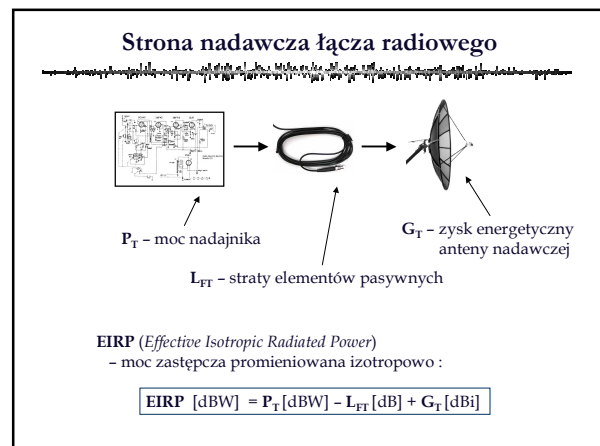
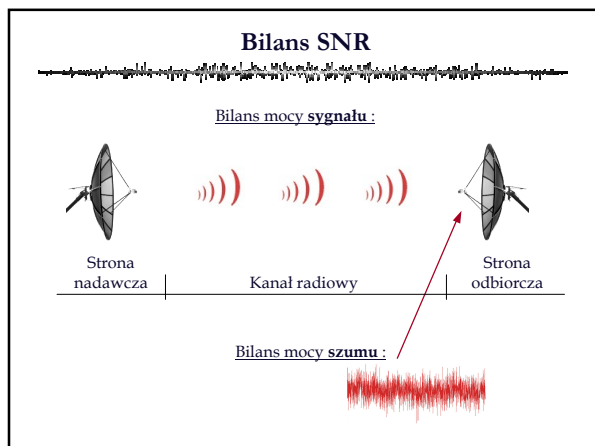
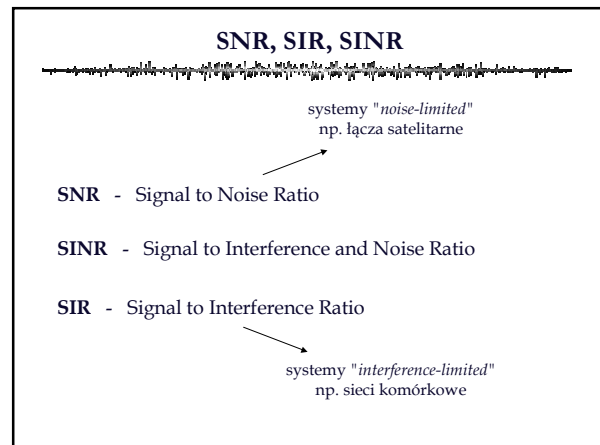
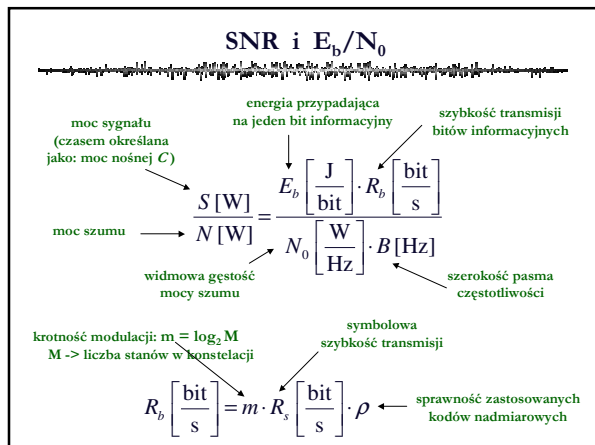
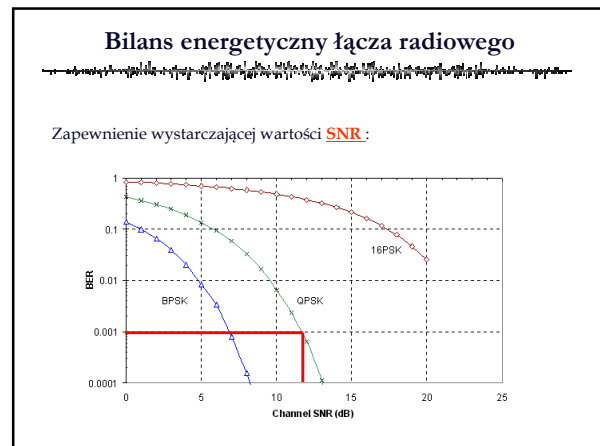
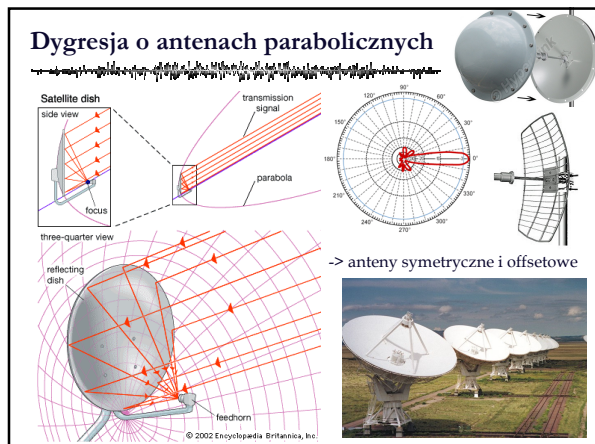






