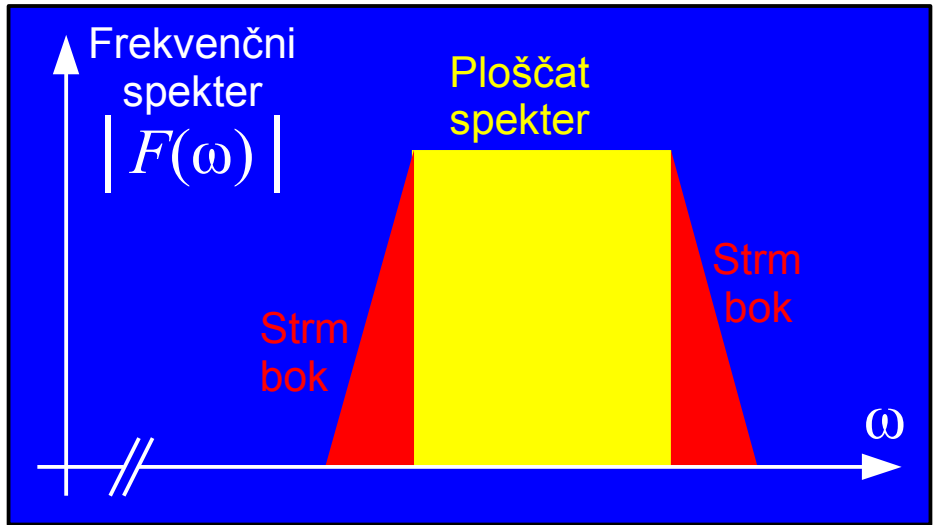
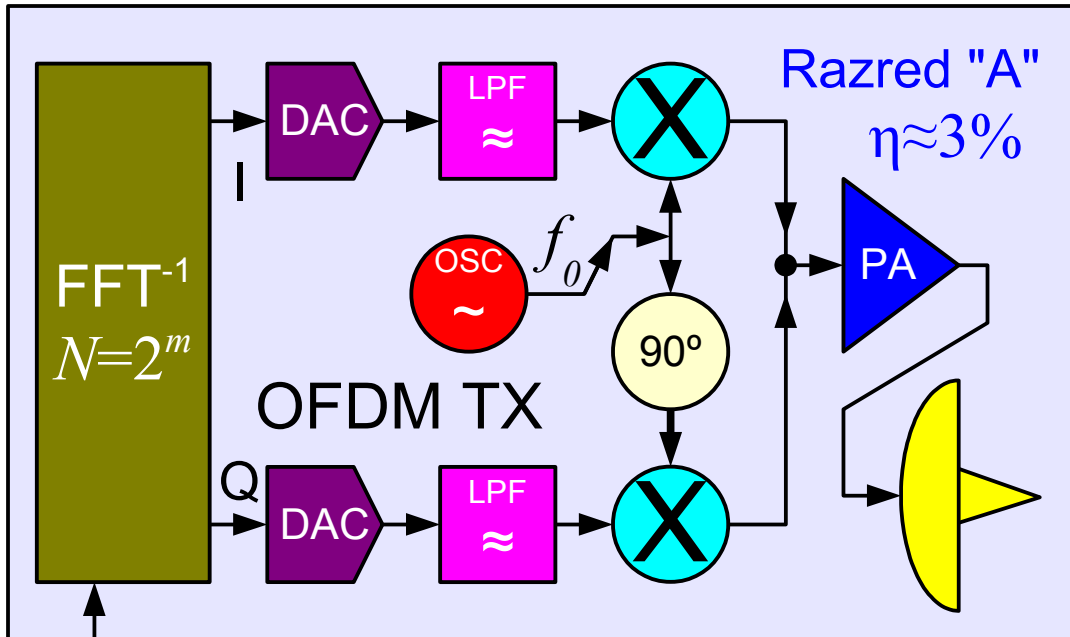
Odporen na presih
Koristno izrablja večpotje
FEC je del B_R
Omogoča kodni sodostop CDMA

