

Összeköttetések (link budget) számítása

Rieger István

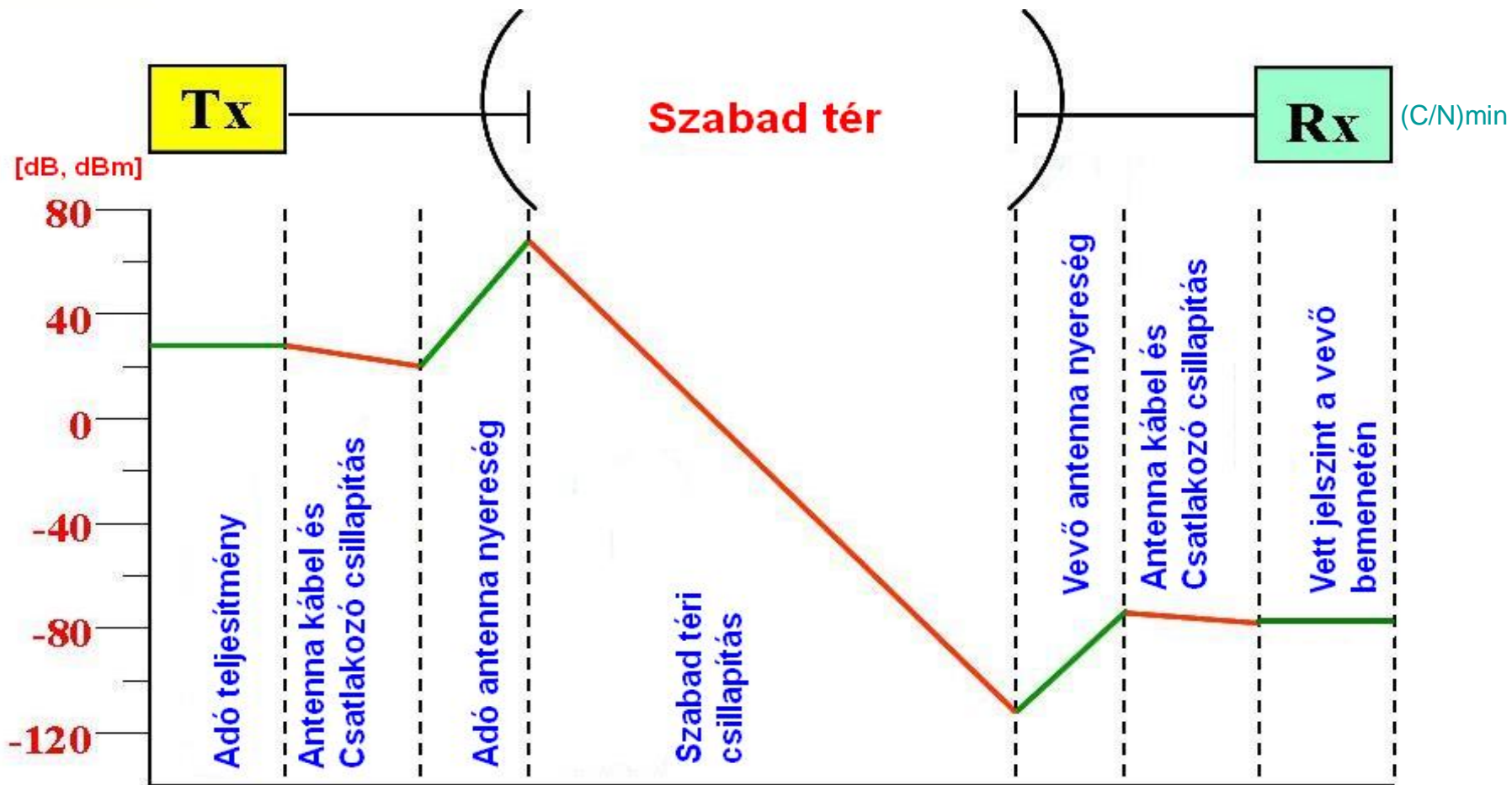
rieger@hvt.bme.hu

2020.10.07.



9. Összeköttetés (link budget) számítás

- Az átviteli lánc összes paraméterének figyelembe vételével meghatározni hogy mekkora a vett jelszint és ez mekkora tartalékot jelent az átvitelben.



Összeköttetés (link budget) számítás

- 1. Decibel**
- 2. Az adó teljesítmény**
- 3. Antenna nyereség, sugárzási szög**
- 4. Az EIRP**
- 5. A szabadtéri csillapítás**
- 6. Zaj, zajteljesítmény, zajhőmérséklet**
- 7. A vevő rendszer jósága, G/T**
- 8. A jel/zaj viszony fogalmak**
- 9. Összeköttetés (link budget) számítás**

1. Decibel

Alexander Graham Bell, Bell Telephone Laboratory
Két mennyiség arányának logaritmikus mértéke, [dB]

$$[dB] \quad R = 10 * \log \frac{A}{B}$$

$$10 * \log \frac{1000W}{1W} = 30dBW$$

$$10 * \log \frac{10mW}{1mW} = 10dBm$$

$$1nW = 10^{-9}W = 10^{-6}mW$$

$$10 * \log \frac{10^{-12}mW}{1mW} = -120dBm$$

Néhány logaritmus azonosság

$$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b$$

$$\log(a * b) = \log a + \log b$$

$$\log a^b = b * \log a$$

2. Az adó teljesítmény

Az adó teljesítmény megadása: W, dBW, dBm

Földi szolgáltatásoknál: mW-MW

Pl.

- ❖ mikroportok max. 50 mW
- ❖ Mobil telefon 2 W/125 mW, Bázis állomás 20-50 W
- ❖ FM adók 100 W- 100 kW
- ❖ DVB-T
 - ❖ Nagy telj. adók 1-100 kW
 - ❖ Kis telj. adók 10 W- 1.5 kW

Műholdaknál: mW-kW

Pl.

- Qubesat 100 mW- 2 W

3. Az antenna nyereség, sugárzási szög

Az **antenna nyeresége** alatt azt a teljesítményviszonyt értjük, hogy az antenna a fő sugárzási irányában hányszoros teljesítménysűrűséggel (térerővel) sugároz egy ugyanakkora teljesítménnyel táplált izotrop (értsd: gömb mentén elvben egyenletesen sugárzó) antennához képest.

G_{ant} = TX power with Antenna / TX power with isotropic radiator [dBi]

G_{ant} = TX power with Antenna / TX power with dipol [dBd]

$$\text{dBi} = \text{dBd} + 2,15$$

Parabola antennánál:

$$G_{ant} = \frac{4\pi A}{\lambda^2} * \eta \quad \text{Ahol: } A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 * \pi$$

így:
$$G_{ant} = \frac{\pi^2 D^2}{\lambda^2} * \eta = \frac{\pi^2 D^2 f^2}{c^2} * \eta$$

3. Az antenna nyereség, sugárzási szög

A nyereség decibelben:

$$G_{ant} = 20\log D + 20\log f + 10\log \eta + 20,4$$

Ahol: az f [GHz], D [m] és $20\log(\pi/0,3)=20,4$; a $c=0,3$ [m/nsec] [dBi]

