

B2B17TBK

Technika bezdrátové komunikace

Pavel Pechač

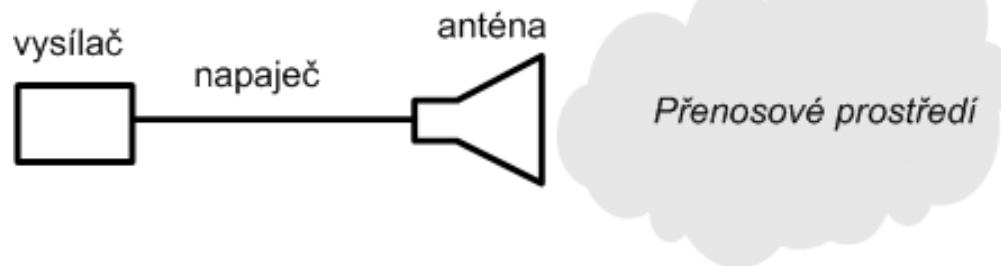
FEL ČVUT v Praze

Katedra elektromagnetického pole

ÚVOD DO ŠÍŘENÍ VLN PRO RÁDIOVÉ SPOJE

Slidy byly vytvořeny jako podpora při sledování výkladu přednášky. Proto je jejich využití pro samostudium či jako podklad k přípravě na zápočtový text velmi omezené, neboť některé klíčové poznatky a ukázkové příklady jsou vysvětlovány na tabuli a většina obrázků vyžaduje slovní doprovod. Pro samostudium je na Moodlu k dispozici samostatný učební text.

Volný prostor



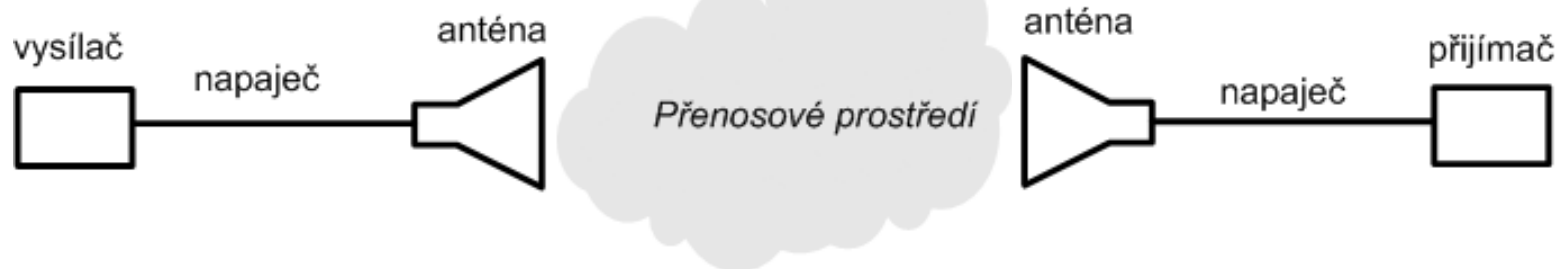
$$S_{\text{vyz}} = \frac{P_{\text{vyz}}}{4\pi d^2}$$
$$S_{\text{vyz}} = |\mathbf{E} \times \mathbf{H}| = \frac{|E_{\text{ef}}|^2}{120\pi}$$

$$S_{\text{vyz}} = \frac{P_{\text{vyz}} D_v(\vartheta_v, \varphi_v)}{4\pi d^2} = \frac{\eta_v P_v D_v(\vartheta_v, \varphi_v)}{4\pi d^2} = \frac{P_v G_v(\vartheta_v, \varphi_v)}{4\pi d^2}$$

$$S_{\text{vyz}} = \frac{P_{\text{vyz}}}{4\pi d^2} = \frac{E_{\text{ef}}^2}{120\pi} \Rightarrow E_{\text{ef}} = \frac{\sqrt{30 P_{\text{vyz}}}}{d}$$