Dygresja o antenach parabolicznych

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

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

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

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

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

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

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

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 horyzontalnej i wertykalnej

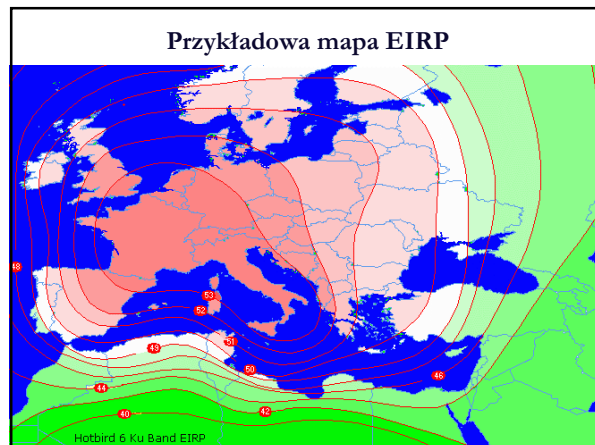
Transmisja poza kierunkiem maksymalnego promieniowania

Zysk anteny na kierunku innym niż kierunek maksymalnego promieniowania:

W kącie połowy mocy:

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

W ogólnym przypadku:



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

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

L_A – tłumienie atmosferyczne:
- tłumienie w gazach, deszczu, chmurach i mgłach, scyntylacje

PL (Path Loss) – tłumienie trasy radiowej w łączy satelitarnej:

$$PL_{[\text{dB}]} = FSL_{[\text{dB}]} + L_A_{[\text{dB}]}$$

Dla innego łączy radiowego wymagany jest odpowiedni model kanału radiowego.

Strona odbiorcza łączy radiowego

G_R – zysk energetyczny anteny odbiorczej

L_{FR} – straty elementów pasywnych: fidera, polarizatora, promiennika

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

kąt między nadawaną a odbieraną polaryzacją fali radiowej

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

Wzmocnienie sygnału po stronie odbiorczej:

$$G_{RALL} [\text{dB}] = G_R [\text{dBi}] - L_{FR} [\text{dB}] - L_{POL} [\text{dB}]$$

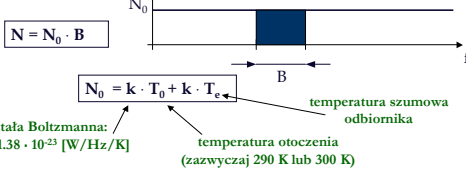
P_R – moc odbieranego sygnału:

$$P_R [\text{dBW}] = EIRP [\text{dBW}] - PL [\text{dB}] + G_{RALL} [\text{dB}]$$

Szumy w systemach radiowych

Szumy termiczne:

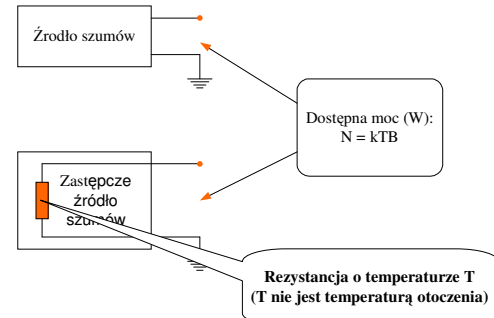
- generowane przez każdy obiekt o temperaturze większej niż 0 K
- szumy AGWN:



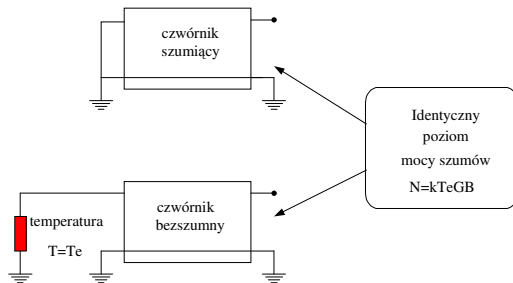
Szumy techniczne (*man-made noise*):

- 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*), 1 dB (środowisko *rural*)

Temperatura szumowa



Efektywna temperatura szumowa



Współczynnik szumów

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

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

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

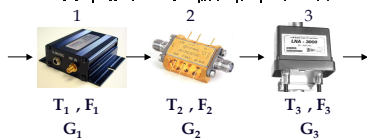
F (*noise figure*) $\rightarrow$ współczynnik szumów (czasem oznaczany jako n_f)
- stosunek mocy szumów na wyjściu danego urządzenia pracującego w temperaturze otoczenia do tej samej mocy szumów w przypadku gdyby urządzenie było całkowicie bezszumne

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

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

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

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:

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

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

Temperatura szumowa tłumika

temperatura szumowa tłumika

$$T_{eATT} = (L_{ATT} - 1) T_{ATT} \text{ [K]}$$

Tłumienie wnoszone przez tłumik

fizyczna temperatura tłumika

Temperatura szumowa anteny #1

temperatura szumowa anteny

$$T_A = (1/4\pi) \iint T_b(\theta, \varphi) G(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi$$

Źródła szumu

Charakterystyka kierunkowa anteny

Temperatura szumowa anteny #2

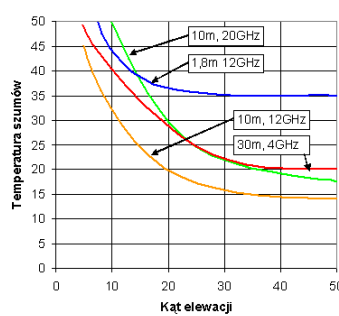
zwykle jest parametrem katalogowym anteny

$$T_A = T_{SKY} + T_{GROUND}$$

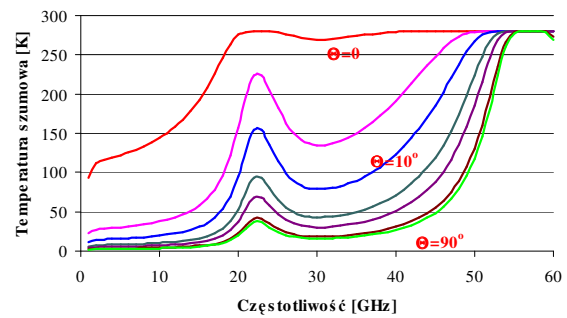
$$T_{SKY} = 280 \cdot \left(1 - 10^{-\frac{A_G}{10}} \right)$$

Temperatura szumowa T_{GROUND}

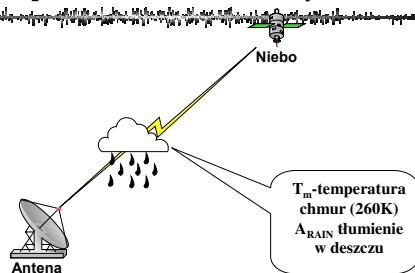
Temperatura szumów anteny



Temperatura szumowa T_{SKY}

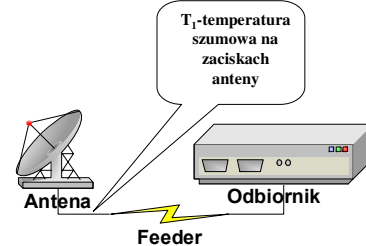


Temperatura szumowa anteny #3



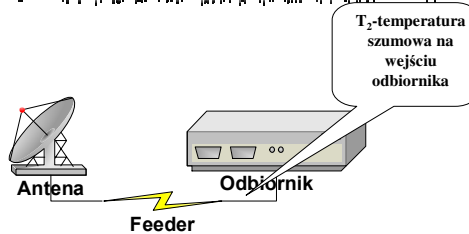
$$T_{A(R)} = \frac{T_{SKY}}{A_{RAIN}} + T_m \left(1 - \frac{1}{A_{RAIN}} \right) + T_{GROUND}$$