Például: $D=3\text{m}$, $f=38\text{GHz}$, $\eta=0,5$ (Alphasat antenna, Graz)

$$G_{ant} = 20\log 3 + 20\log 38 + 10\log 0,5 + 20,4 = 58,5\text{dBi}$$

Antenna típus	Tipikus nyereség	Tipikus nyereség [dBi]
Rövid dipól antenna	1.5	1.76
Fél hullámú dipól antenna	1.64	2.15
Patch (microstrip) antenna	3.2-6.3	5-8
Tölcsér antenna	10-100	10-20
Parabola antenna	10-10,000	10-40

3. Az antenna nyereség, sugárzási szög

Az η az antenna hatásfoka általában:

$$0,4 < \eta < 0,8$$

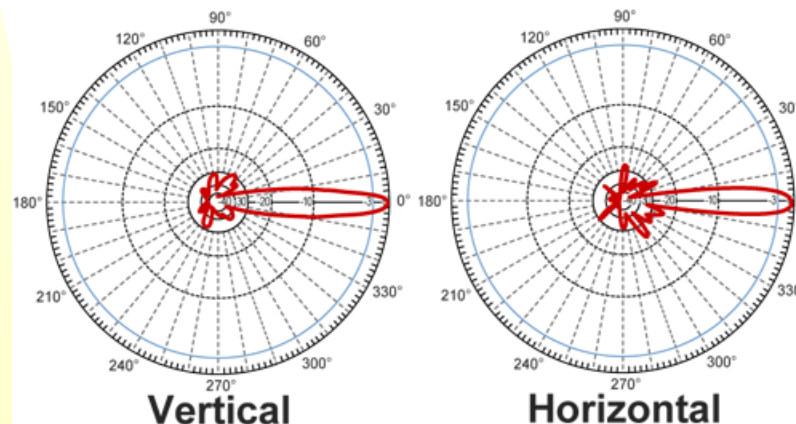
Az **antenna sugárzási szöge** alatt a főnyaláb félteljesítményű pontjai között mért szöget értjük.

Parabolára közelítőleg:

$$BW = \frac{70\lambda}{D} \quad [^\circ]$$

A 3m-es parabola szöge
38 GHz-en:

$$BW = \frac{70 * 7,87 * 10^{-3}}{3} = 0,237 \quad [^\circ]$$



4. Az EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)

Az izotróp antennához viszonyított tényleges kisugárzott teljesítmény.

$$EIRP[dBW] = 10\log P_{TX} + G_T$$

Ha P_{TX} [W], és G_T [dB]

Pl. ha $P_{TX}=500W$, $G_T= 30dB$ akkor

$$EIRP = 10\log 500 + 30 = 57dBW$$

5. A szabadtéri csillapítás

$$L[dB] = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

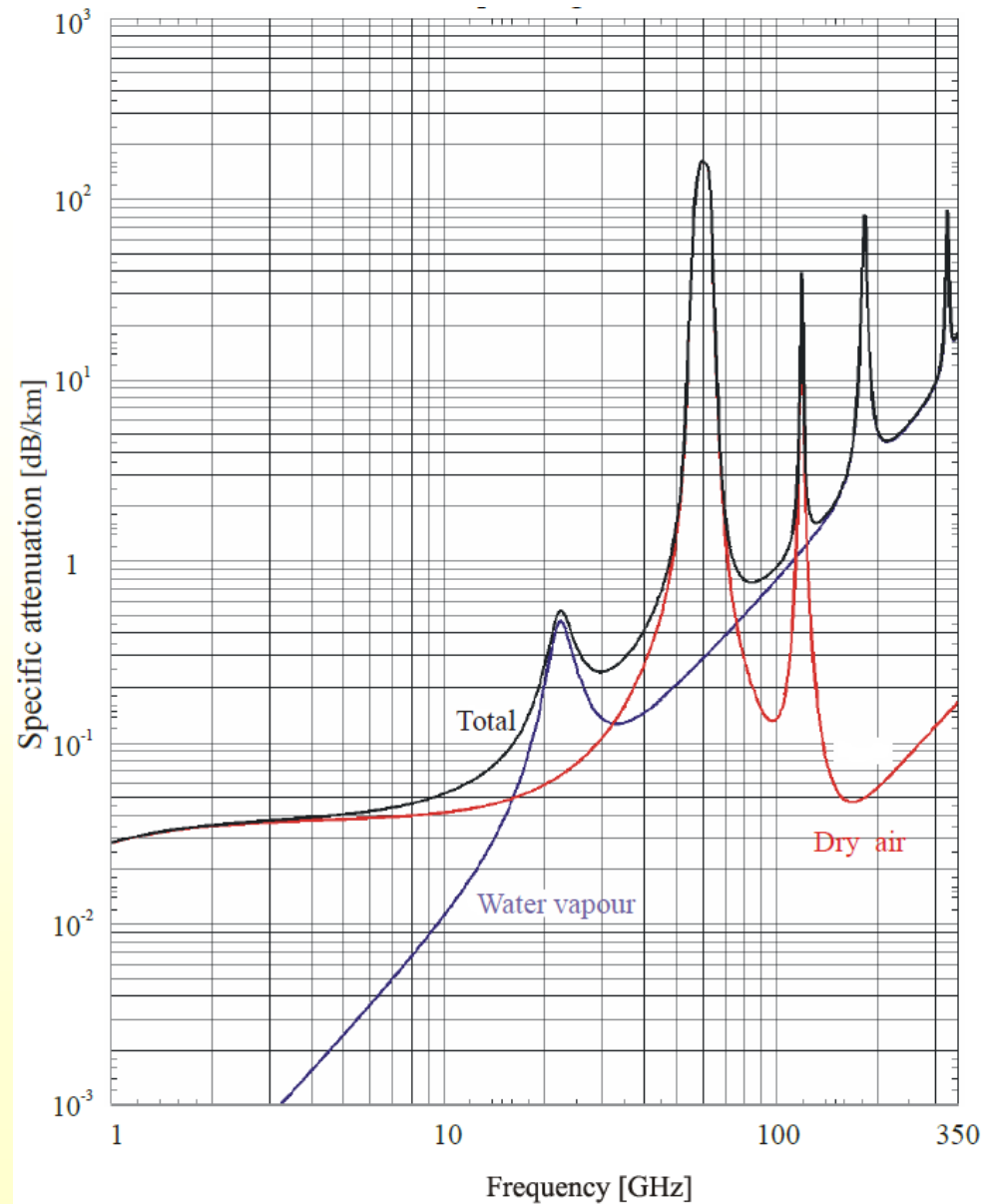
$$L[dB] = 20 \log d + 20 \log f + 92,45$$

Ahol d [km] és az f [GHz].

$f=38$ GHz, $d=36000$ km

$$L = 20 \log 36000 + 20 \log 38 + 92,45 \cong 215 dB$$

5. A szabadtéri csillapítás



5.1 ábra
Az atmoszférikus gázok csillapítása
a frekvencia függvényében

6. Zaj, zajteljesítmény, zajhőmérséklet

A termikus zajt *John B. Johnson* fedezte fel és mérte meg 1926-ban a Bell Laboratóriumban az eredményeket kollégája *Harry Nyquist* értelmezte.