$$E_{\text{ef}} = \frac{\sqrt{30 P_v G_v}}{d}$$

Volný prostor



$$S_{\text{vyz}} = \frac{P_{\text{vyz}}}{4\pi d^2}$$

$$S_{\text{vyz}} = |\mathbf{E} \times \mathbf{H}| = \frac{|E_{\text{ef}}|^2}{120\pi}$$

$$S_{\text{vyz}} = \frac{P_{\text{vyz}}}{4\pi d^2} = \frac{E_{\text{ef}}^2}{120\pi} \Rightarrow E_{\text{ef}} = \frac{\sqrt{30P_{\text{vyz}}}}{d}$$

$$S_{\text{vyz}} = \frac{P_{\text{vyz}} D_v(\vartheta_v, \varphi_v)}{4\pi d^2} = \frac{\eta_v P_v D_v(\vartheta_v, \varphi_v)}{4\pi d^2} = \frac{P_v G_v(\vartheta_v, \varphi_v)}{4\pi d^2}$$

$$E_{\text{ef}} = \frac{\sqrt{30P_v G_v}}{d}$$

$$P_p = S_v A_p = \frac{P_v G_v}{4\pi d^2} G_p \frac{\lambda^2}{4\pi} = P_v G_v G_p \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$$A_p = G_p \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

Ideální přenosová rovnice (Friisův vztah)



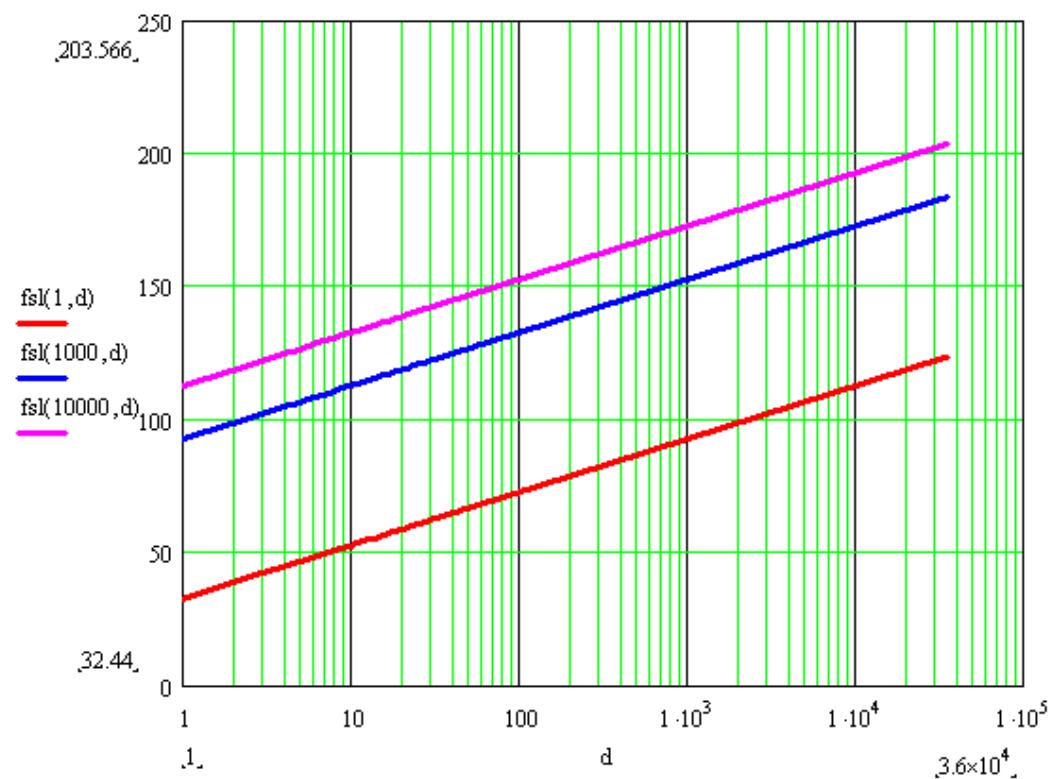
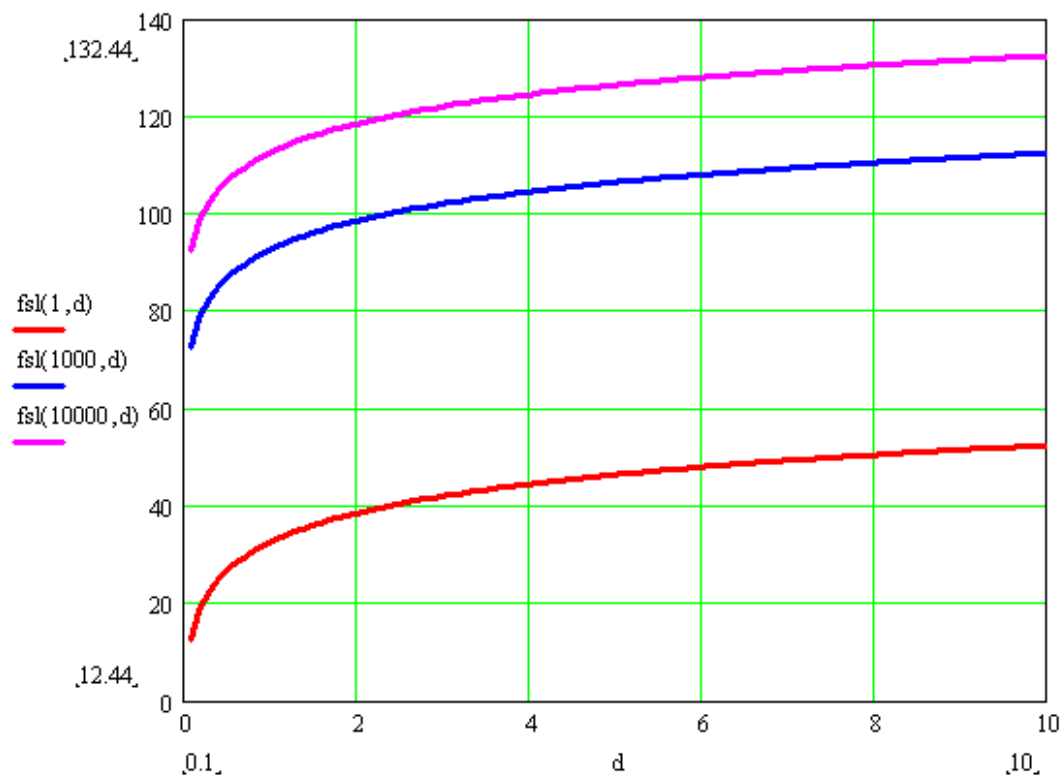
$$E = \frac{\sqrt{30 P_v G_v}}{d} \quad \frac{P_p}{P_v} = G_v G_p \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = G_v G_p \frac{1}{L_o}$$

