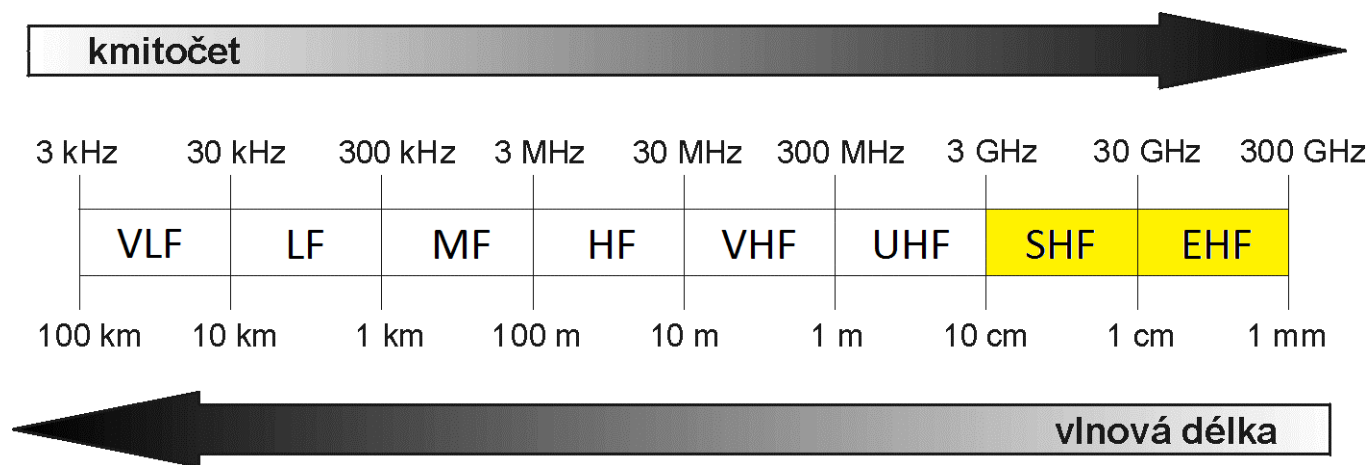


Pevné směrové spoje

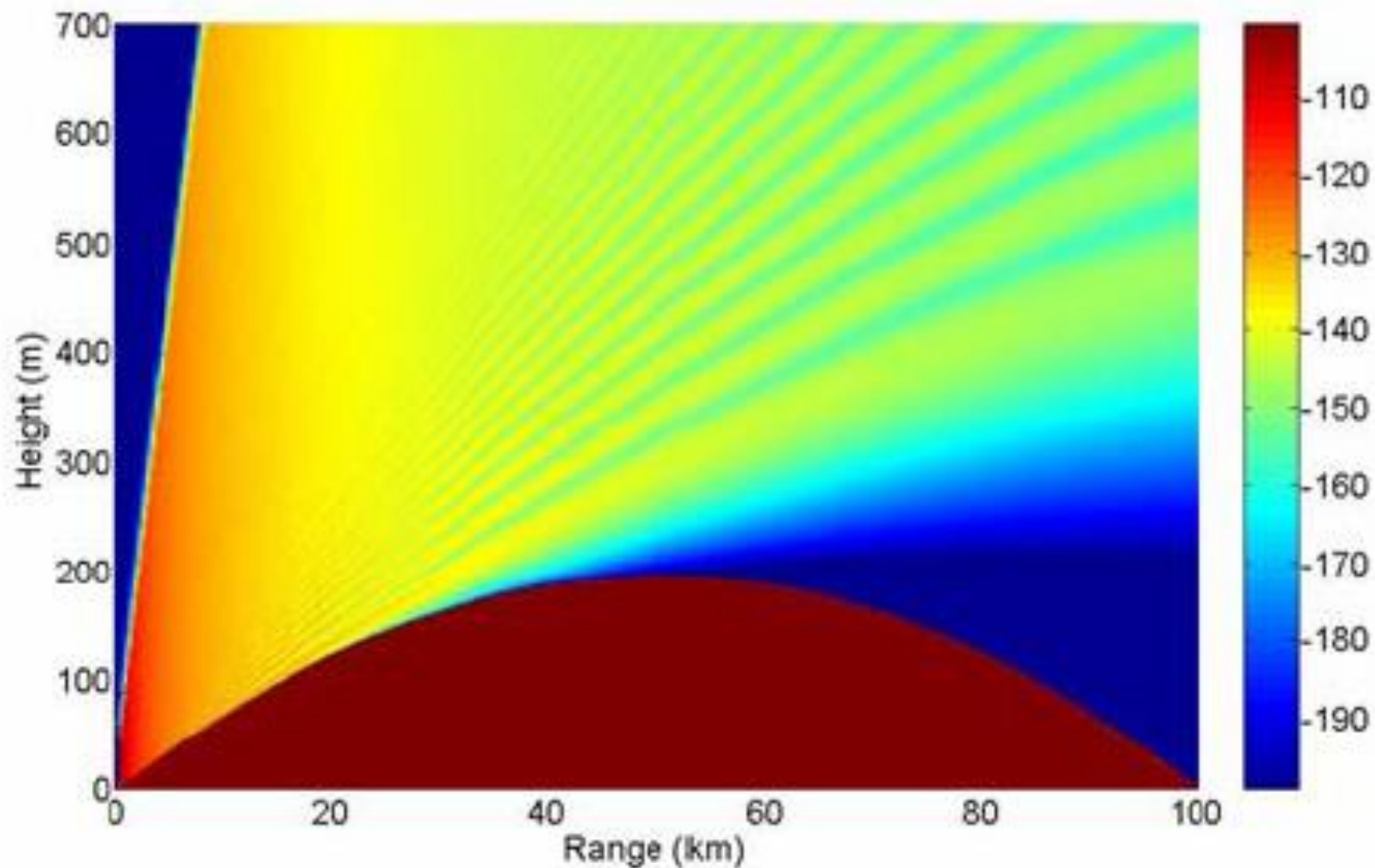


- n Absorpce atmosférickými plyny
- n Troposférická refrakce
- n Změny indexu lomu v troposféře
- n Srážky
- n Rozptyl
- n Vícecestné šíření
- n Difrakce
- n Odraz

