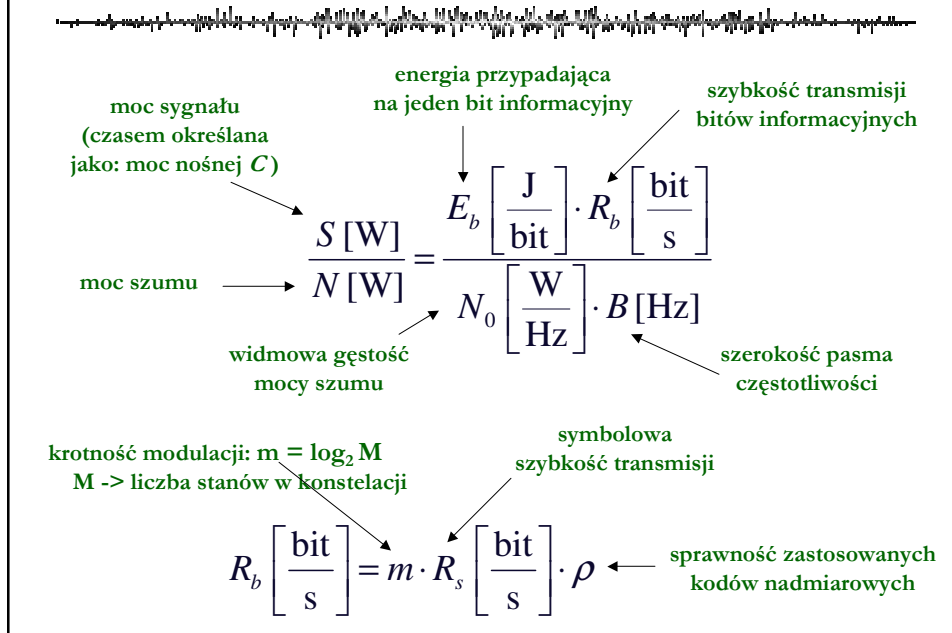
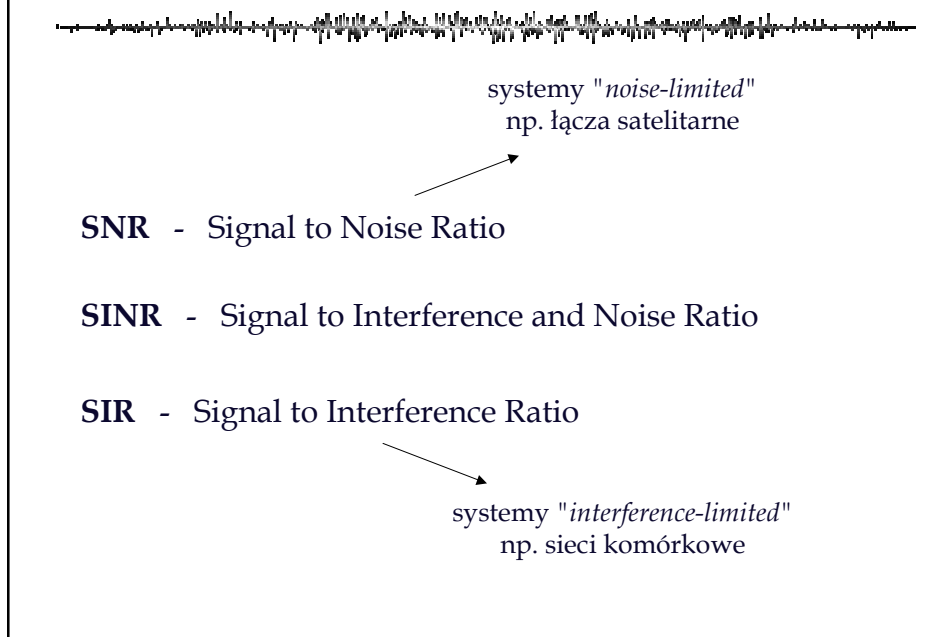


SNR i E_b/N_0



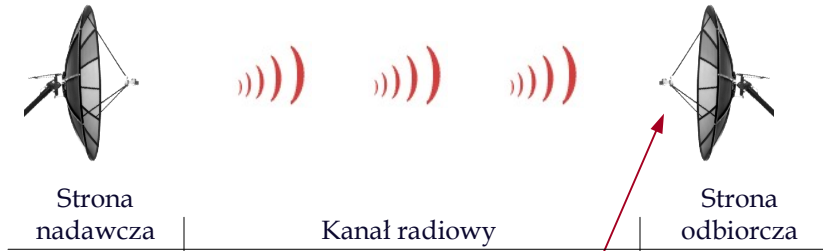
SNR, SIR, SINR



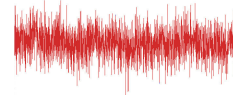
Bilans SNR



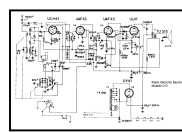
Bilans mocy sygnału :