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

$$P_p = P_v + G_v + G_p - L_o = EIRP + G_p - L$$

$$L_0 = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 32,4 + 20 \log(f_{MHz}) + 20 \log(d_{km})$$

$$L_{odB} = FSL_{dB} = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = 32,44 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log d_{km}$$



Příklad – FSL (dB)

$$L_{FSL} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 32,4 + 20 \log(f_{MHz}) + 20 \log(d_{km})$$

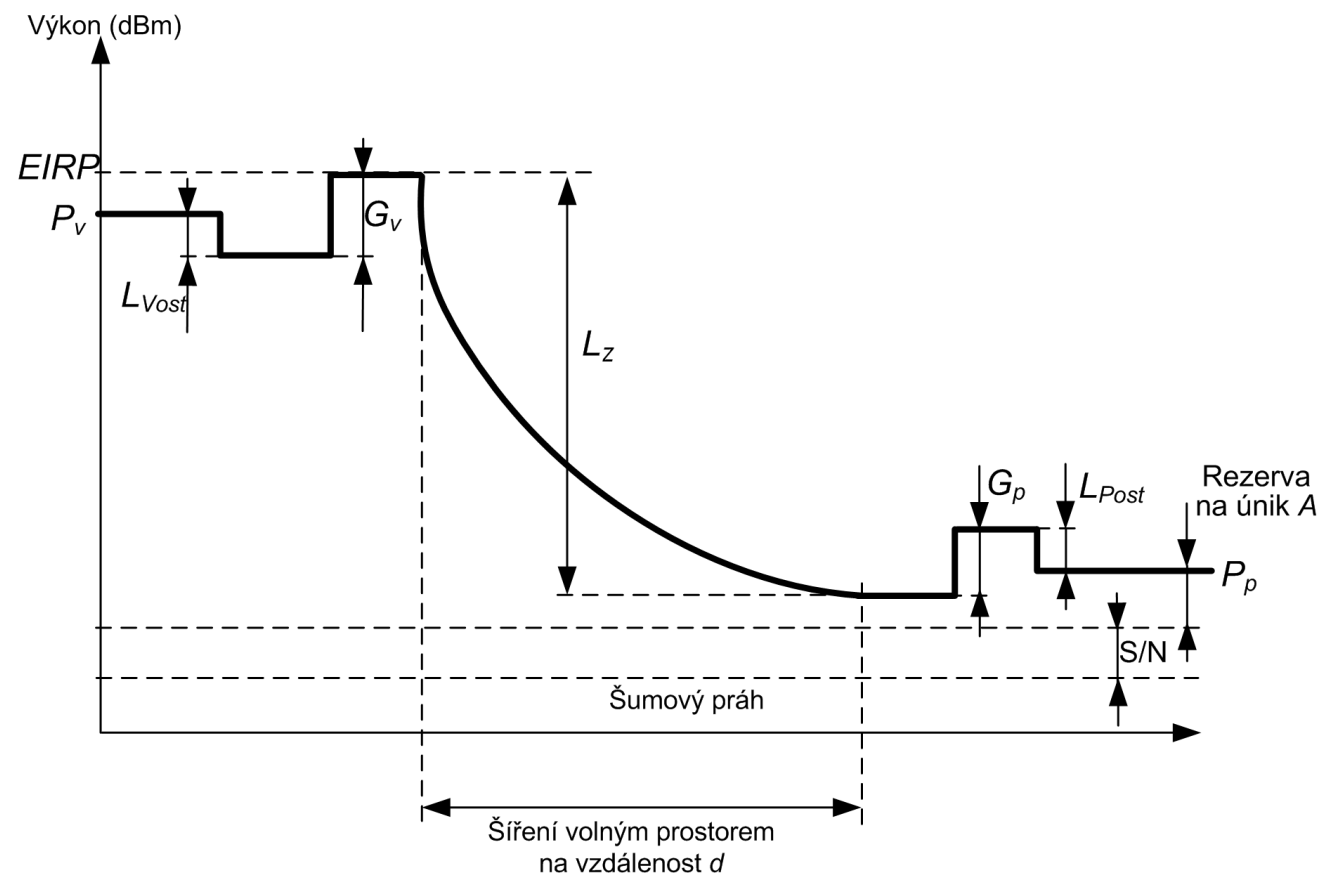
d (m) / f (MHz)	450	900	1800	2500	5000	10000	20000	40000	
1	26	32	38	40	46	52	58	64	+20 dB
10	46	52	58	60	66	72	78	84	
100	66	72	78	80	86	92	98	104	
1000	86	92	98	100	106	112	118	124	
5000	99	106	112	114	120	126	132	138	+6 dB
10000	106	112	118	120	126	132	138	144	
30000	115	121	127	130	136	142	148	154	
750000	143	149	155	158	164	170	176	182	+34 dB
36000000	177	183	189	192	198	204	210	216	

+6 dB

Výkonová bilance rádiového spoje

$$P_{P\min} \leq P_p = P_V + G_V + G_P - L_c - L_{ost}$$

$$SNR_{\min} \leq SNR = P_p - 10 \log(kTB) = P_V + G_V + G_P - L_c - L_{ost} - 10 \log(kTB)$$