Natančno uravnavanje moči vseh oddajnikov
Zelo zahtevna sinhronizacija
Zahteva močen FEC
Nizka spektralna učinkovitost $C/B \approx 1 \text{ bit}$



~1950 analogni večtonski modem za ionosferske zveze
 ~2000 številski DFT → OFDM WLAN (WiFi) 802.11a (FFT)

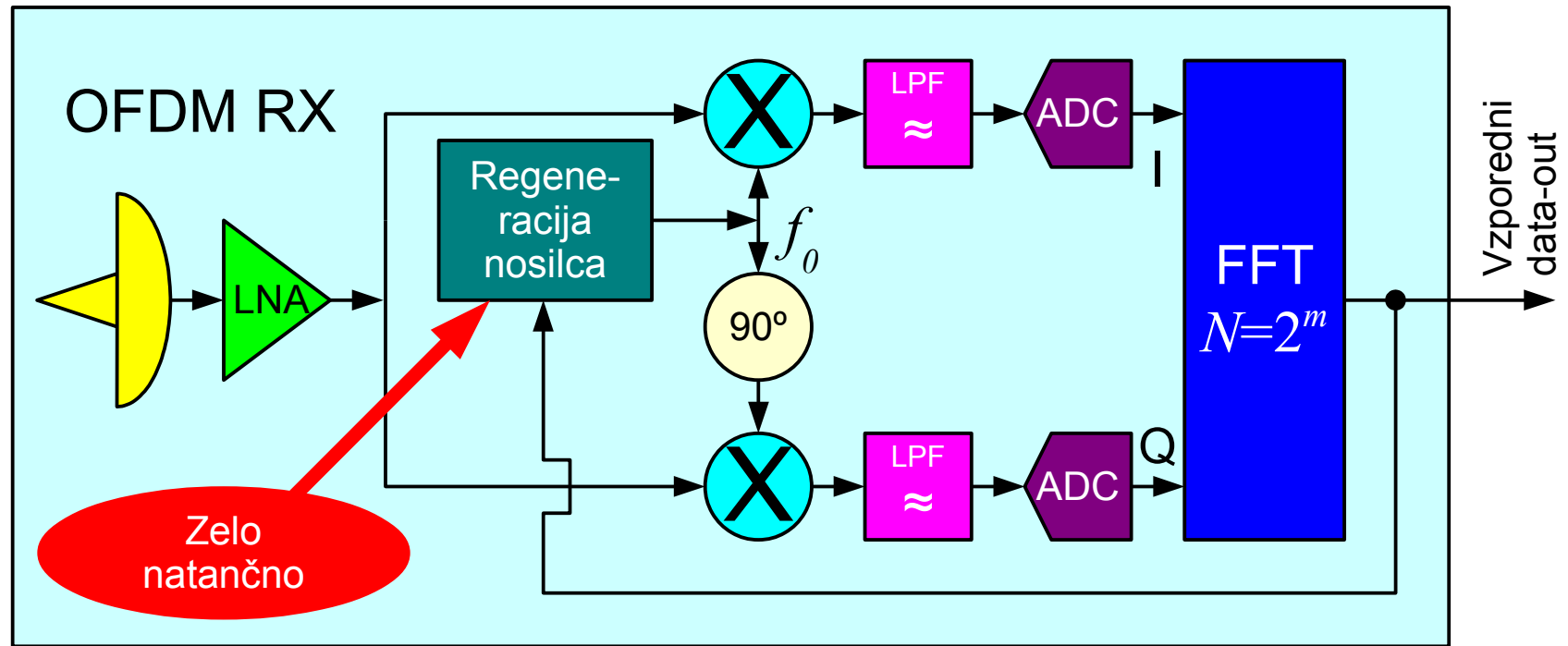
12 - Večtonski modem kot protiukrep za popačenje večpotja