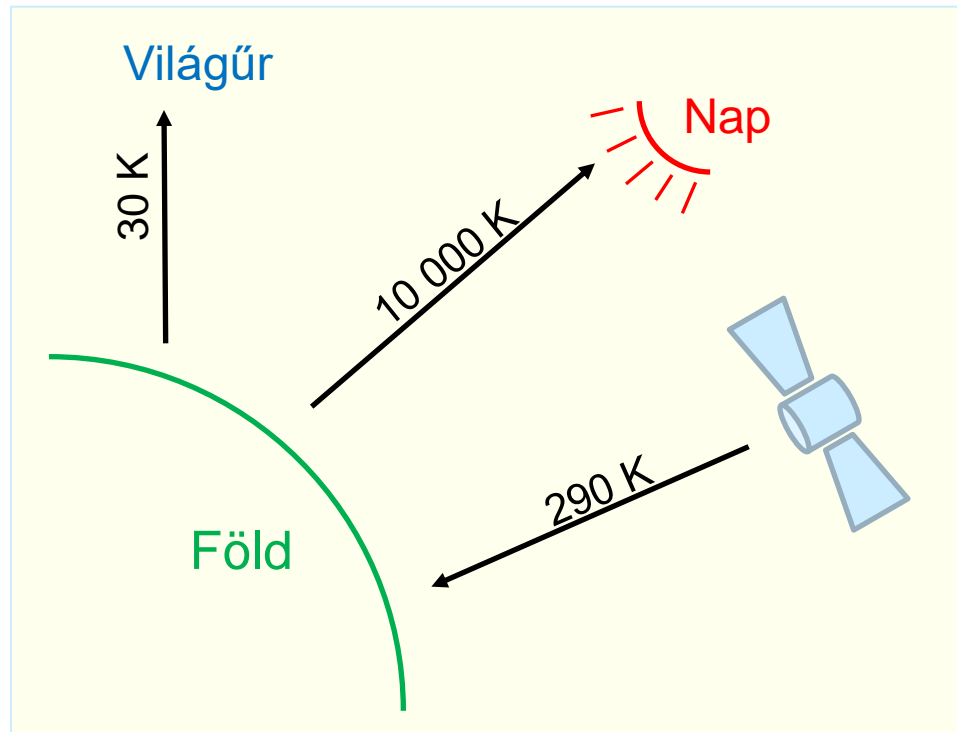
$$P[W] = \frac{U^2}{R} = kTB$$

(Johnson-Nyquist noise)

$k=1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K (Boltzmann állandó)

T hőmérséklet [K]

B sávszélesség [Hz]



6. Zaj, zajteljesítmény, zajhőmérséklet

Bandwidth (Δf)	Thermal noise power	Notes
1 Hz	-174 dBm	
10 Hz	-164 dBm	
100 Hz	-154 dBm	
1 kHz	-144 dBm	
10 kHz	-134 dBm	FM channel of 2-way radio
100 kHz	-124 dBm	
180 kHz	-121.45 dBm	One LTE resource block
200 kHz	-121 dBm	GSM channel
1 MHz	-114 dBm	Bluetooth channel
2 MHz	-111 dBm	Commercial GPS channel
3.84 MHz	-108 dBm	UMTS channel
6 MHz	-106 dBm	Analog television channel
20 MHz	-101 dBm	WLAN 802.11 channel
40 MHz	-98 dBm	WLAN 802.11n 40 MHz channel
80 MHz	-95 dBm	WLAN 802.11ac 80 MHz channel
160 MHz	-92 dBm	WLAN 802.11ac 160 MHz channel
1 GHz	-84 dBm	UWB channel

7. A vevő rendszer jósága, G/T

$$G/T [dB/K] = G_{Ant} [dBi] - 10 \log T_{Sys} [K]$$

A rendszer zajhőmérséklete T_{Sys} [K] a rendszer elemeinek és a vételt befolyásoló tényezők zajhozzájárulása az antenna bemenetére vonatkoztatva azaz:

$$T_{Sys} = T_{Ant} + T_{Rain} + T_{LNA} + T_{Rec}'$$

$$T_{LNA} = 290 * (10^{(F_{LNA}/10)} - 1)$$

$$T_{Rec}' = T_{Rec} / G_{LNA} = (290 * (10^{(F_{Rec}/10)} - 1)) / G_{LNA}$$

F_{LNA} [dB] az LNA zajtényezője,
 F_{Rec} [dB] a vevő zajtényezője,
 G_{LNA} az LNA erősítése viszonyszámmal

7. A vevő rendszer jósága, G/T

Zajtényező (Noise Figure)

$$F = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}}$$

$$F = 1 + \frac{T_{LNA}}{T_0}$$

SNR_{in} , SNR_{out} a bemeneten ill. a kimeneten mért jel-zaj viszony
 T_{LNA} az LNA zajhőmérséklete, $T_0=290^\circ\text{K}$

$$NF[dB] = 10 \log \left(1 + \frac{T_{LNA}}{T_0} \right)$$

7. A vevő rendszer jósága, G/T

$$T_{\text{Ant}} = 25 \text{ K}, T_{\text{Rain}} = 0 \text{ K}, T_{\text{LNA}} = 50 \text{ K}, G_{\text{LNA}} = 20\text{dB}, T_{\text{Rec}} = 100 \text{ K}, G_{\text{Ant}} = 41 \text{ dBi}$$

A rendszer zajhőmérséklete:

$$T_{\text{Sys}} = 25 + 0 + 50 + 100/100 = 76 \text{ K}$$

Mivel a $G_{\text{LNA}} = 20\text{dB}$ viszonyszámában 100

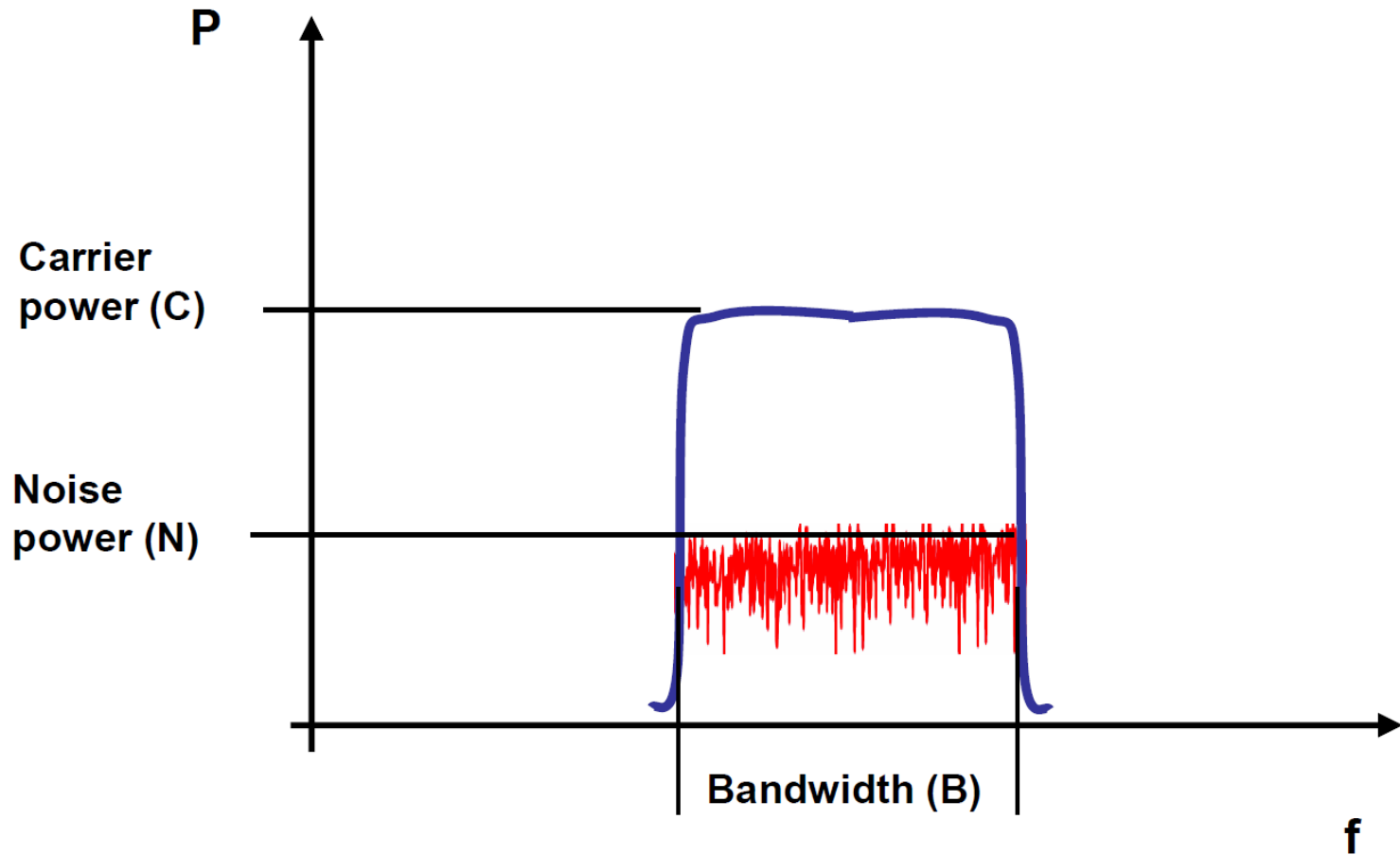
A vevő rendszer jósági tényezője: G/T [dB/K]