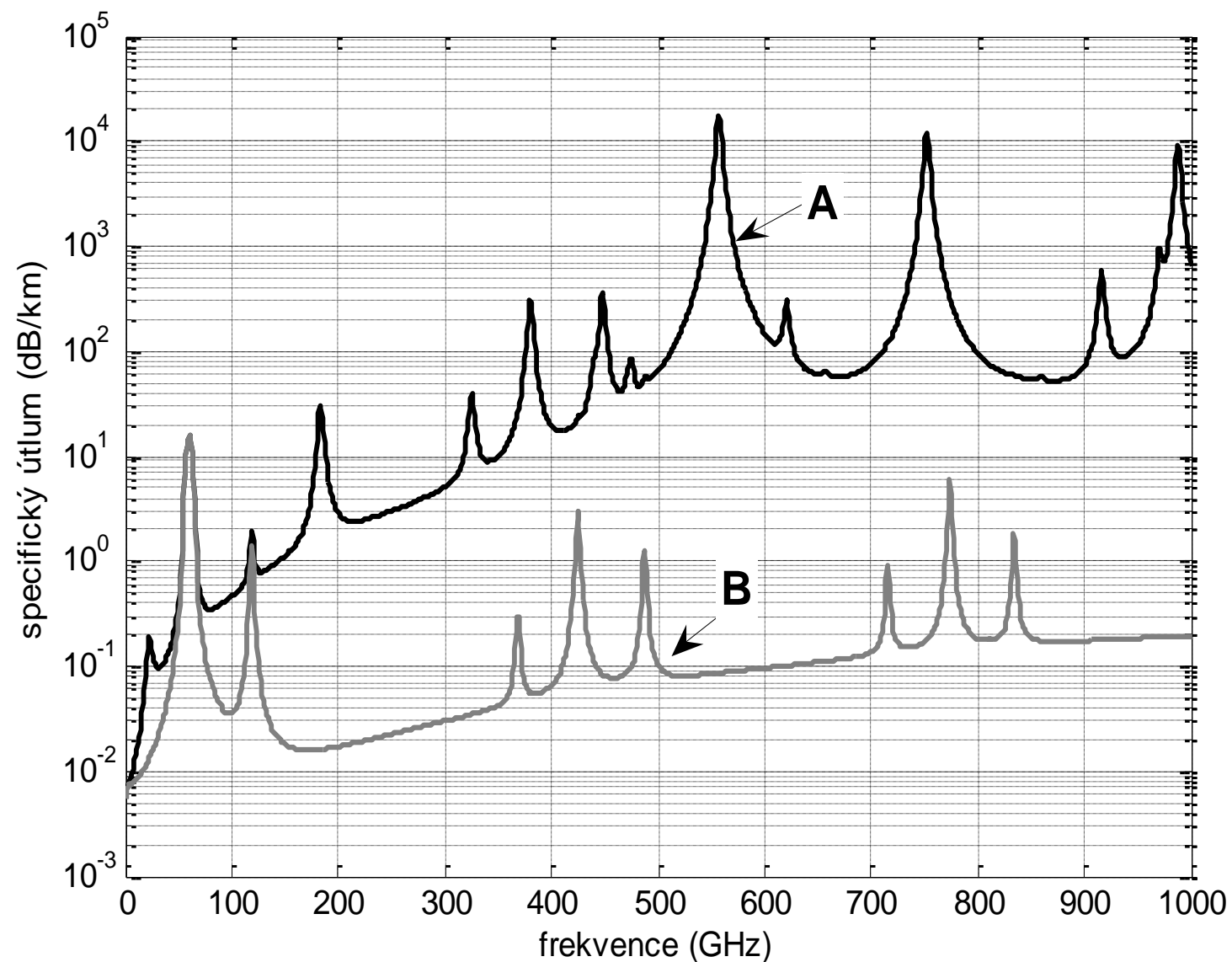


$$L_c = L_z + L_f$$