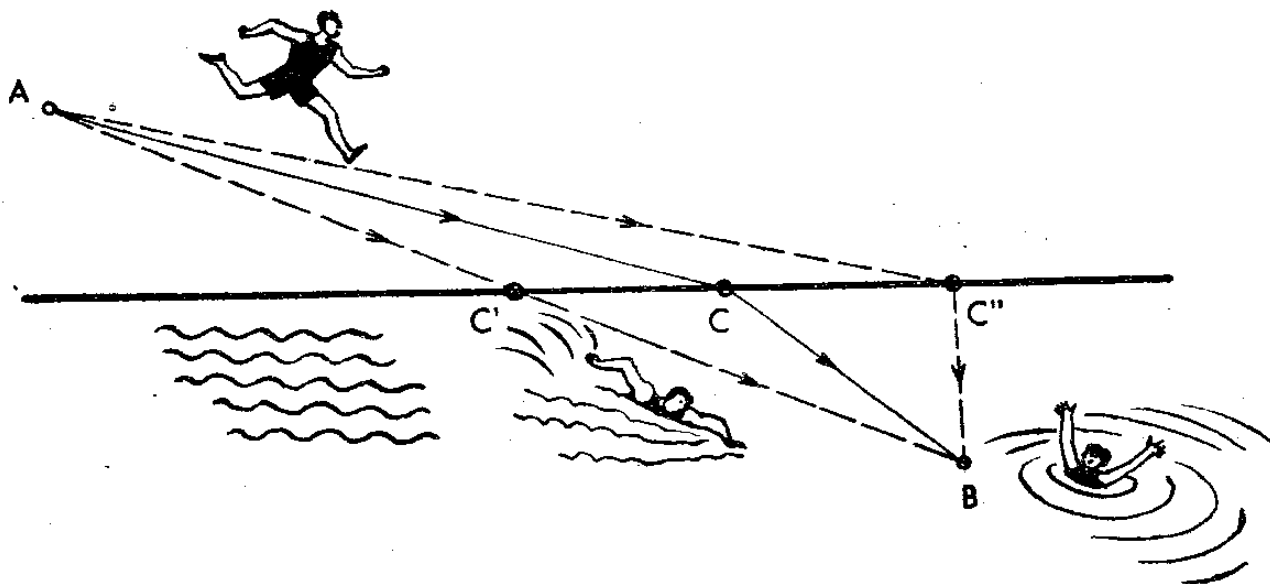
Slidy byly vytvořeny jako podpora při sledování výkladu přednášky. Proto je jejich využití pro samostudium či jako podklad k přípravě na zápočtový text velmi omezené, neboť některé klíčové poznatky a ukázkové příklady jsou vysvětlovány na tabuli a většina obrázků vyžaduje slovní doprovod. Pro samostudium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

Přízemní prostorová vlna v troposféře

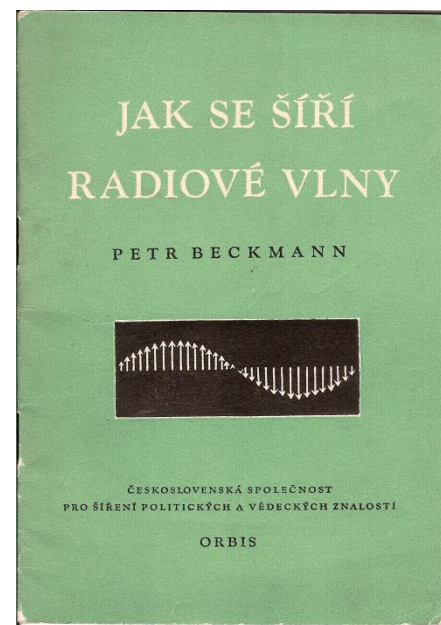
2



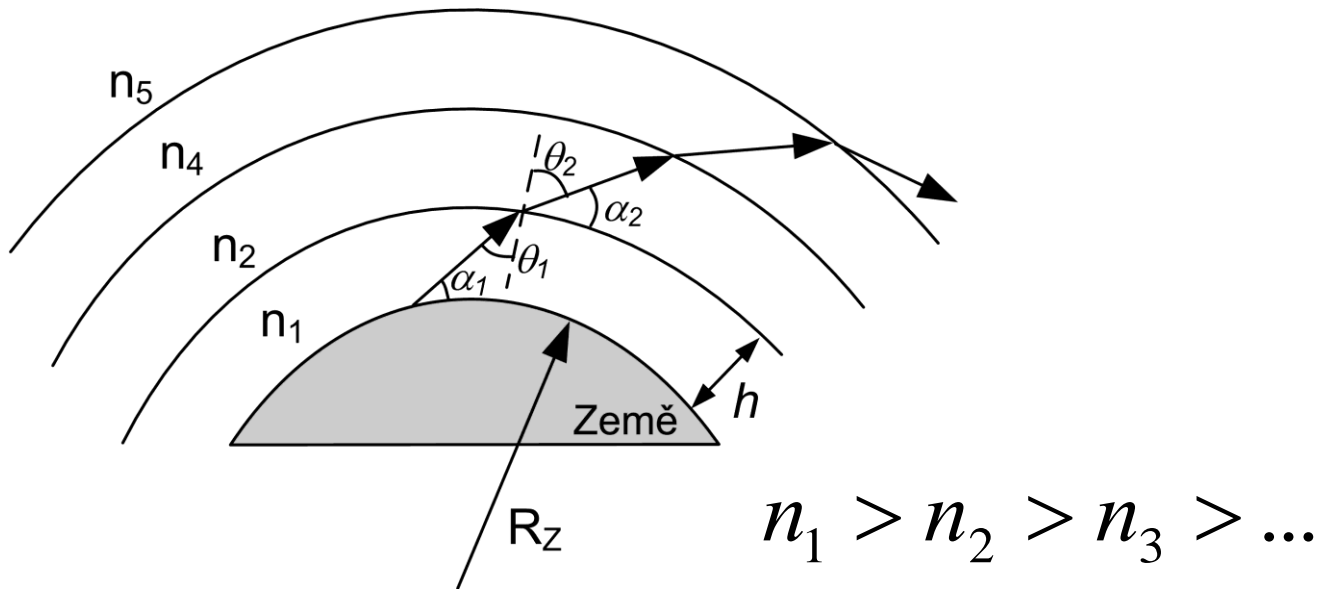
Fermatův princip



Obr. 11. Jak nejrychleji zachránit tonoucího anebo jak se lámou elektromagnetické vlny.