Szumy odbiornika satelitarnego #1



$$T_1 = T_{A(R)} + (L_{FRx} - 1)T_F + \frac{T_{eRx}}{G_{FRx}}$$

Szumy odbiornika satelitarnego #2



$$T_2 = \frac{T_1}{L_{FRx}} = \frac{T_{A(R)}}{L_{FRx}} + T_F \left(1 - \frac{1}{L_{FRx}}\right) + T_{eRx}$$

Szumy odbiornika satelitarnego #3

$$T_2 = \frac{T_1}{L_{FRx}} = \frac{T_{A(R)}}{L_{FRx}} + T_F \left(1 - \frac{1}{L_{FRx}}\right) + T_{eRx}$$

$$L_{FRx} = 0, 1 \text{ dB}$$

$$T_2 = 7 \text{ K}$$



$$L_{FRx} = 1$$

$$T_2 = T_{A(R)} + T_{eRx}$$

Szumy odbiornika satelitarnego DVB-S

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{eRx} = 290 \left(10^{\frac{F}{10}} - 1 \right) \\ T_2 = T_{A(R)} + T_{eRx} \\ T_{A(R)} = \frac{T_{SKY}}{A_{RAIN}} + T_m \left(1 - \frac{1}{A_{RAIN}} \right) + T_{GROUND} \\ T_{GROUND} = T_A - T_{SKY} \end{array} \right.$$

Szumy odbiornika satelitarnego DVB-S

$$N_{[dBm]} = 10 \log(k T_2 B_W)$$

$$B_W = R_S \cdot \alpha$$

$N_{[dBm]}$ - poziom mocy szumów na wejściu odbiornika
 R_s - prędkość symbolowa [Mpsps]
 α - współczynnik poszerzenia pasma (1,28)
 B_w - Szerokość pasma odbiornika [MHz]
 k - $1,38 \cdot 10^{-23}$ [W/(K*Hz)]

Bilans cyfrowego łącza satelitarnego DVB-S

$$G_{R \min} = \left(\frac{C}{N} \right)_{dB} + N_{[dBm]} - EIRP + FSL_{[dB]} + Ag_{[dB]} + Ar_{[dB]} + 1$$

$$FSL_{[dB]} = 32,44 + 20 \log(r_{[km]}) + 20 \log(F_{[MHz]})$$

$$\left(\frac{C}{N} \right)_{[dB]} = \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{[dB]} + 10 \log \left(\frac{B_w}{R_b} \right)$$

$$R_b = R_s \cdot 2 \cdot FEC \cdot 188 / 204$$

R_b - prędkość bitowa [Mbps]
 R_s - prędkość symbolowa [Mpsps]
 FEC - sprawność kodu spleczonego
 r - odległość od satelity
 $G_{r \min}$ - zysk anteny odbiorczej

Bilans łącza DVB-S [E_b/N_0]

Table 3: IF-Loop performance of the System

Inner code rate	Required E_b/N_0 for BER = 2×10^{-4} after Viterbi QEF after Reed-Solomon
1/2	4.5
2/3	5.0
3/4	5.5
5/6	6.0
7/8	6.4

Wyznaczanie średnicy anteny odbiorczej

$$D_m = 10^{(G_{R \min} - 20 \log F_{MHz} - 10 \log v + 39,6) / 20}$$

Średnica anteny odbiorczej [m]

Bilans łącza radiowego – podsumowanie

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

Kanał radiowy: PL [dB] ← odpowiedni model kanału radiowego

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

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

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

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

Bilans łącza radiowego – II wersja

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

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

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

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

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

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

Dziękuję za uwagę