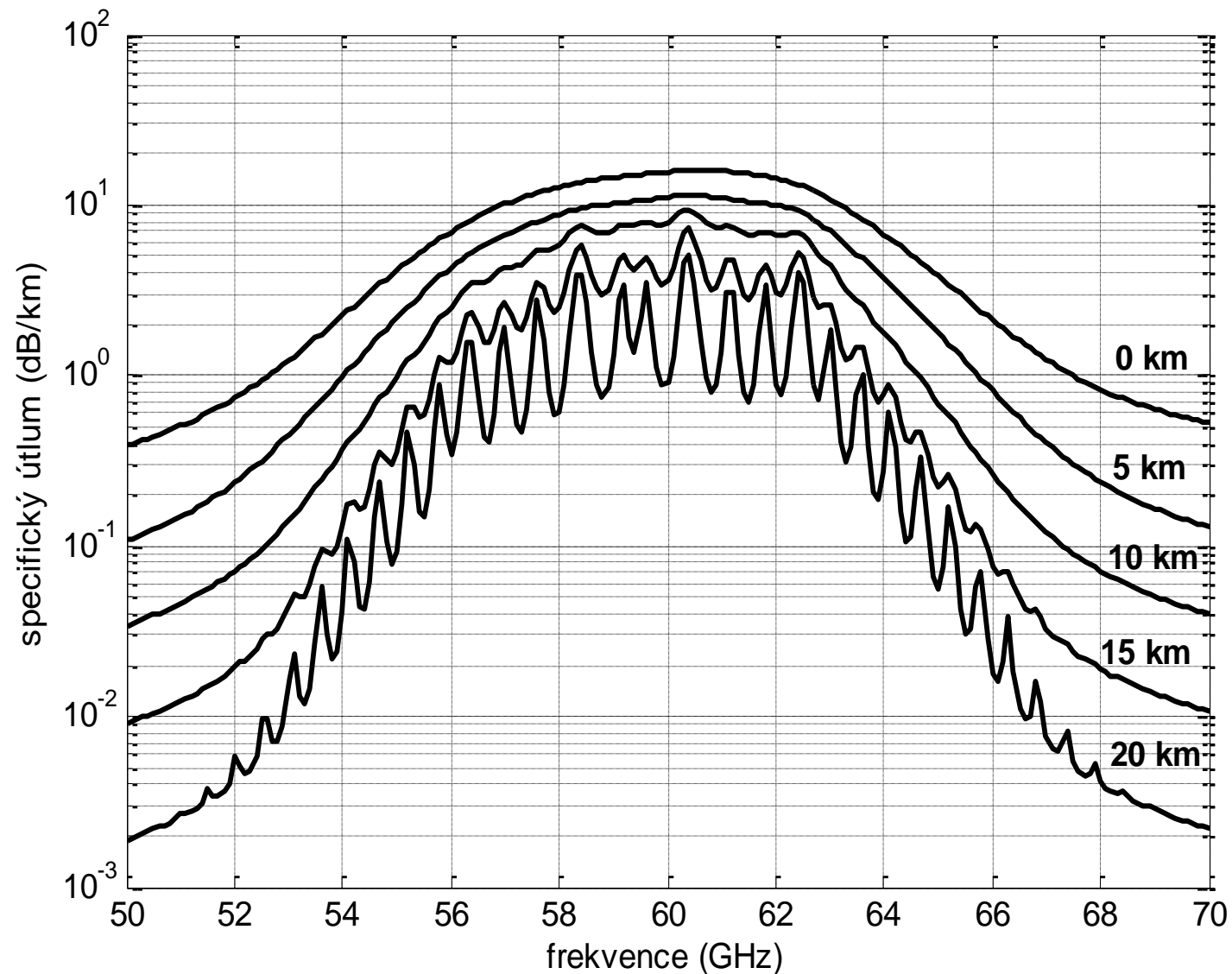
$$P_{P0} = P_V + G_V + G_P - L_z - L_{ost}$$