Bilans mocy szumu :



Strona nadawcza łącza radiowego



P_T - moc nadajnika



L_{FT} - straty elementów pasywnych



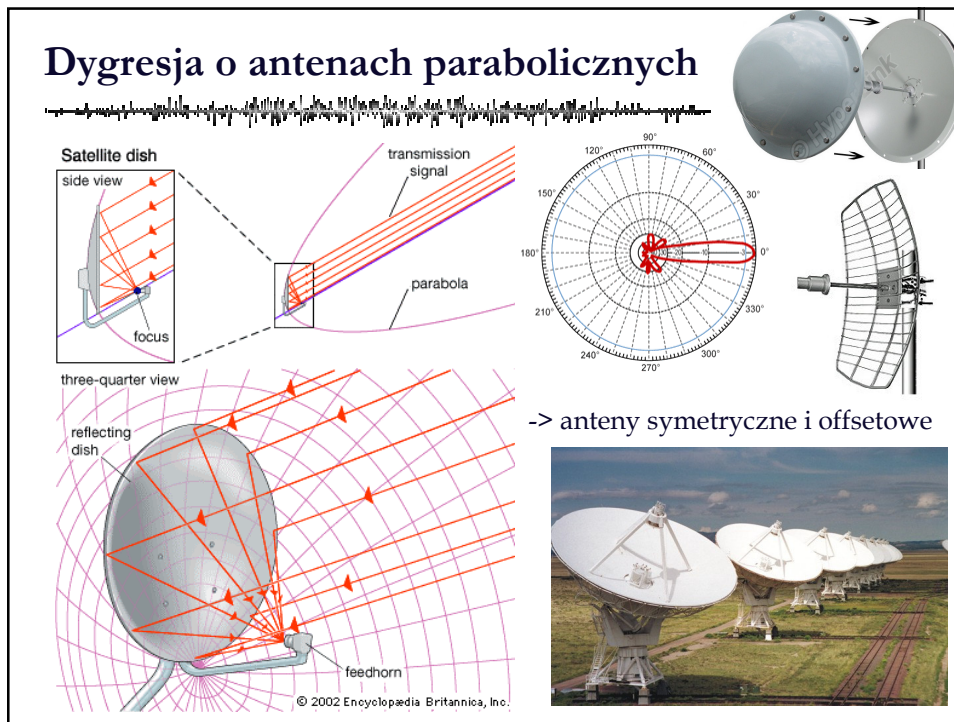
G_T - zysk energetyczny anteny nadawczej

EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*)

- moc zastępcza promieniowana izotropowo :

$$\text{EIRP [dBW]} = P_T [\text{dBW}] - L_{FT} [\text{dB}] + G_T [\text{dBi}]$$

Dygresja o antenach parabolicznych



Dygresja o antenach parabolicznych

$$G_{\max} = \eta \cdot D_{\max} = \eta \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_S$$

sprawność energetyczna anteny $\rightarrow \eta \approx 1$

współczynnik wykorzystania apertury - (równomierność rozkładu pola EM na aperturze, zdolność skupiająca i odbijająca apertury, zgodność z paraboloidą obrotową)

$$G_{\max} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_S$$

$$A_S = \nu \cdot A = \nu \cdot \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

$$G_{\max} = \frac{\pi^2}{\lambda^2} \cdot \nu \cdot d^2 = \frac{\pi^2}{9 \cdot 10^4} \cdot f_{[\text{MHz}]}^2 \cdot \nu \cdot d_{[\text{m}]}^2$$

$$G_{\max [\text{dBi}]} = 20 \log f_{[\text{MHz}]} + 20 \log d_{[\text{m}]} + 10 \log \nu - 39.6$$

Związek między zyskiem kierunkowym a kątem połowy mocy :

$$D_{\max} \approx \frac{40000}{2\theta_{3\text{dB}} \cdot 2\phi_{3\text{dB}}}$$

kąty połowy mocy (w stopniach) w płaszczyźnie horizontalnej i wertykalnej

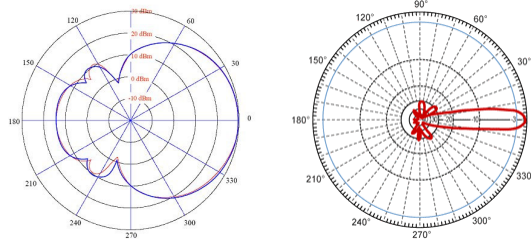
Transmisja poza kierunkiem maksymalnego promieniowania