Neobčutljiv na večpotje

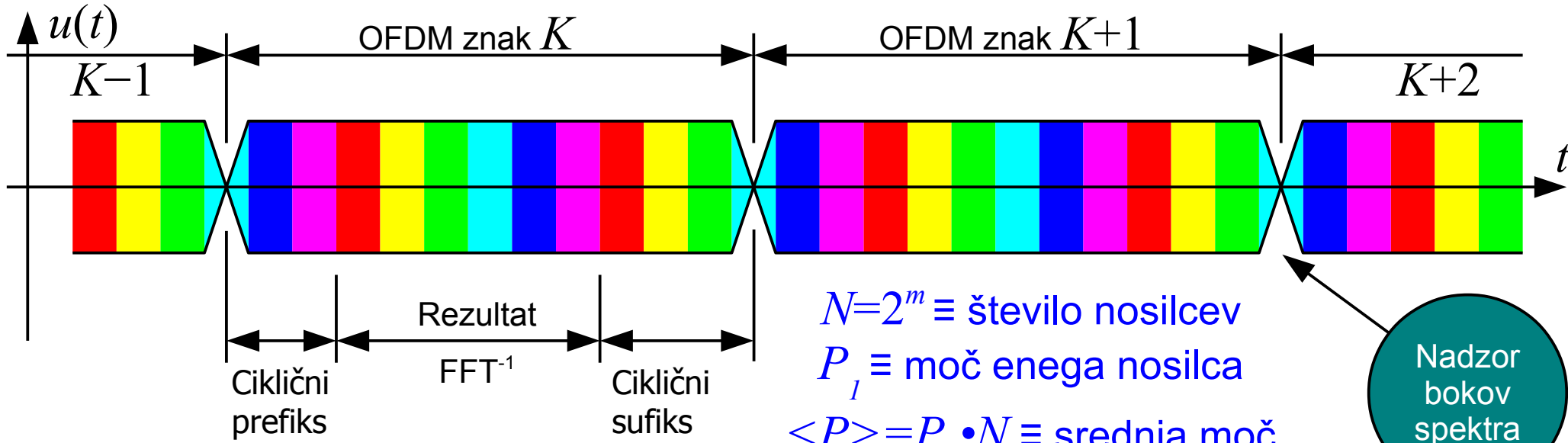
Vzporedni data-in:
BPSK, QPSK,
QAM znaki

WiFi
DVB-T
LTE



Zelo natančno

13 - Orthogonal Frequency-Division Multiplex (OFDM)