$$A = P_{P0} - P_{P\min}$$

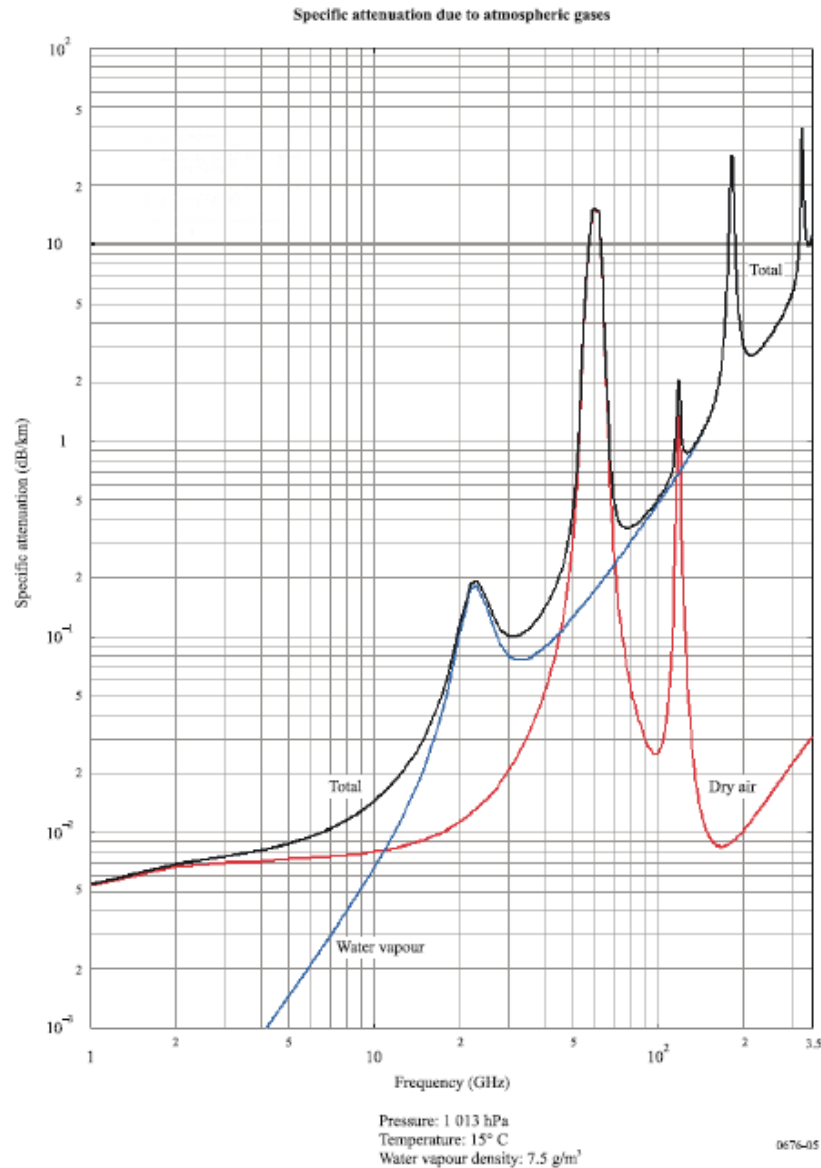
Specifický útlum rádiových vln způsobený absorpcí atmosférickými plyny
pro $T = 286$ K a tlak 1013 hPa;
A – referenční atmosféra ($7,5 \text{ g/m}^3$), B – suchá atmosféra (0 g/m^3)



Specifický útlum způsobený molekulami kyslíku v závislosti na nadmořské výšce



Aproximace 1 – 350 GHz



$$\gamma_o = \left(\frac{7,2r_t^{2,8}}{f^2 + 0,34r_p^2r_t^{1,6}} + \frac{0,62\xi_3}{(54-f)^{1,16\xi_1} + 0,83\xi_2} \right) f^2 r_p^2 \times 10^{-3}$$