Zysk anteny na kierunku innym
niż kierunek maksymalnego promieniowania:

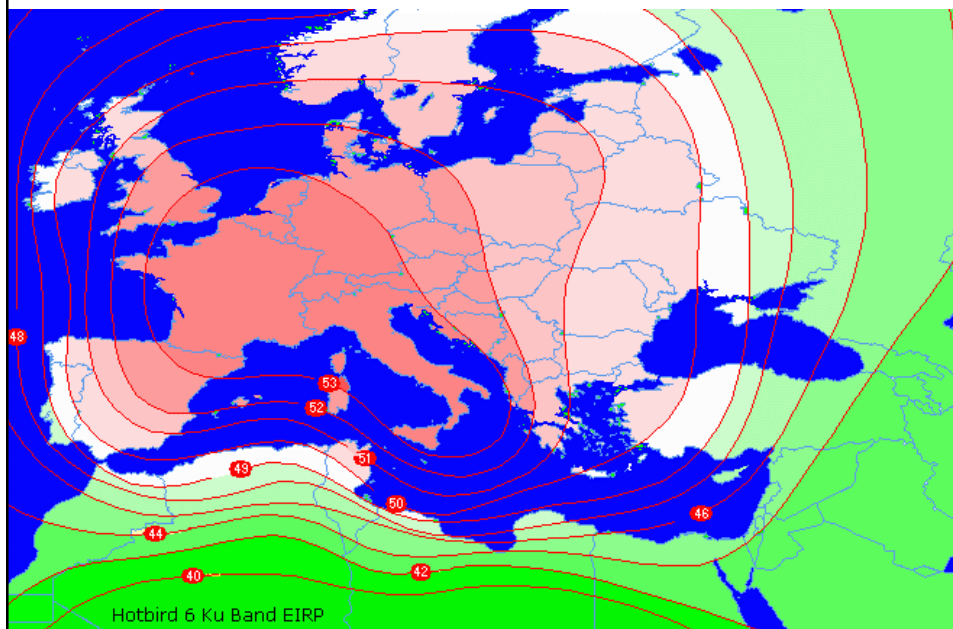
W kącie połowy mocy:

$$G(\theta)_{[\text{dBi}]} = G_{\text{max}[\text{dBi}]} - 12 \left(\frac{\theta}{2\theta_{3\text{dB}}} \right)^2$$

W ogólnym przypadku:



Przykładowa mapa EIRP



Kanał radiowy



Łącze satelitarne:

FSL (*Free Space Loss*) - tłumienie wolnej przestrzeni:

$$FSL = \left(\frac{4\pi \cdot r}{\lambda} \right)^2$$

najprostszy możliwy model kanału radiowego

$$FSL_{[dB]} = 32.44 + 20 \log r_{[km]} + 20 \log f_{[MHz]}$$

L_A - tłumienie atmosferyczne:

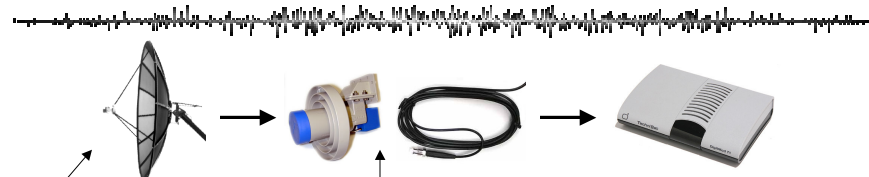
- tłumienie w gazach, deszczu, chmurach i mgłach, scyntylacje

PL (*Path Loss*) - tłumienie trasy radiowej w łączu satelitarnym:

$$PL [dB] = FSL [dB] + L_A [dB]$$

Dla innego łącza radiowego wymagany jest odpowiedni model kanału radiowego.