Troposférická refrakce



n Refraktivita

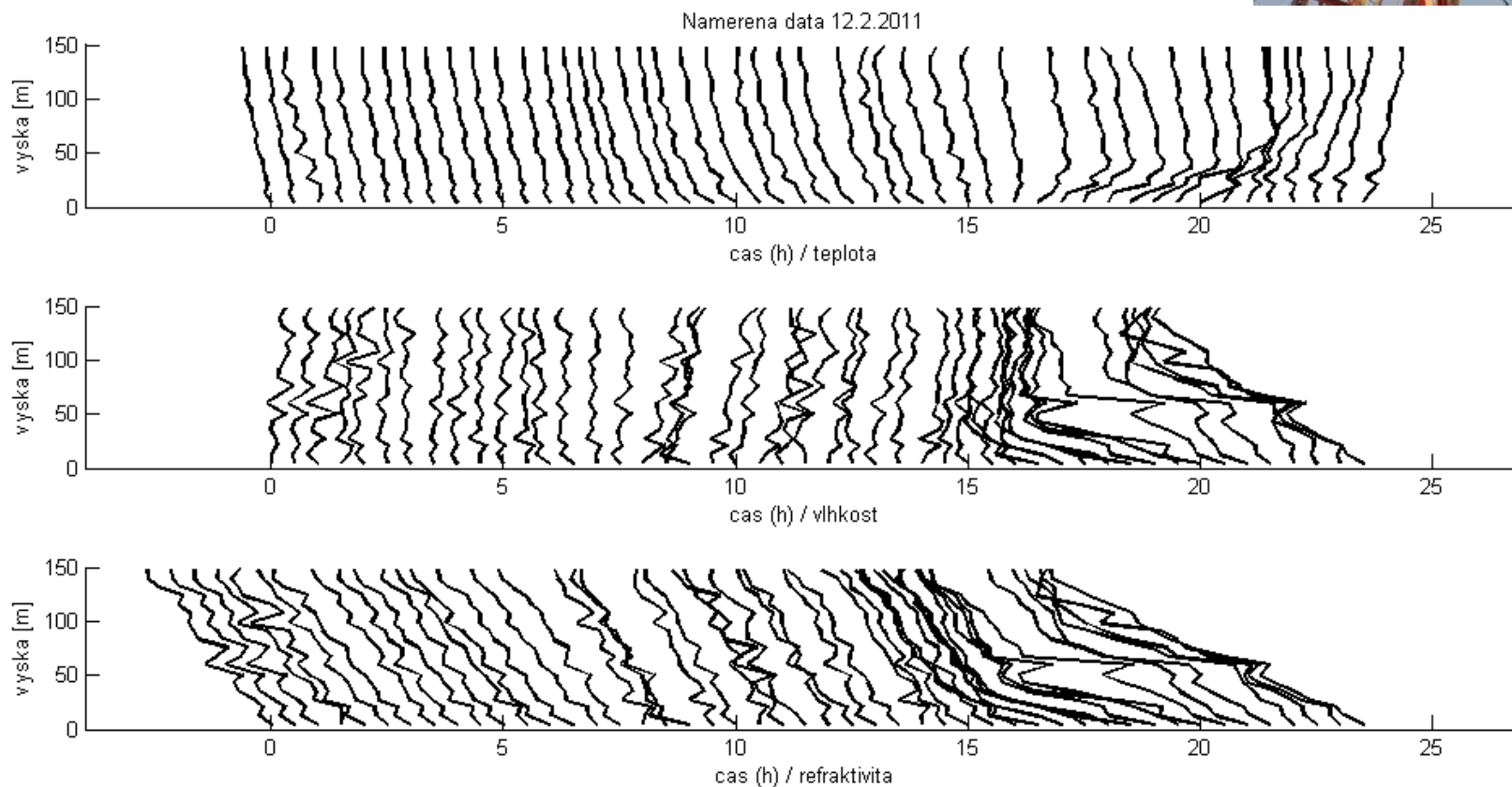
$$N = (n - 1) \cdot 10^6$$

Časový vývoj dN/dh

5

n Příklad z dlouhodobého měření v Poděbradech

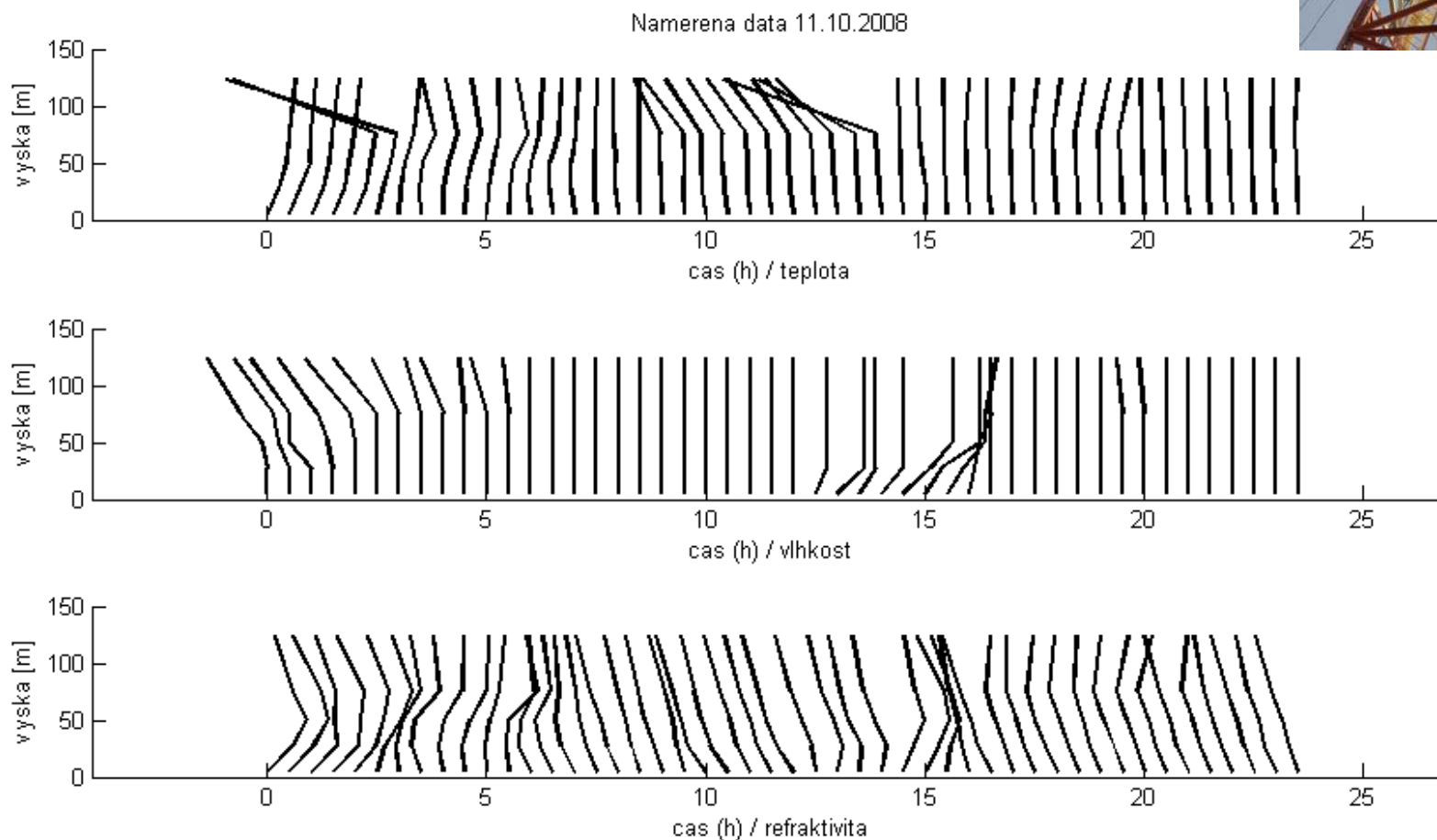
- ♦ Standardní refrakce
- ♦ Superrefrakce