$$\xi_1 = r_p^{0,0717} r_t^{-1,8132} e^{0,0156(1-r_p)-1,6515(1-r_t)}$$

$$\xi_2 = r_p^{0,5146} r_t^{-4,6368} e^{-0,1921(1-r_p)-5,7416(1-r_t)}$$

$$\xi_3 = r_p^{0,3414} r_t^{-6,5851} e^{0,2130(1-r_p)-8,5854(1-r_t)}$$

$$r_p = \frac{p}{1013}$$

$$r_t = \frac{288}{273+t}$$

$$\begin{aligned} \gamma_w = & \left[\frac{3,98\eta_1 \exp(2,23(1-r_t))}{(f-22,235)^2 + 9,42\eta_1^2} g(f,22) + \frac{11,96\eta_1 \exp(0,7(1-r_t))}{(f-183,31)^2 + 11,14\eta_1^2} \right. \\ & + \frac{0,081\eta_1 \exp(6,44(1-r_t))}{(f-321,226)^2 + 6,29\eta_1^2} + \frac{3,66\eta_1 \exp(1,6(1-r_t))}{(f-325,153)^2 + 9,22\eta_1^2} \\ & + \frac{25,37\eta_1 \exp(1,09(1-r_t))}{(f-380)^2} + \frac{17,4\eta_1 \exp(1,46(1-r_t))}{(f-448)^2} \\ & + \frac{844,6\eta_1 \exp(0,17(1-r_t))}{(f-557)^2} g(f,557) + \frac{290\eta_1 \exp(0,41(1-r_t))}{(f-752)^2} g(f,752) \\ & \left. + \frac{8,33 \cdot 10^4 \eta_2 \exp(0,99(1-r_t))}{(f-1780)^2} g(f,1780) \right] f^2 r_t^{2,5} \rho \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\eta_1 = 0,955 r_p r_t^{0,68} + 0,006 \rho$$

$$\eta_2 = 0,735 r_p r_t^{0,5} + 0,0353 r_t^4 \rho$$

$$g(f, f_i) = 1 + \left(\frac{f - f_i}{f + f_i} \right)^2$$

Útlum atmosférickými plyny – příklad I

případ standardní atmosféry

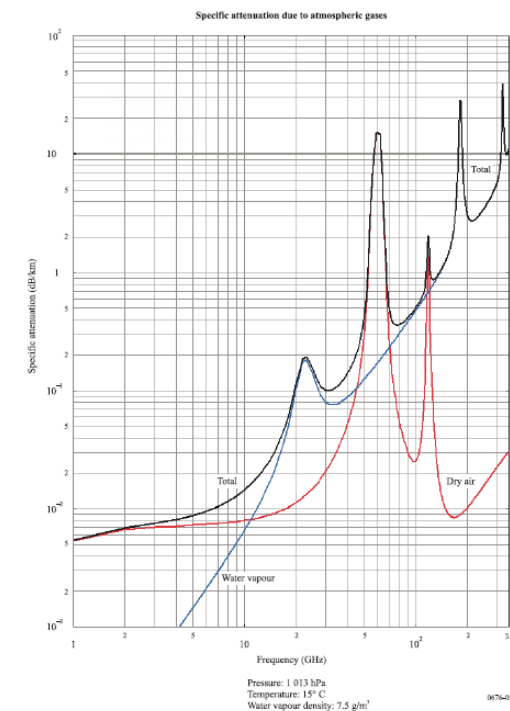
tlak 1013 hPa

teplota 15 °C

absolutní vlhkost 7,5 g/m³

délka trasy $d = 100$ km ($A = \gamma d = \gamma_o d + \gamma_w d$)

f (GHz)	A_o (dB/km)	A_w (dB/km)	$A = A_o + A_w$
2,4	0,7	0,03	0,7
10	0,8	0,7	1,5
24	1,4	16,5	18,0
47	13,0	11,0	24,0
76	9,0	27,0	36,0



Útlum atmosférickými plyny – příklad II

případ přízemního vlnovodného kanálu

tlak 900 hPa

teplota 15 °C

absolutní vlhkost 3 g/m³

délka trasy $d = 100$ km ($A = \gamma d = \gamma_o d + \gamma_w d$)

f (GHz)	A_o (dB/km)	A_w (dB/km)	$A = A_o + A_w$
2,4	0,6	0,01	0,6
10	0,6	0,2	0,9
24	1,2	6,7	7,9
47	11,0	4,0	15,0
76	6,8	8,6	15,4