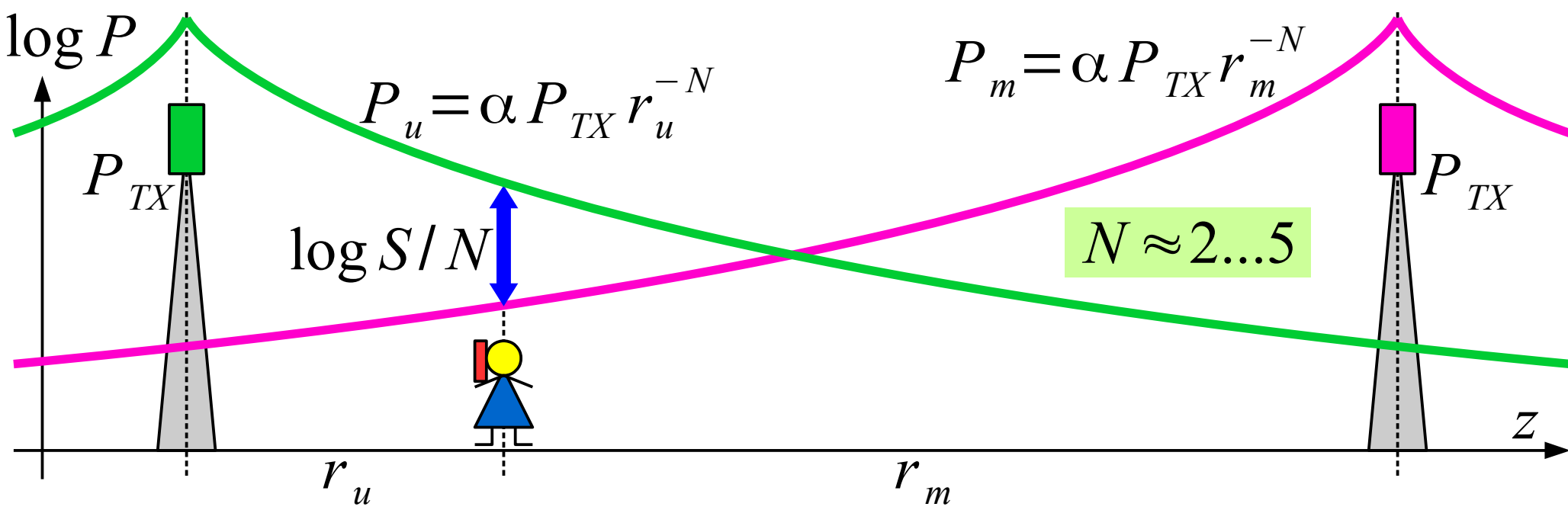


$$t_{prefiks} + t_{sufiks} \geq \Delta t_{večpotja}$$

$N=2^m \equiv$ število nosilcev
 $P_I \equiv$ moč enega nosilca
 $\langle P \rangle = P_I \cdot N \equiv$ srednja moč
 $P_{MAX} = P_I \cdot N^2 \equiv$ vršna moč

- Nastavljiva odpornost na $\Delta t_{večpotja}$
- Skoraj pravokoten frekvenčni spekter
- Zadošča šibek FEC
- Spektralni izkoristek C/B dosega teoretske vrednosti BPSK, QPSK, QAM
- Omogoča enofrekvenčna omrežja SFN (Single-Frequency Network)

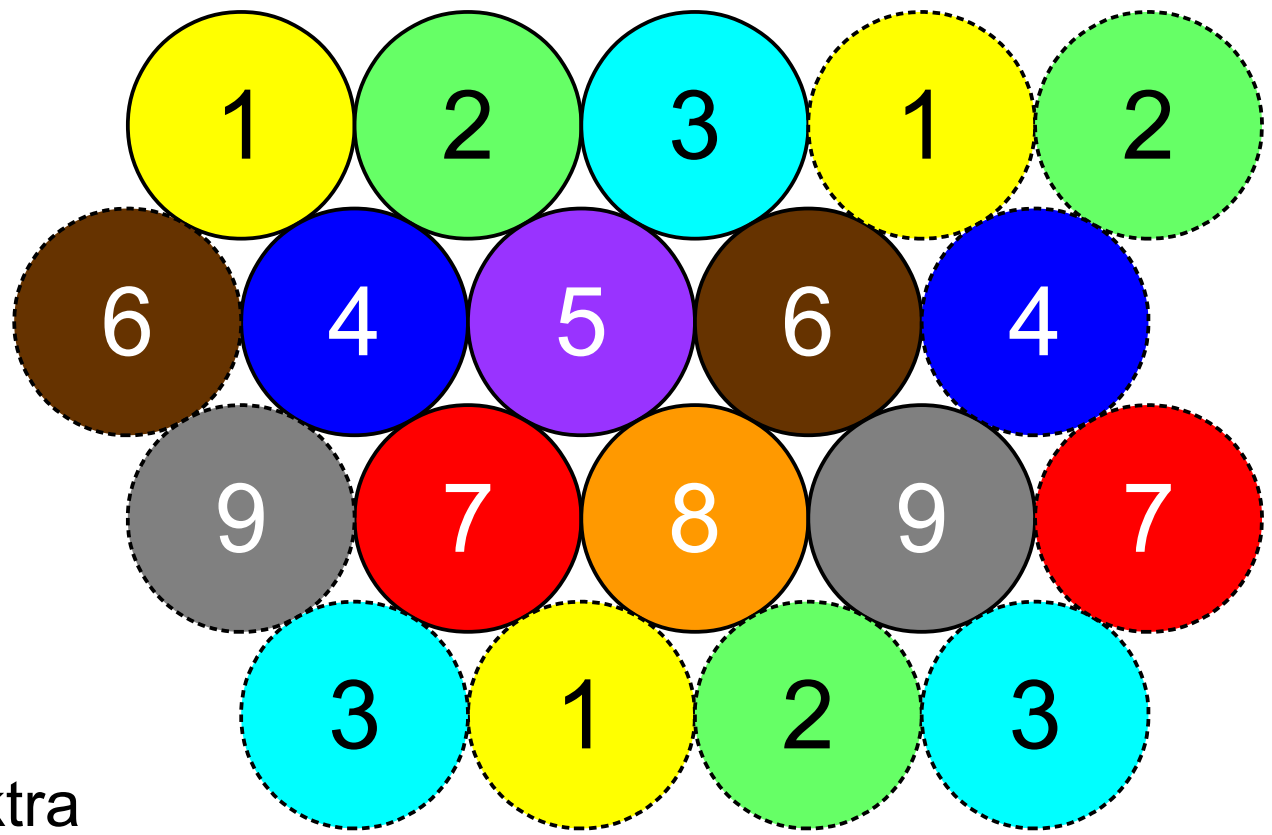
- Visoko razmerje $P_{MAX} / \langle P \rangle = N$ pogojuje slab izkoristek oddajnika $\eta \approx 3\%$
- FFT zahteva $N \cdot \log_2 N$ računskih operacij
- Ozkopasovni nosilci zahtevajo visoko frekvenčno stabilnost $\Delta f \leq 10\% R/N$
- Preveliki znaki ~ 12000 bit ($N \approx 2000$, $C/B \approx 6$ bit) za nekatere protokole
- Ozkopasovne motnje rušijo sinhronizacijo