Časový vývoj dN/dh

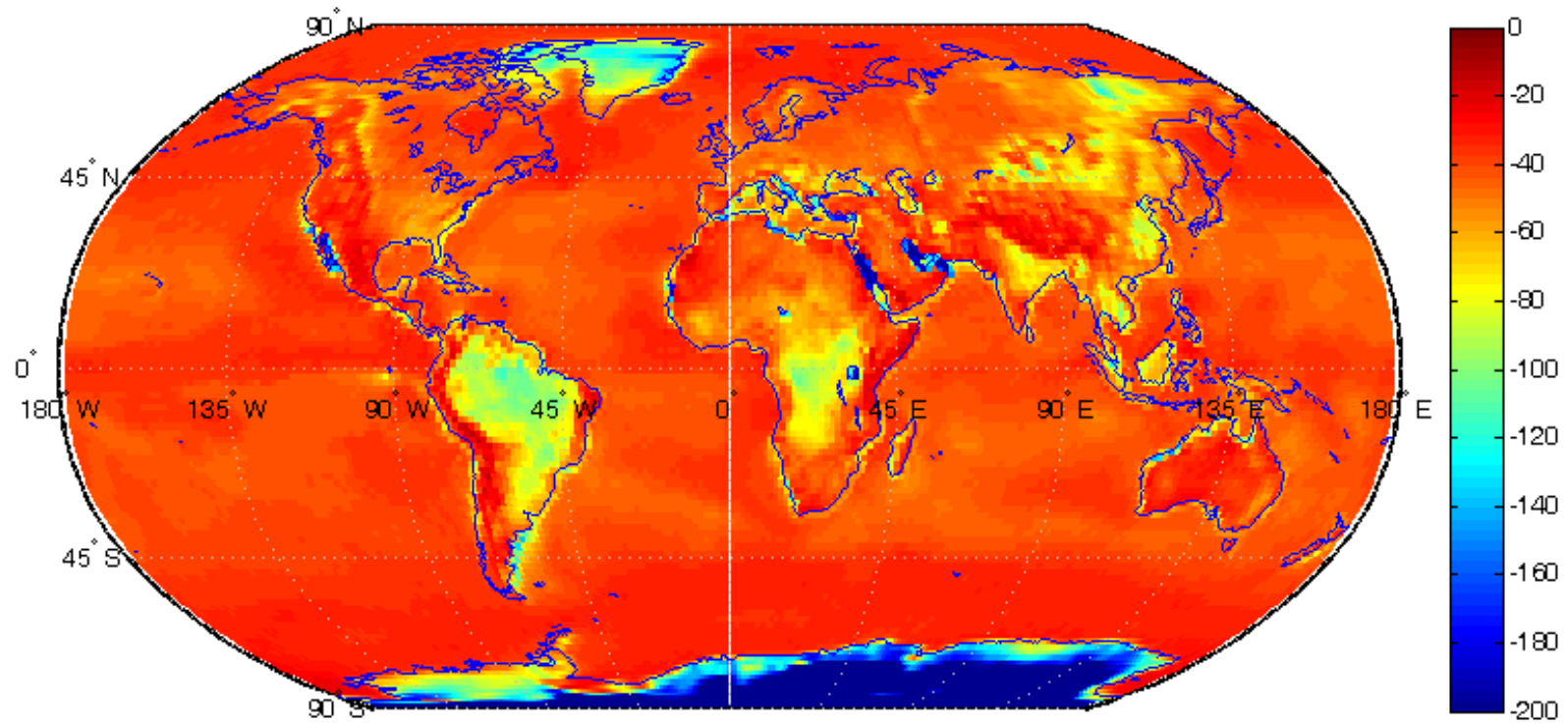
n Příklad z dlouhodobého měření v Poděbradech

- ♦ Standardní refrakce
- ♦ Subrefrakce

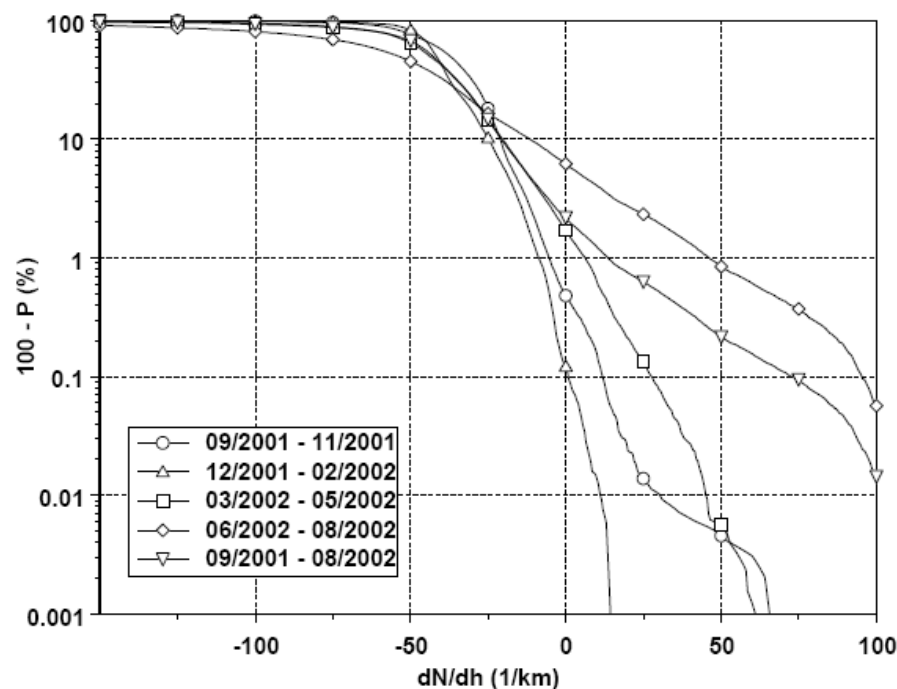
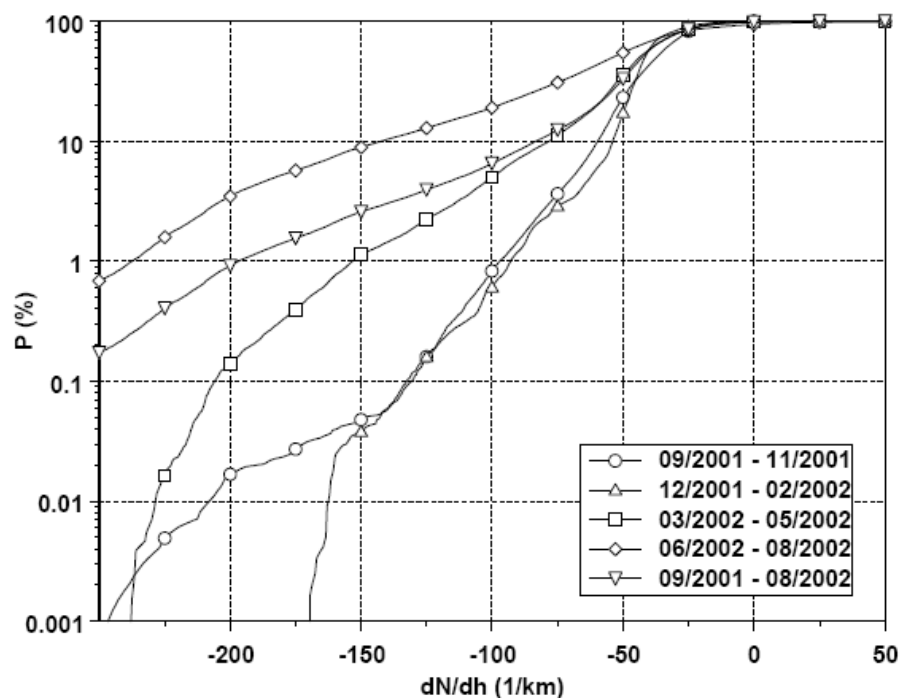


Mapa průměrné hodnoty výškového gradientu refraktivity v N/km (ITU-R Rec.P.453-8)