$$G/T = 41 - 10 \log 76 = 22,19 \text{ dB/K}$$

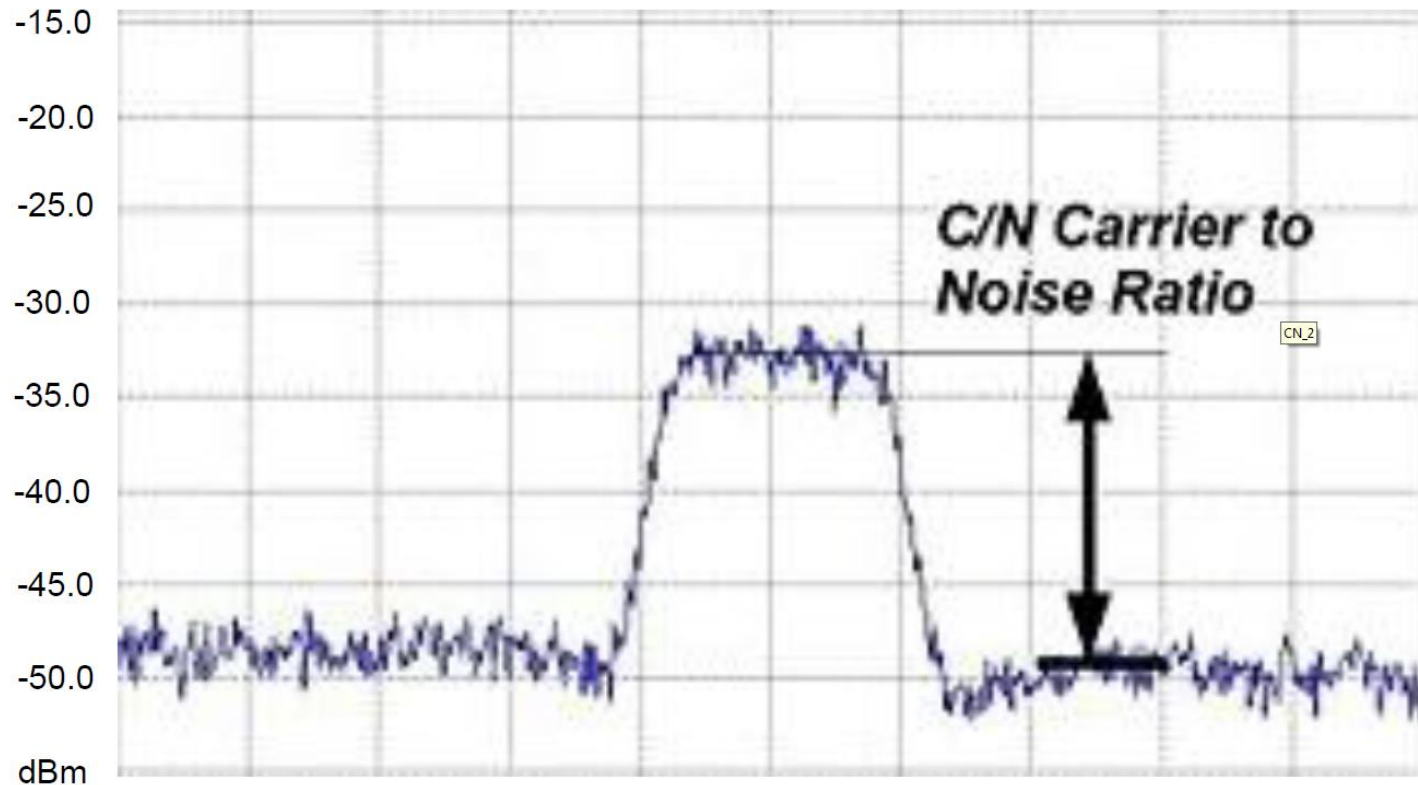
8. A jel/zaj viszony fogalmak

- **C/N** **Vivő/zaj viszony**
- **C/N₀** **Vivő/zaj sűrűség viszony**
- **E_b/N₀** **Egy bitre jutó energia/zaj sűrűség viszony**