Strona odbiorcza łącza radiowego



G_R - zysk energetyczny anteny odbiorczej

L_{FR} - straty elementów pasywnych: fidera, polarotora, promiennika

L_{POL} - tłumienie sygnału wynikające z niedopasowania polaryzacyjnego:

kąt między nadawaną a odbieraną polaryzacją fali radiowej

$$L_{POL} = 20 \log \cos \varphi$$

Wzmocnienie sygnału po stronie odbiorczej:

$$G_{R ALL} [dB] = G_R [dBi] - L_{FR} [dB] - L_{POL} [dB]$$

P_R - moc odbieranego sygnału:

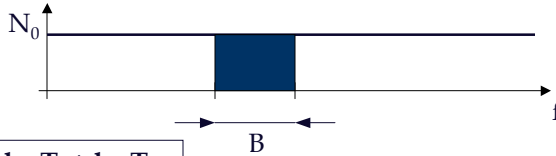
$$P_R [dBW] = EIRP [dBW] - PL [dB] + G_{R ALL} [dB]$$

Szumy w systemach radiowych

Szumy termiczne:

- generowane przez każdy obiekt o temperaturze większej niż 0 K
- szumy AGWN:

$$N = N_0 \cdot B$$



$$N_0 = k \cdot T_0 + k \cdot T_e$$

stała Boltzmann:
 $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ [W/Hz/K]}$

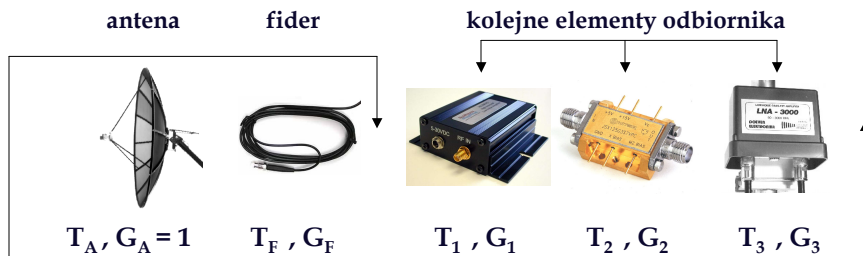
temperatura otoczenia
 (zazwyczaj 290 K lub 300 K)

temperatura szumowa
 odbiornika

Szumy techniczne (*man-made noise*):

- urządzenia elektryczne i elektroniczne, zapłony silników, emisje inne systemów radiowych poza ich pasmem użytkowym
- $N_0 \sim 1/f$: $f = 150 \text{ MHz} \rightarrow$ moc szumów 20 dB wyższa niż moc szumów termicznych, $f = 900 \text{ MHz} \rightarrow 10 \text{ dB}$, $f = 2 \text{ GHz} \rightarrow 5 \text{ dB}$ (środowisko *urban*), 1dB (środowisko *rural*)

Bilans szumów termicznych



$T_Y \rightarrow$ temperatura szumowa elementu Y
 $G_Y \rightarrow$ wzmacnienie elementu Y

Temperatura szumowa na wyjściu odbiornika:

$$T_{OUT} = (((T_A + T_F) \cdot G_F + T_1) \cdot G_1 + T_2) \cdot G_2 + T_3) \cdot G_3$$

Temperatura szumowa na wejściu odbiornika:

$$T_e = T_{OUT} / (G_1 \cdot G_2 \cdot G_3) = \frac{T_A \cdot G_F + T_F \cdot G_F + T_1 + T_2 / G_1 + T_3 / (G_1 \cdot G_2)}{G_1 \cdot G_2 \cdot G_3}$$

Współczynnik szumów

$$N = k \cdot (T_0 + T_e) \cdot B = k \cdot T_0 \cdot \left(1 + \frac{T_e}{T_0} \right) \cdot B = k \cdot T_0 \cdot F \cdot B$$

$$N_{[\text{dBW}]} = 10 \log(k \cdot 290)_{[\text{dBW/Hz}]} + 10 \log B_{[\text{dBHz}]} + F_{\text{dB}}$$

$$N_{[\text{dBW}]} = -204_{[\text{dBW/Hz}]} + 10 \log B_{[\text{dBHz}]} + F_{\text{dB}}$$

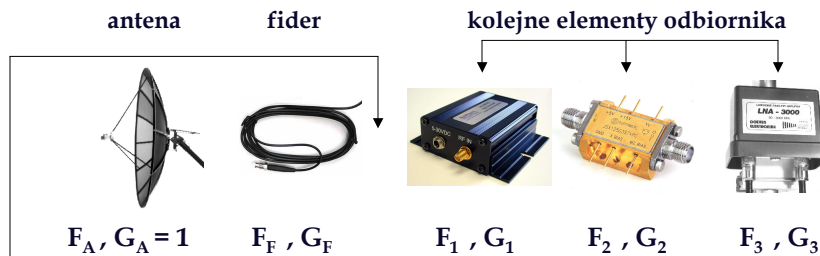
F (noise figure) -> współczynnik szumów (czasem oznaczany jako n_p)
 - stosunek mocy szumów na wyjściu danego urządzenia pracującego w temperaturze otoczenia do tej samej mocy szumów w przypadku gdyby urządzenie było całkowicie bezszumne