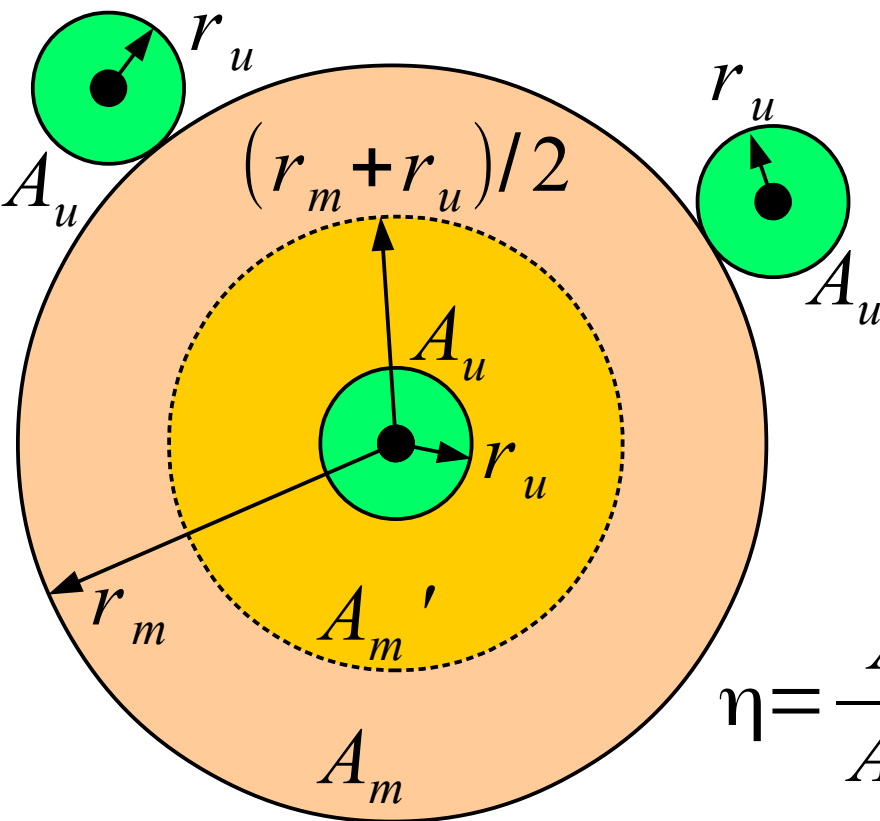
$$S/N = \frac{P_u}{P_m} = \left(\frac{r_m}{r_u} \right)^N$$