8. A jel/zaj viszony fogalmak C/N, vivő-zaj viszony



8. A jel/zaj viszony fogalmak C/N, vivő-zaj viszony

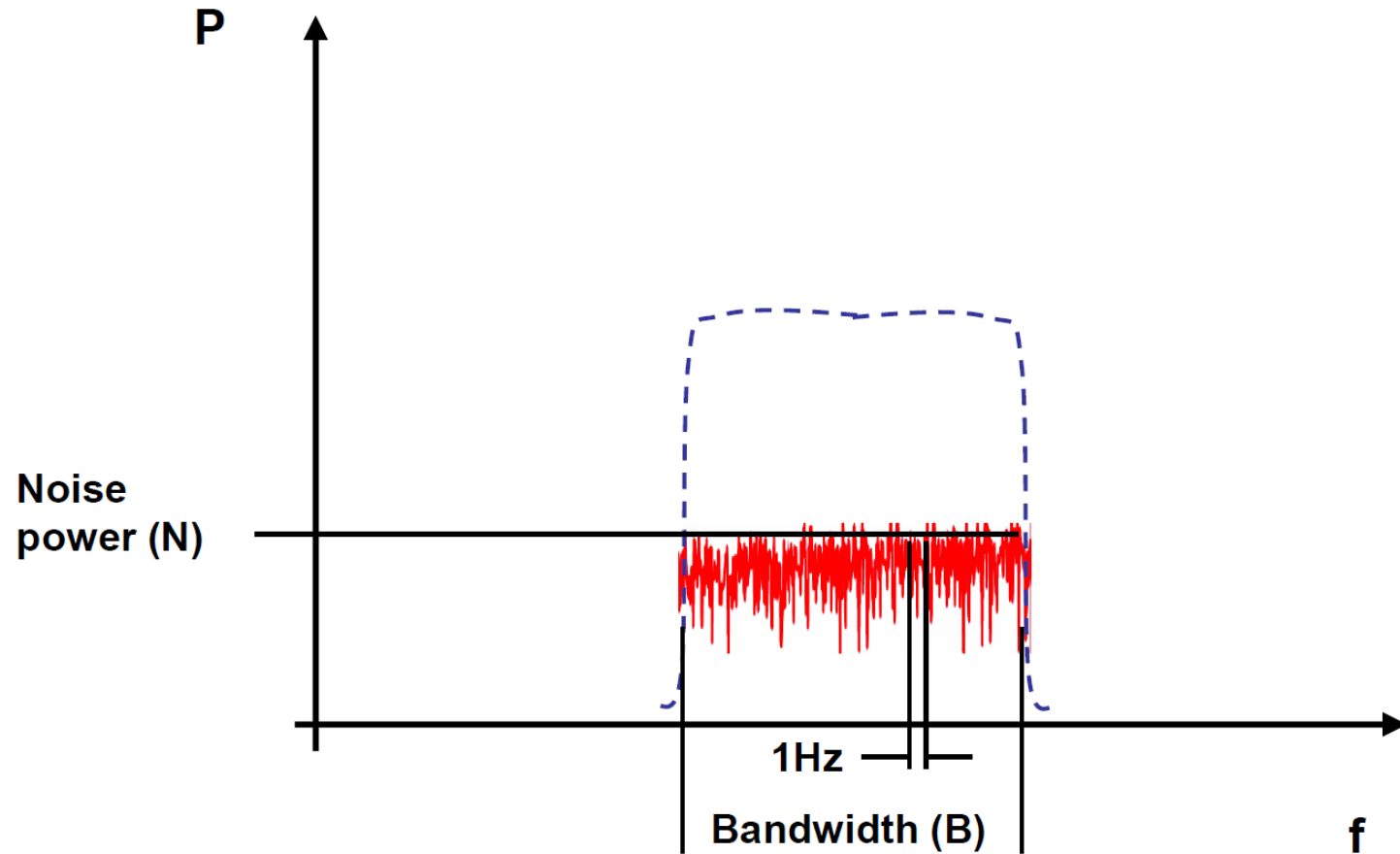


Pl.: Egy zajos QPSK jelnél

$$\text{A C/N} = (-32.5\text{dBm}) - (-48\text{dBm}) = 15,5\text{dB}$$

8. A jel/zaj viszony fogalmak

N_0 , zajsűrűség



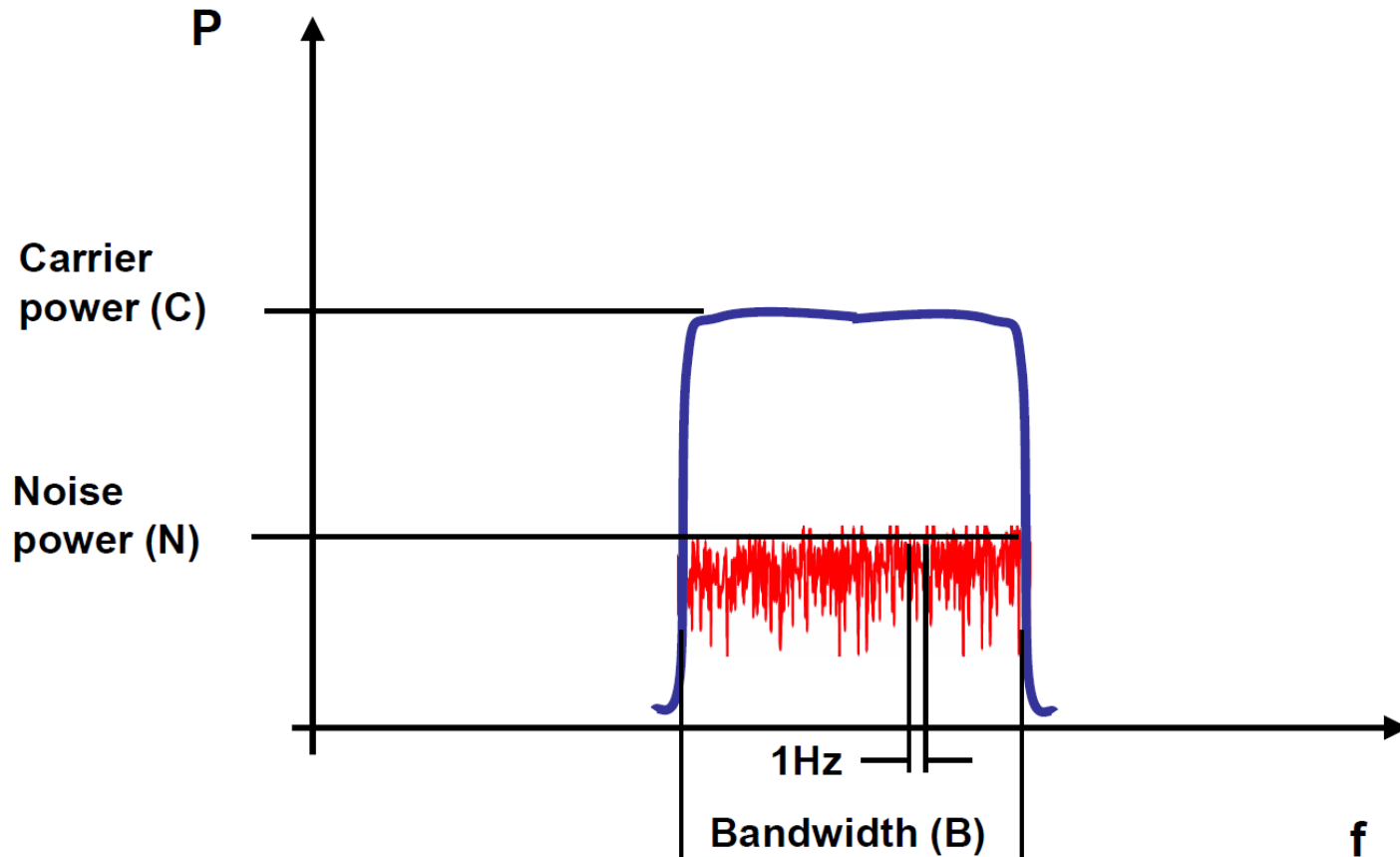
$$N_0 = N / B$$

$$N_0 = kT * 1$$

[J], [W/Hz], [Ws]