7



Statistika výškového gradientu N



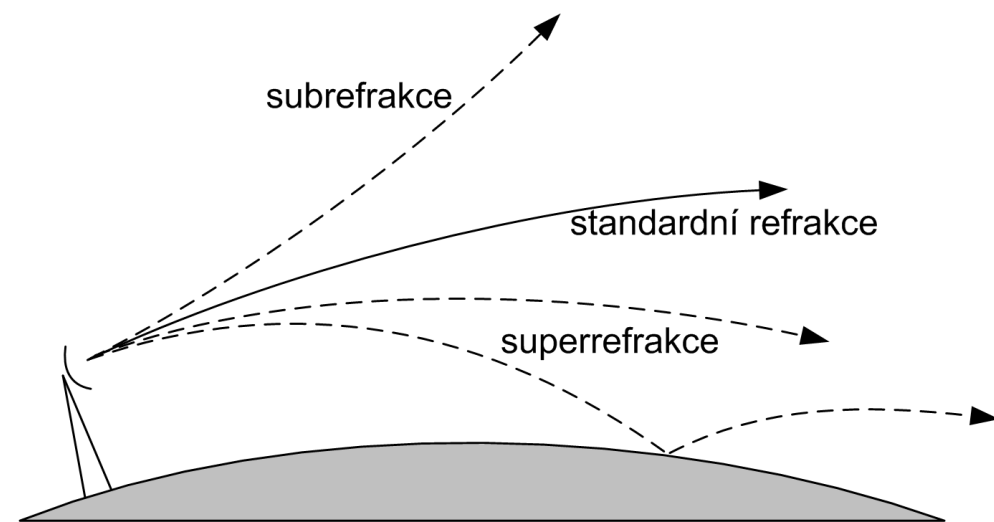
Percentage (%)	(dN/dh) (km ⁻¹)
1	-196.7
10	-83.2
50	-42.6
90	-20.7
99	13.5

převzato z M. GRÁBNER, V. KVIČERA: *Refractive Index Measurement at TV Tower Prague*, *Radioengineering*, vol. 12, no. 1, April 2003

Standardní refrakce

$$R_k = \frac{1}{-\frac{dn}{dh}} = \frac{10^6}{-\frac{dN}{dh}} \quad R_k = \frac{10^6}{4 \cdot 10^{-2}} = 2,5 \cdot 10^7 \text{ m} = 25000 \text{ km} \approx 4R_Z$$

($R_Z = 6378 \text{ km}$)



subrefrakce

$$dN/dh > -40 \text{ N/km}$$

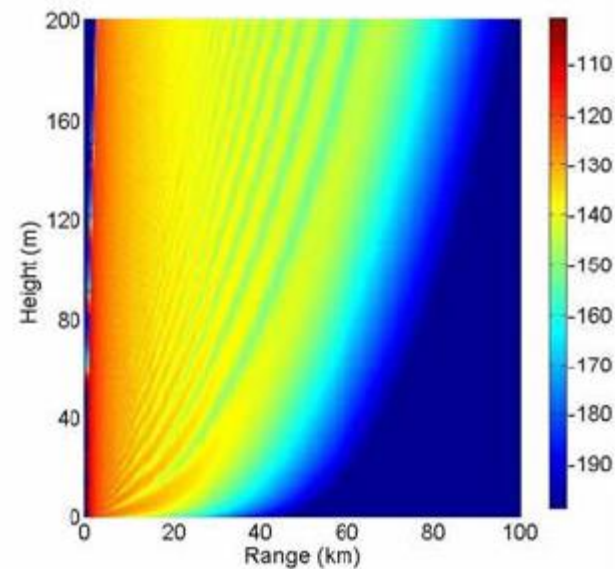
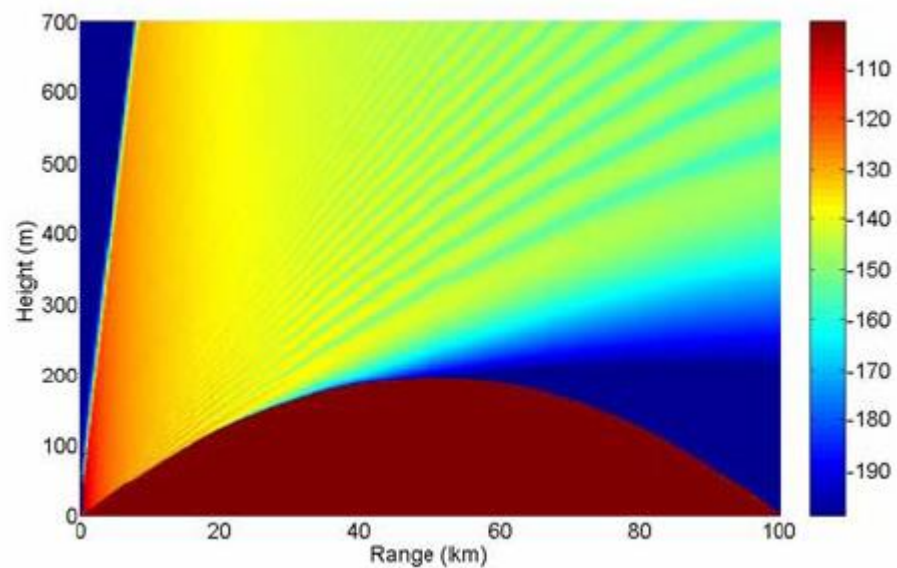
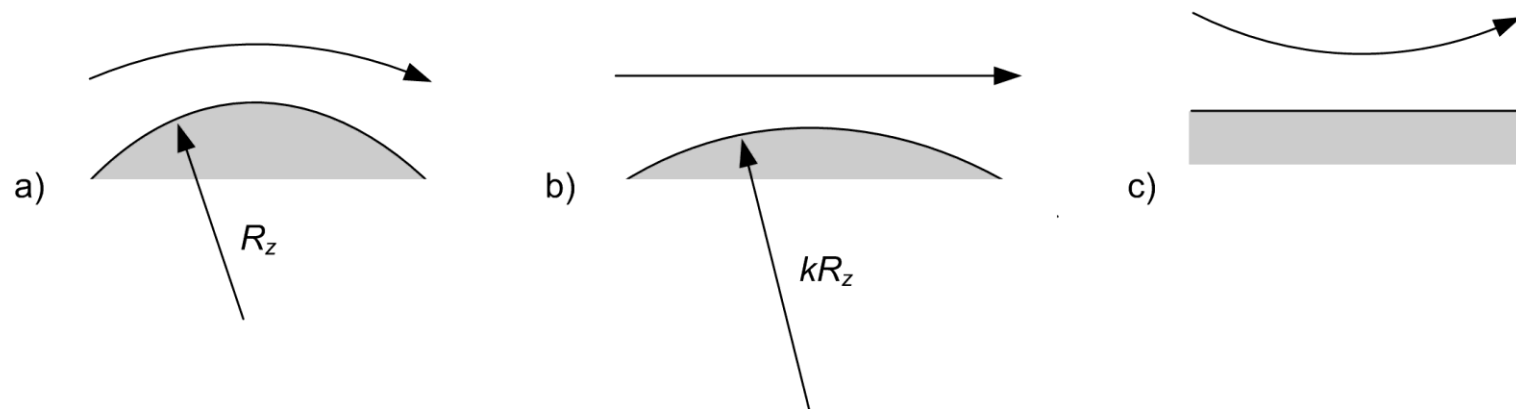
standardní refrakce