Primer: $N = 4$
 $S/N = 28\text{dB} = 625$
z rezervo presiha!

$$r_m = r_u \sqrt[N]{S/N} \approx 5 r_u$$



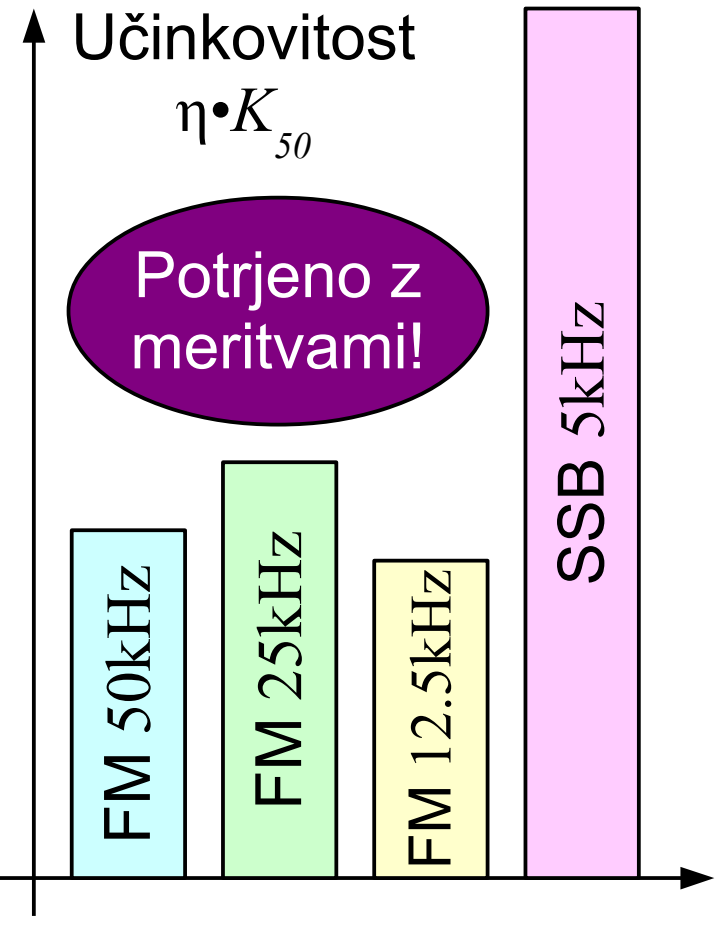
Modulacija	K_{50}	Koleb Δf	$m = \Delta f / B_u$	$3m^2$	r_m / r_u	η	$\eta \cdot K_{50}$	Ocena
FM 50kHz	1	$\pm 15\text{kHz}$	5	75	1.08	0.929	0.929	FM prag?
FM 25kHz	2	$\pm 6\text{kHz}$	2	12	1.70	0.549	1.098	Dober!
FM 12.5kHz	4	$\pm 1.5\text{kHz}$	0.5	0.75	3.40	0.207	0.827	Slab!
SSB 5kHz	10	$B_R = B_u = 3\text{kHz}$		1	3.16	0.231	2.309	Presluh?