szumy na wyjściu urządzenia podczas pracy: $N_1 = k \cdot (T_0 + T_e) \cdot B$
 przypadek urządzenia nie generującego żadnych szumów: $N_2 = k \cdot T_0 \cdot B$

$$F = N_1 / N_2 = 1 + T_e / T_0$$

$$T_e = (F - 1) \cdot T_0$$

Bilans szumów termicznych II



F_Y -> temperatura szumowa elementu Y
 G_Y -> wzmacnienie elementu Y

$$F = 1 + T_e / T_0$$

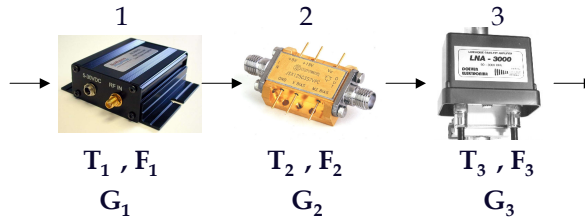
$$T_e = (F - 1) \cdot T_0$$

Współczynnik szumów na wejściu odbiornika:

$$F = (F_A - 1) \cdot G_F + (F_F - 1) \cdot G_F + F_1 + (F_2 - 1) / G_1 + (F_3 - 1) / (G_1 \cdot G_2)$$

Parametr katalogowy charakteryzujący szumy całej strony odbiorczej systemu

Kaskada urządzeń szumiących



Temperatura szumowa na wejściu całej kaskady:

$$T = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 \cdot G_2}$$

Temperatura szumowa na wejściu urządzenia 2 jest równa: $T \cdot G_1$,
na wejściu urządzenia 3: $T \cdot G_1 \cdot G_2$

Współczynnik szumów kaskady urządzeń:

$$F = 1 + T_e/T_0 \quad \longrightarrow \quad F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 \cdot G_2}$$

$$T_e = (F - 1) \cdot T_0$$

Szumy anten i elementów pasywnych

Antena:

T_A - parametr katalogowy

- pesymistyczne założenie: $T_A = 290$ K

- częste założenie dla anten parabolicznych

wycelowanych w satelitę geostacjonarnego: $T_A = 50$ K



Elementy pasywne (promiennik, polarotor, fider):

$$F_F = 1/G_F$$

$$T_F = (1/G_F - 1) \cdot T_0$$



Bilans łącza radiowego – podsumowanie

Strona nadawcza: $EIRP \text{ [dBW]} = P_T \text{ [dBW]} - L_{FT} \text{ [dB]} + G_T \text{ [dBi]}$

Kanał radiowy: $PL \text{ [dB]}$ ← odpowiedni model kanału radiowego

Strona odbiorcza: $G_{R \text{ ALL}} \text{ [dB]} = G_R \text{ [dBi]} - L_{FR} \text{ [dB]} - L_{POL} \text{ [dB]}$

Szum termiczny: $N \text{ [dBW]} = -204 \text{ [dBW/Hz]} + 10 \log B \text{ [dBHz]} + F \text{ [dB]}$

$$SNR \text{ [dB]} = EIRP \text{ [dBW]} - PL \text{ [dB]} + G_{R \text{ ALL}} \text{ [dB]} - N \text{ [dBW]}$$

↳ obliczenia wymaganej mocy nadajnika, średnicy anteny odbiorczej, maksymalnej długości trasy radiowej, etc.

Bilans łącza radiowego – II wersja

$$\frac{S}{N} = \frac{E_b \cdot R_b}{N_0 \cdot B} = \frac{E_b \cdot \eta}{N_0} \quad \longrightarrow \quad \frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N \cdot \eta}$$

η -> współczynnik wykorzystania pasma [bit/s/Hz]

$$N = k \cdot T_0 \cdot F \cdot B \quad \longrightarrow \quad N \cdot \eta = k \cdot T_0 \cdot F \cdot R_b$$

$$(N \cdot \eta) \text{ [dBW]} = -204 \text{ [dBW/Hz]} + 10 \log R_b \text{ [dB bit/s]} + F \text{ [dB]}$$

$$(E_b/N_0) \text{ [dB]} = EIRP \text{ [dBW]} - PL \text{ [dB]} + G_{R \text{ ALL}} \text{ [dB]} - (N \cdot \eta) \text{ [dBW]}$$

↳ obliczenia wymaganej mocy nadajnika, średnicy anteny odbiorczej, maksymalnej długości trasy radiowej, etc.

Dziękuję za uwagę