$$dN/dh = -40 \text{ N/km}$$

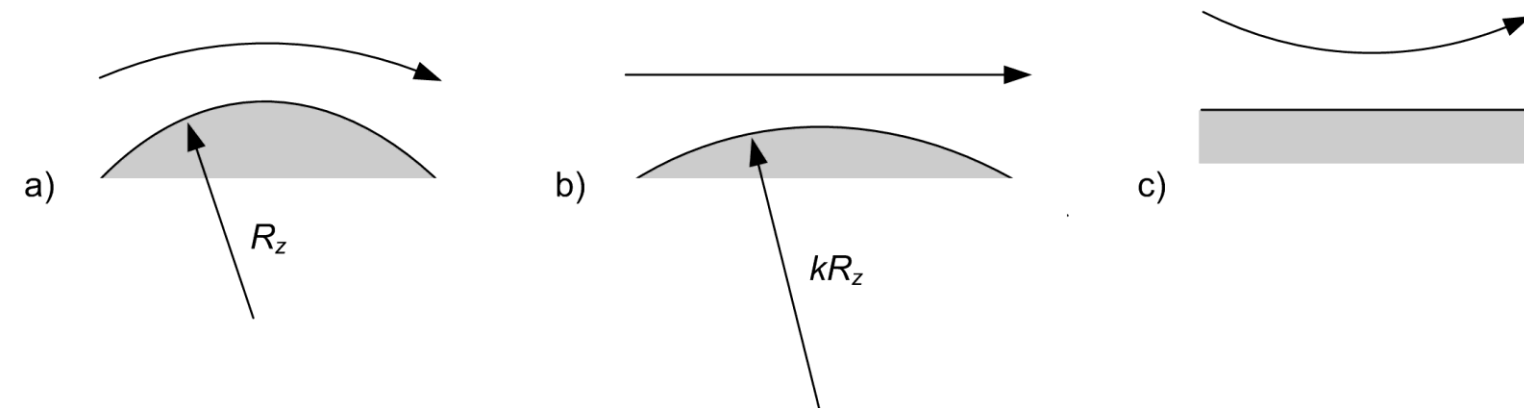
superrefrakce

$$dN/dh < -40 \text{ N/km}$$

Transformace zakřiveného paprsku a) na rovný paprsek b) a na rovinnou zemi c)



Efektivní poloměr Země



$$\frac{1}{R_z} - \frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_e} - \frac{1}{\infty}$$

$$R_e = \frac{R_z}{1 - \frac{R_z}{R_k}} = k_e R_z$$

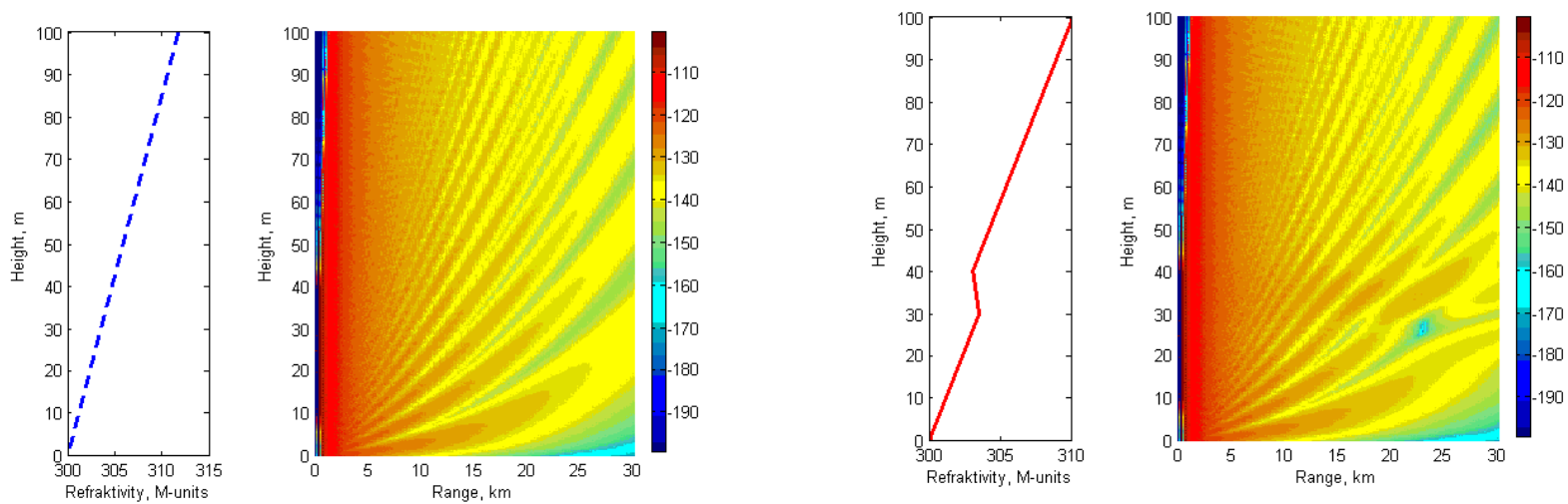
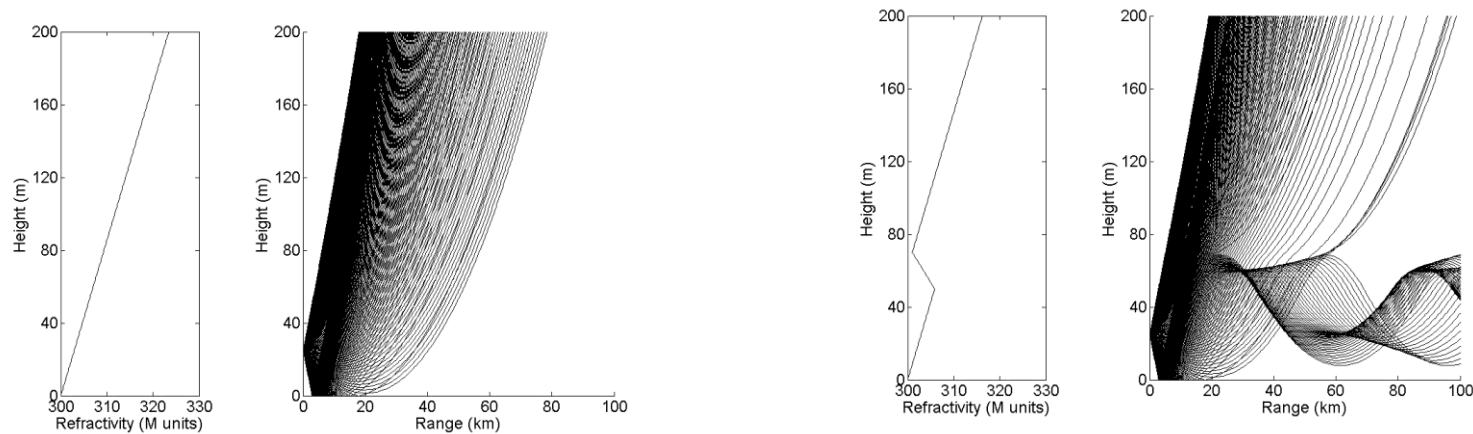
$$k_e = \frac{R_e}{R_z} = \frac{1}{1 + R_z \frac{dN}{dh} 10^{-6}}$$

Standardní atmosféra:

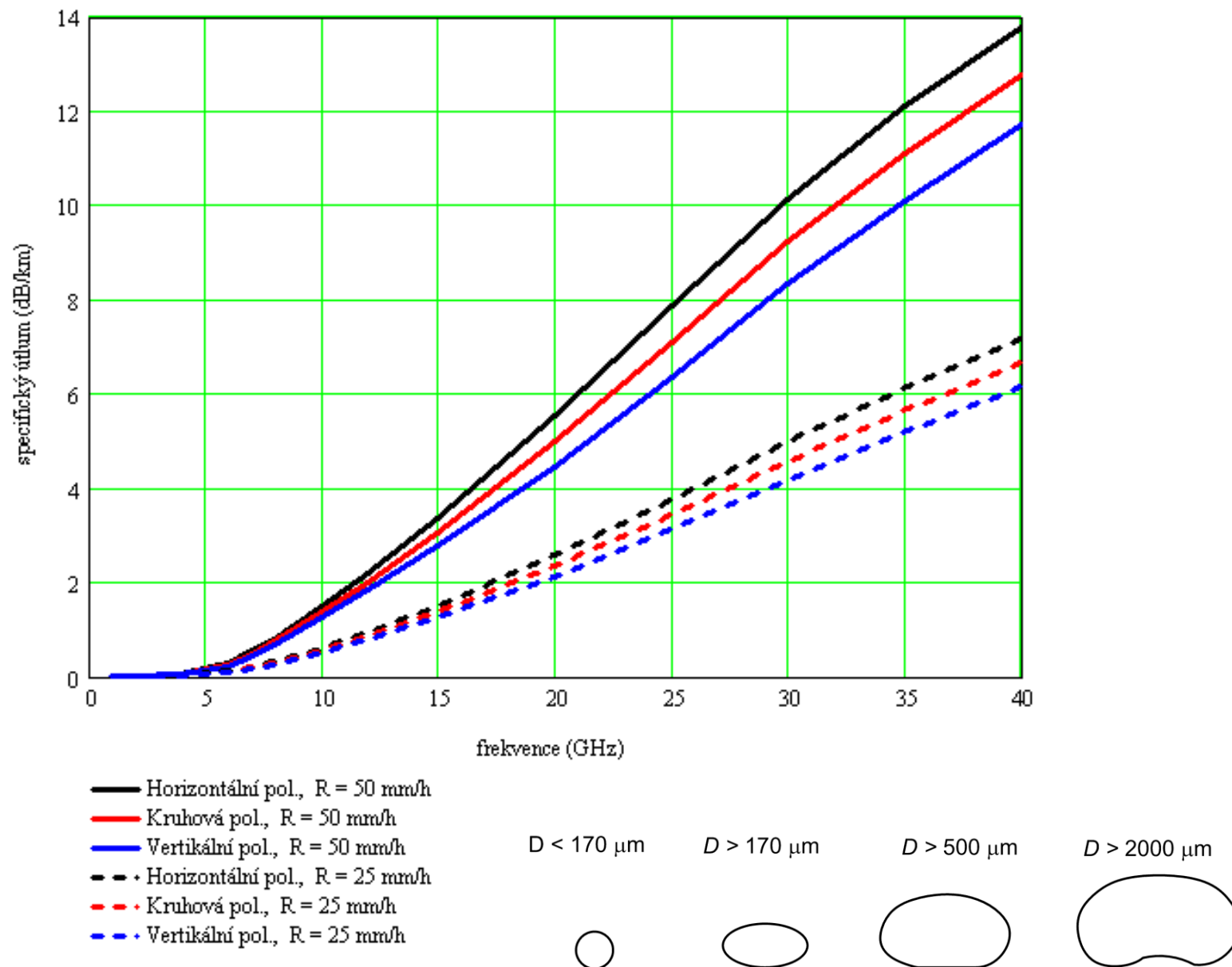
$$k_e = \frac{4}{3}$$

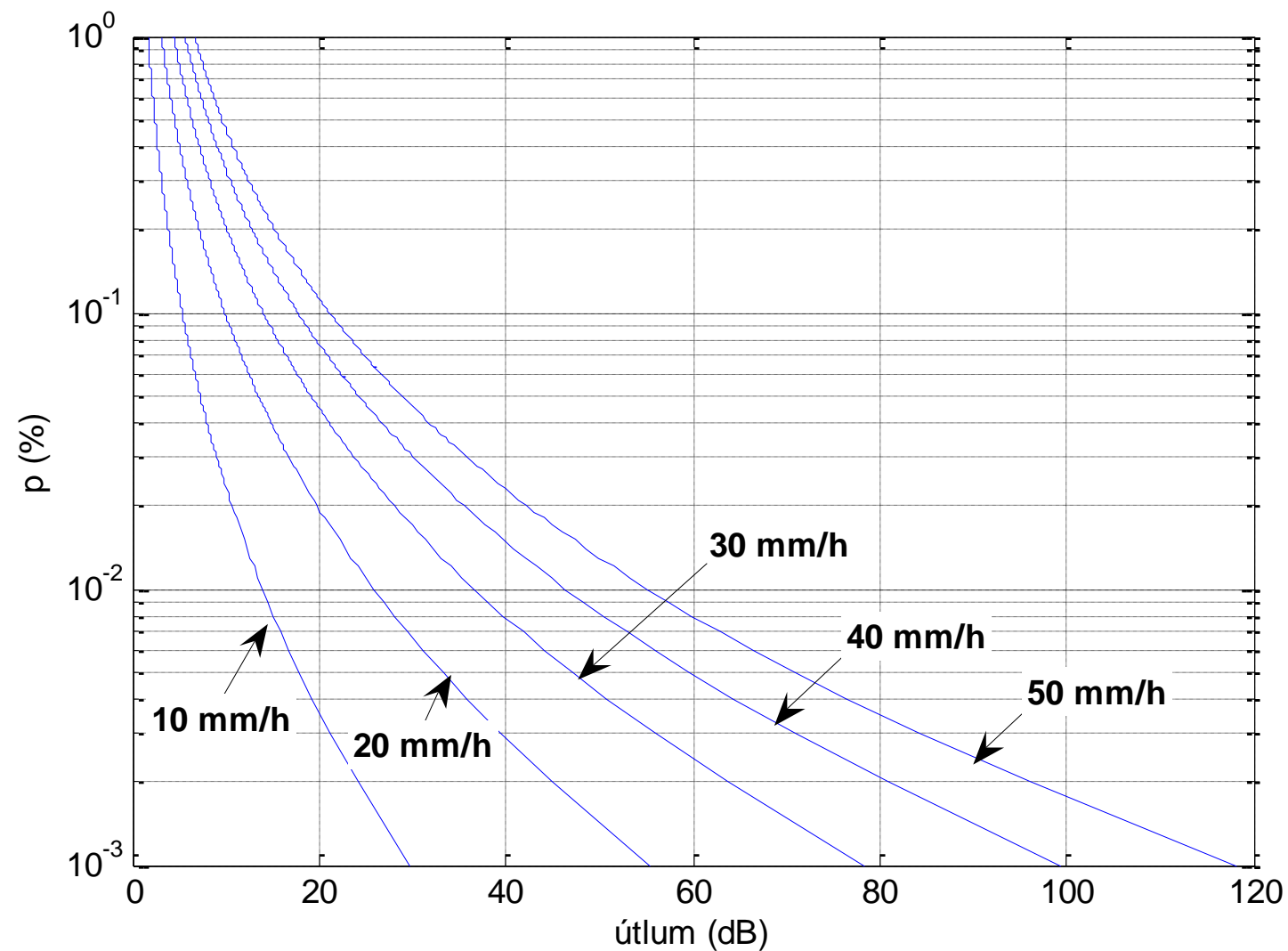
$$R_e = \frac{4}{3} R_z = \frac{4}{3} 6378 \approx 8500$$