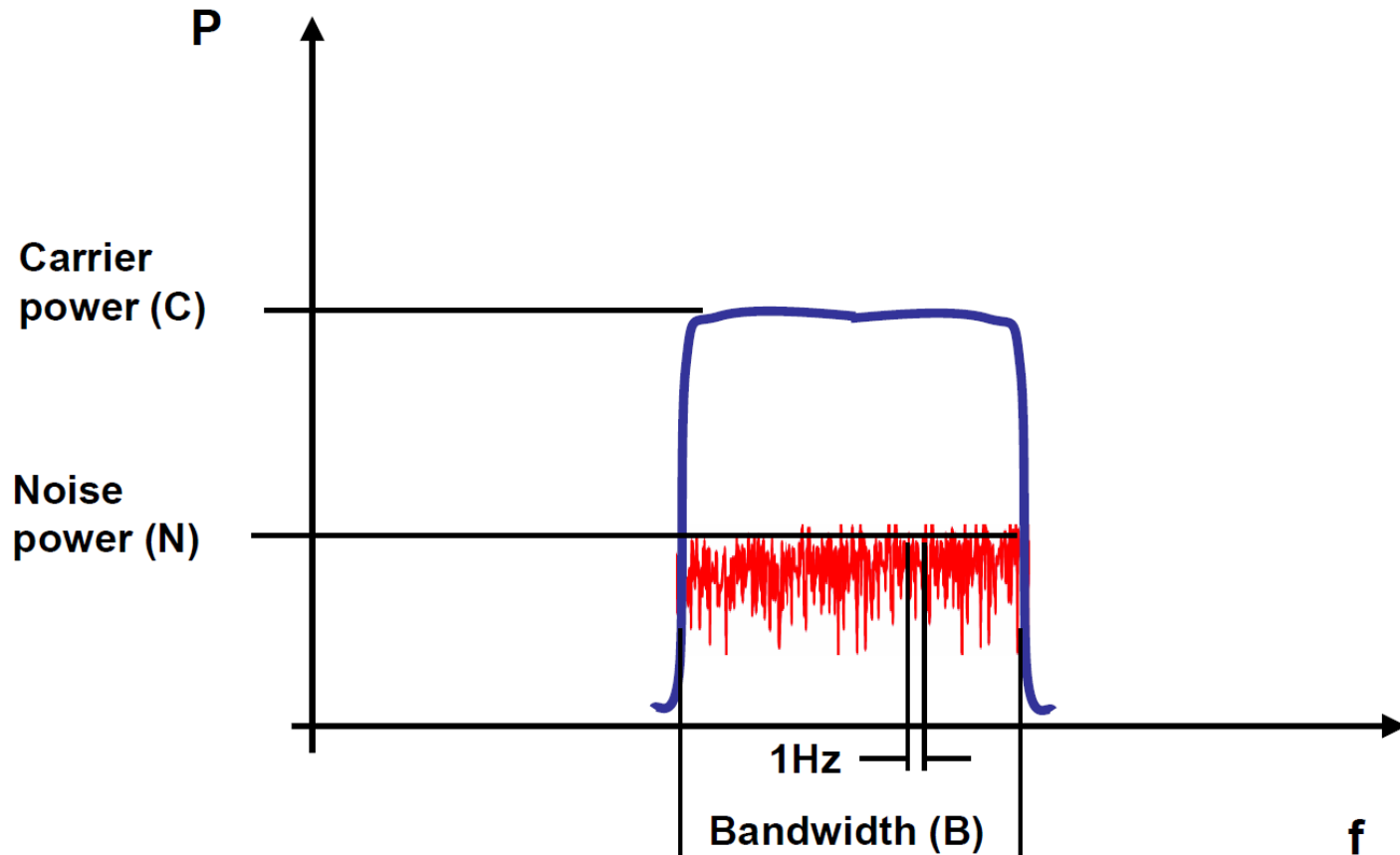
1 Hertz sávszélességre eső zaj

8. A jel/zaj viszony fogalmak C/N_0 , vivő-zajsűrűség viszony



8. A jel/zaj viszony fogalmak

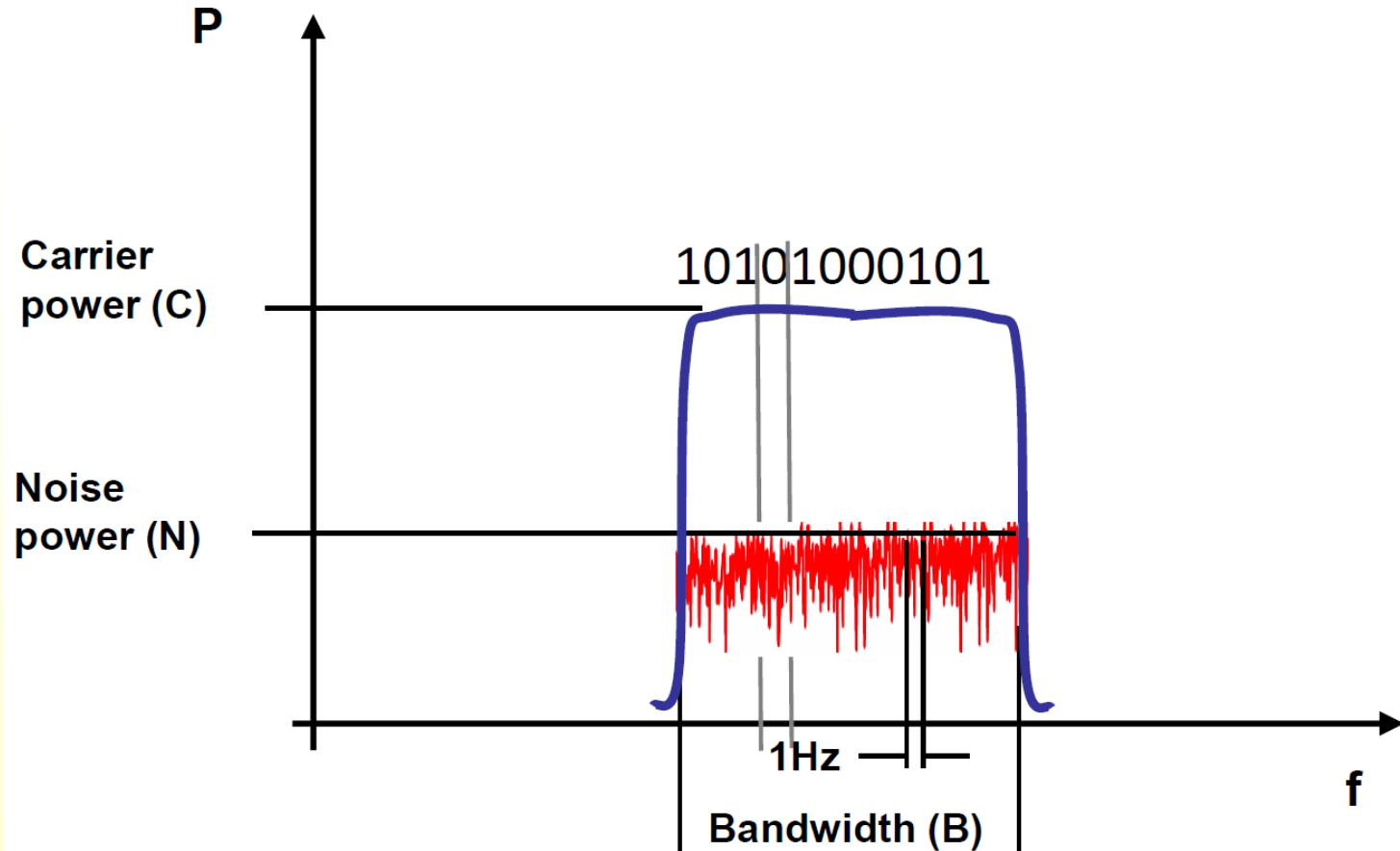
E_b , egy bitre jutó energia



$$E_b = C / R \quad [W/Hz], [Ws] \quad R = \text{adatátviteli sebesség}$$

8. A jel/zaj viszony fogalmak

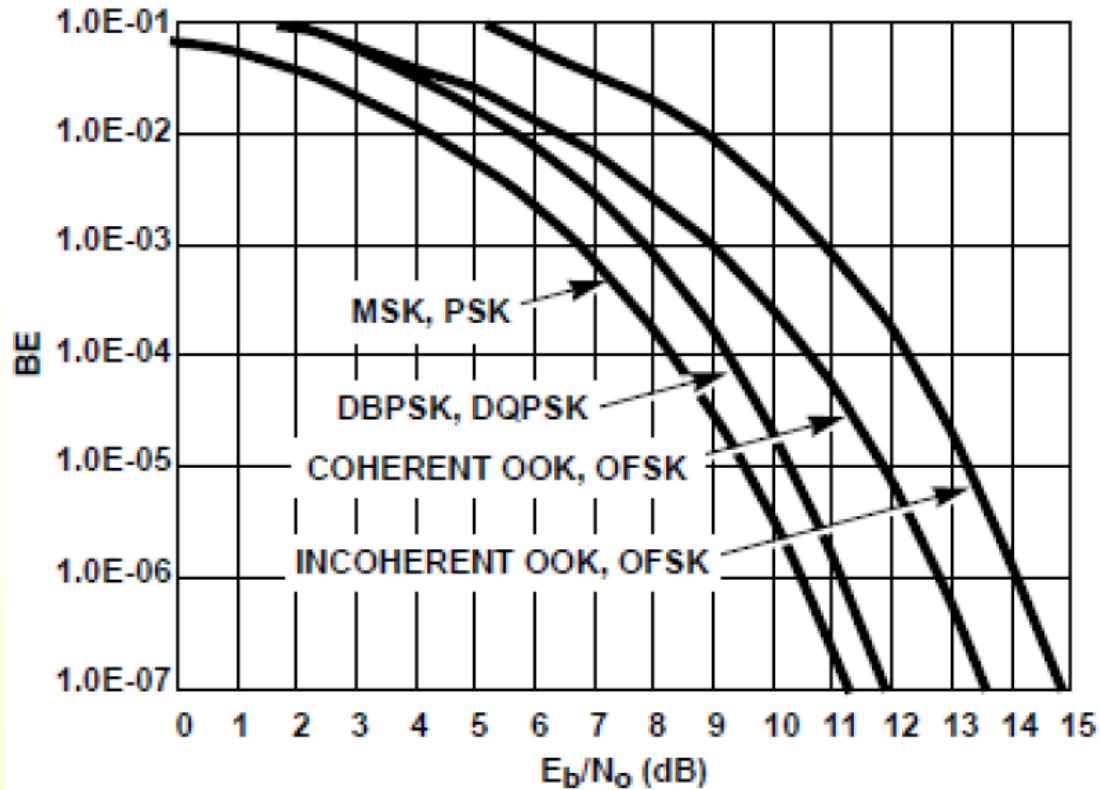
E_b/N_0 , egy bitre jutó energia-zajsűrűség viszony



$$E_b / N_0$$

[W/W], azaz dimenzió nélküli

8. A jel/zaj viszony fogalmak E_b/N_0 -BER (Bit Error Rate)



MSK: Minimum shift keying

PSK: Phase shift keying