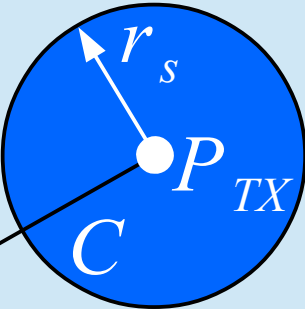
Primer:
 $N = 4$
 $S/N = 100$

$$\frac{r_m}{r_u} = N \sqrt{\frac{S/N}{3m^2}}$$

$$\eta = \frac{A_u}{A_m'} = \left(\frac{2}{1 + \frac{r_m}{r_u}} \right)^2$$



Motnje
neusmerjenega
oddajnika

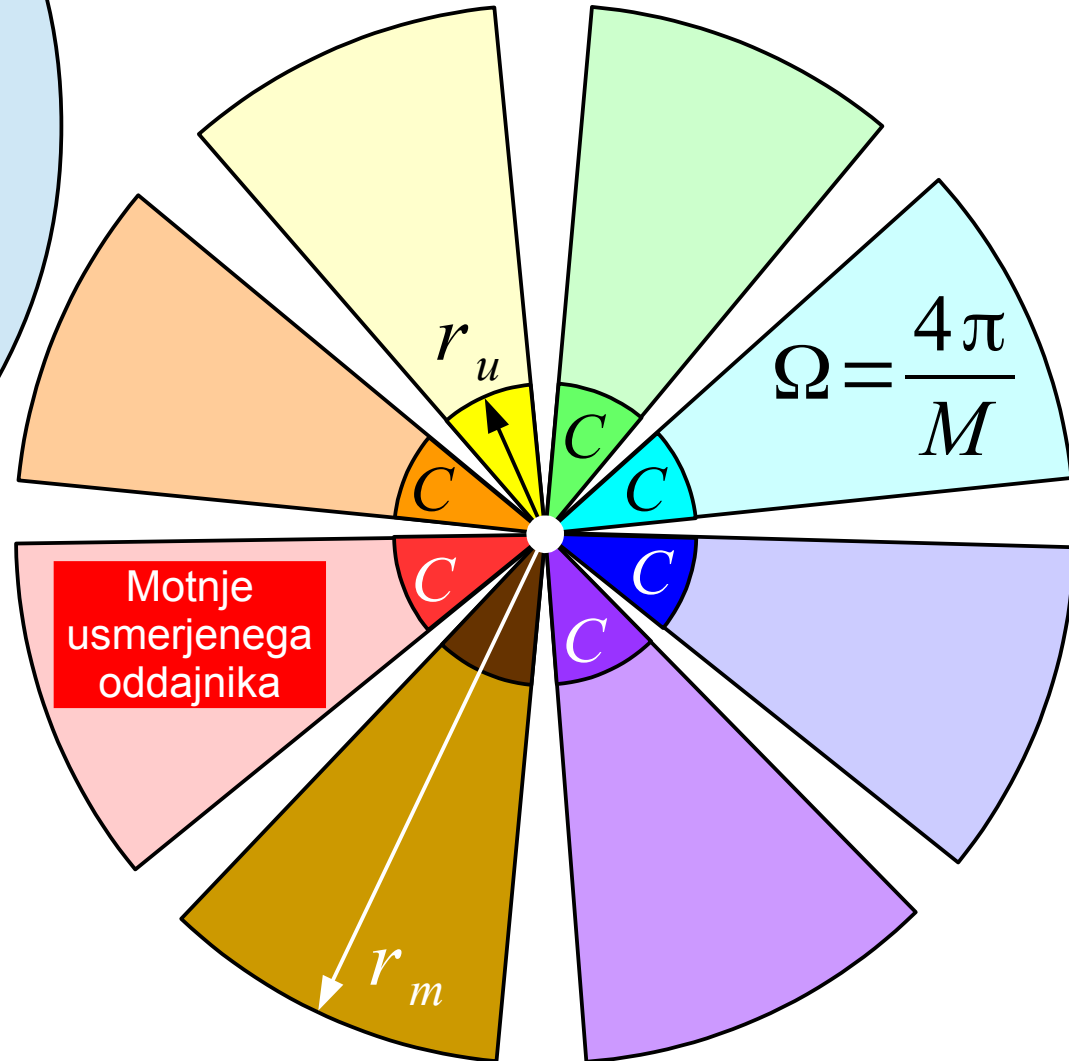


$$\Omega = 4\pi$$

Uporaba
usmerjenih
anten:

$$D = \frac{4\pi}{\Omega} = M$$

$$\sum C = M C$$



Motnje
usmerjenega
oddajnika

Omejitev *EIRP* je škodljiva!

Smiselna je omejitev $\sum P_{TX}$