DBPSK: Differential binary phase shift keying

DQPSK: Differential quadrature phase shift keying

OOK: On-off-keying

OFSK: Orthogonal frequency shift keying

8. A jel/zaj viszony fogalmak C/N , C/N_0 , E_b/N_0 közötti összefüggés

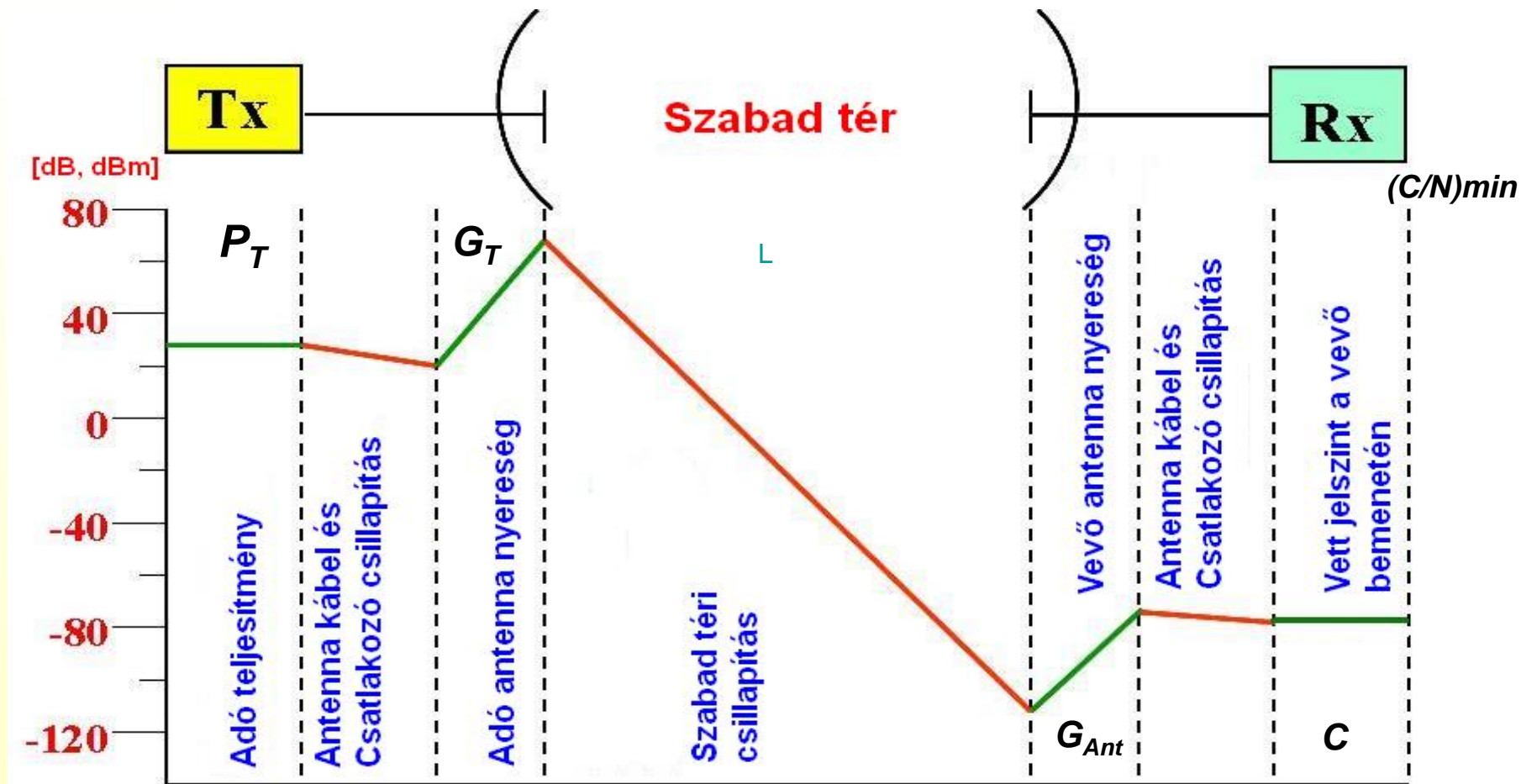
$$C/N = \frac{C}{N_0 * B} = \frac{E_b}{N_0} * \frac{R}{B}$$

$$E_b / N_0 = \frac{C}{N} * \frac{B}{R}$$

$$C/N[dB] = 10\log(E_b / N_0) + 10\log(R / B)$$

9. Összeköttetés (link budget) számítás

- Az átviteli lánc összes paramétereinek figyelembe vételével meghatározni hogy mekkora a vett jelszint és ez mekkora tartalékot jelent az átvitelben.



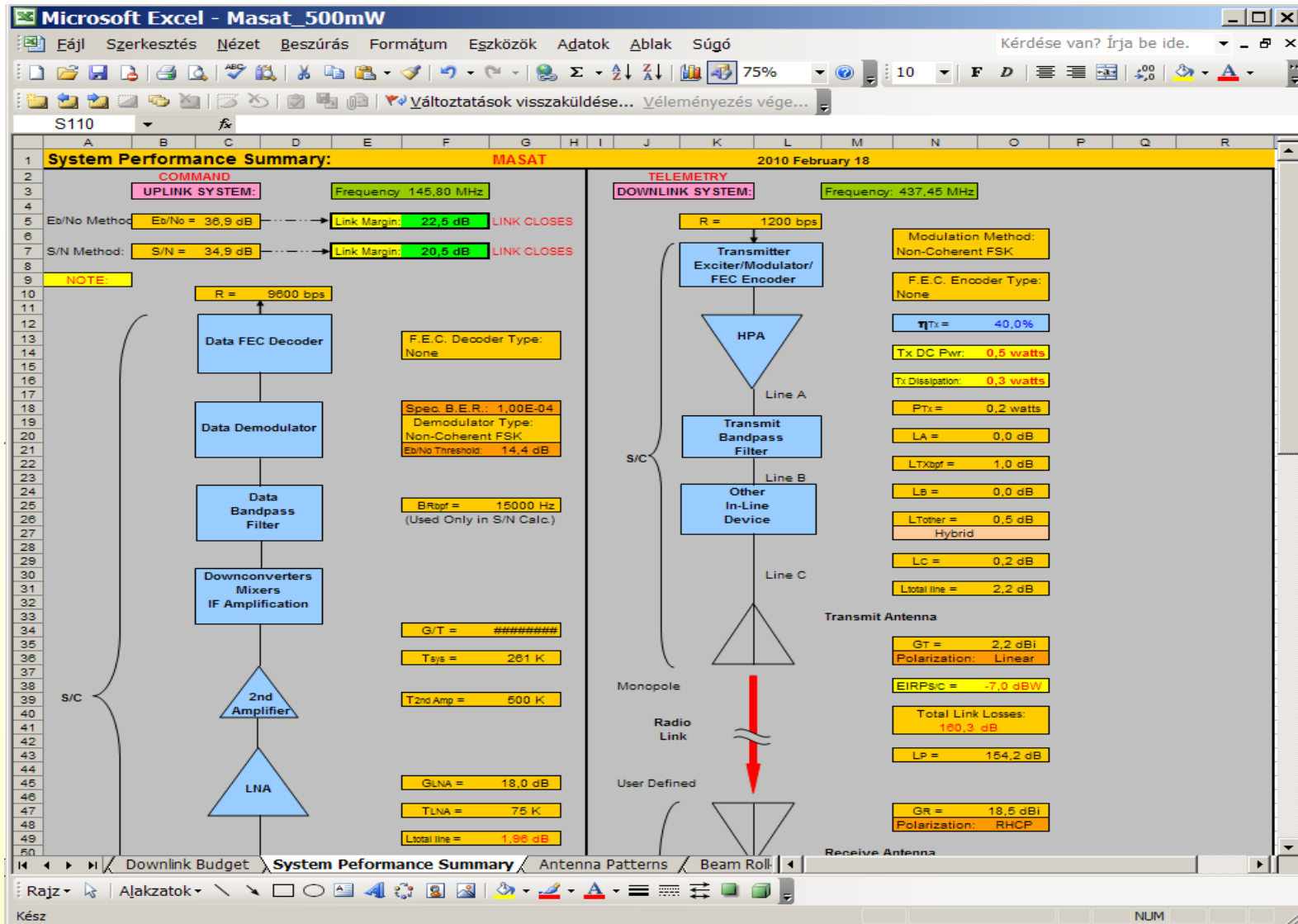
9. Összeköttetés számítás

Alphasat beacon vevő a BME-HVT-n

Frekvencia (f)	39402,0	MHz	
Adó teljesítmény (P_{TX})	7,0	dBW	
Feltételezett ant. nyereség minusz veszt. (G_T)	19,5	dB	
Garantált EIRP	26,5	dBW	$EIRP [dBW] = 10 \log P_{TX} + G_T$
Föld-műhold távolság	38400,0	Km	
Szabadtéri csillapítás (L)	217,3	dB	$L [dB] = 20 \log d + 20 \log f + 92,45$
Összegzett nem eső okozta csillapítás (A)	2,0	dB	
Vevő antenna nyereség (G_{Ant})	39,2	dB	$G_{ant} = 20 \log D + 20 \log f + 10 \log \eta + 20,4$
Vevő zajtényezője (F)	3,0	dB	
Antenna zajhőmérséklete (T_{Ant})	25,0	K	
Vevő rendszer zajhőmérséklete (T_{Sys})	288,6	K	$T_{Sys} = T_{Ant} + T_{Rain} + T_{LNA} + T_{Re c'}$
Vevő rendszer G/T	14,2	dB/K	$G/T [dB / K] = G_{Ant} [dBi] - 10 \log T_{Sys} [K]$
Vett vivő teljesítmény (C)	-153,6	dBW	$C [dBW] = EIRP - L - A$
Zaj teljesítmény sűrűség (N_0)	-204,0	dBW/Hz	
Vevő sáv szélesség (B)	65,0	Hz	
Zaj teljesítmény (N)	-185,8	dBW	$N [dBW / Hz] = N_0 + 10 \log (B [Hz])$
Jel/zaj viszony (C/N)	32,2	dB	$C/N [dB] = C - N$
$(C/N)_{min}$ (Approx)	4,2	dB	$C/N = (E_b / N_0) * (R / B)$
Eső tartalék	28,0	dB	$Margin [dB] = (C/N) - (C/N)_{min}$

10. Összeköttetés számítás

Jan A. King, W3GEY/VK4GEY Excell programja



9. Összeköttetés számítás SW

- ◆ <https://www.amsat.org/tools-for-calculating-spacecraft-communications-link-budgets-and-other-design-issues/>
- ◆ <http://www.amsat.org.uk/iaru/spreadsheet1.asp>
- ◆ <http://exceltemplates.net/engineering/satellite-link-budget>

Az anyaghoz kapcsolódó kérdések:

- Mi az EIRP? Ha egy műhold adóteljesítménye 10 W, az adóantenna nyeresége 20 dBi, mekkora az EIRP?
 - Mi az a zajtényező? Ha egy vevőnek 3 dB a zajtényezője mennyi a T_{rec} értéke?
 - Mi a C/N, C/N₀ E_b/N₀?
 - Földi vevőállomásnál mikrohullámú összeköttetés esetén mivel kell korrigálni a szabadtéri csillapítás értékét?
 - Hogyan határozzuk meg egy vevőállomás bemeneti zajhőmérsékletét (T_{Sys})?
 - Hogyan határozzuk meg egy vevőállomás G/T paraméterét?
 - Ha egy vevő állomás egységei az alábbi paraméterekkel rendelkeznek
 - ◆ T_{Ant} = 30 K,
 - ◆ G_{Ant} = 30,7 dB,
 - ◆ F_{LNA} = 1 dB,
 - ◆ G_{LNA} = 20 dB
 - ◆ T_{Rec} = 200 K
- és az eső okozta zajnövekmény 10 K mennyi a vevőállomás G/T-je?

Köszönöm a figyelmet