Vyvýšený vlnovodný kanál



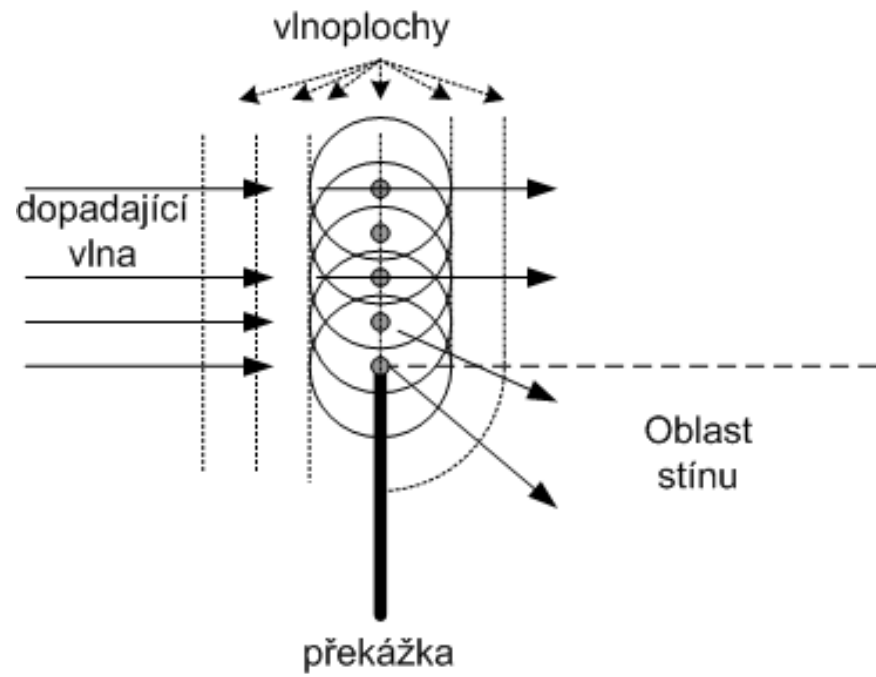
Specifický útlum dešťovými srážkami (dB/km)



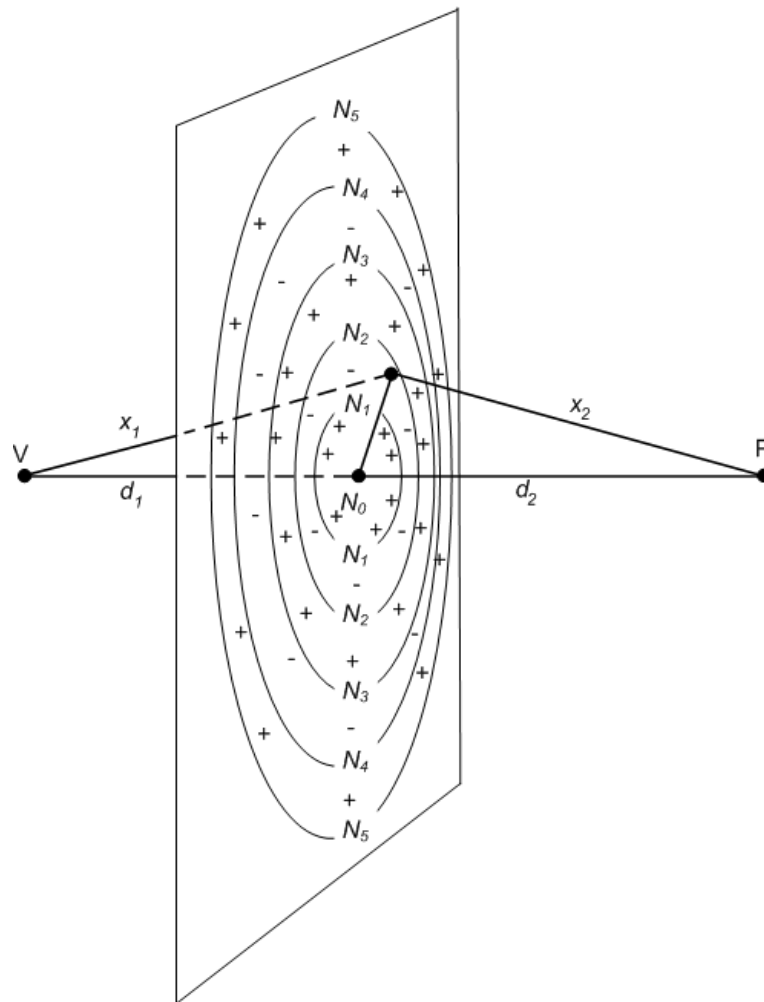
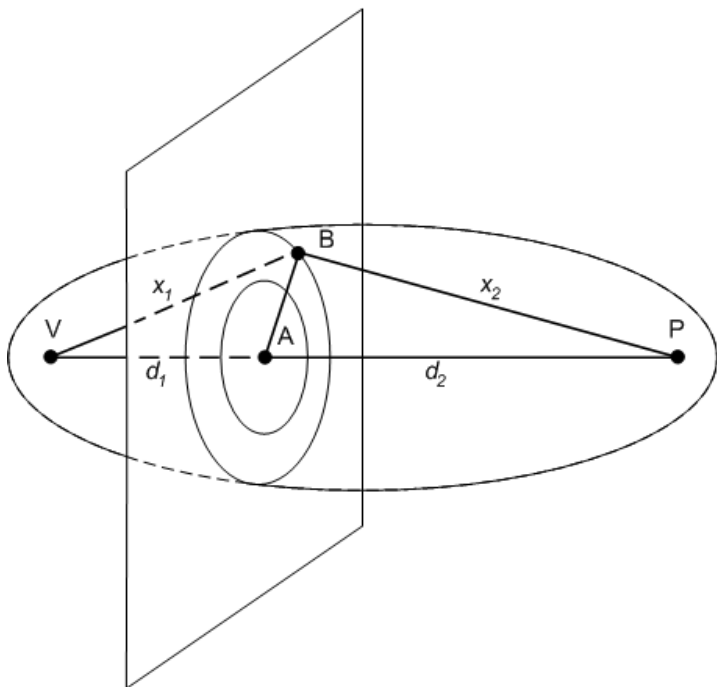


Závislost pravděpodobnosti překročení daného útlumu deštěm 5 km dlouhého spoje na frekvenci 42 GHz (horizontální polarizace) pro různé oblasti, resp. různé hodnoty parametru $R_{0,01}$ (mm/h)

Difrakce



Fresnelovy zóny



$$(x_1 + x_2) - (d_1 + d_2) = n \frac{\lambda}{2}$$

$$\sqrt{d_1^2 + b_n^2} + \sqrt{d_2^2 + b_n^2} - d_1 - d_2 = n \frac{\lambda}{2}$$

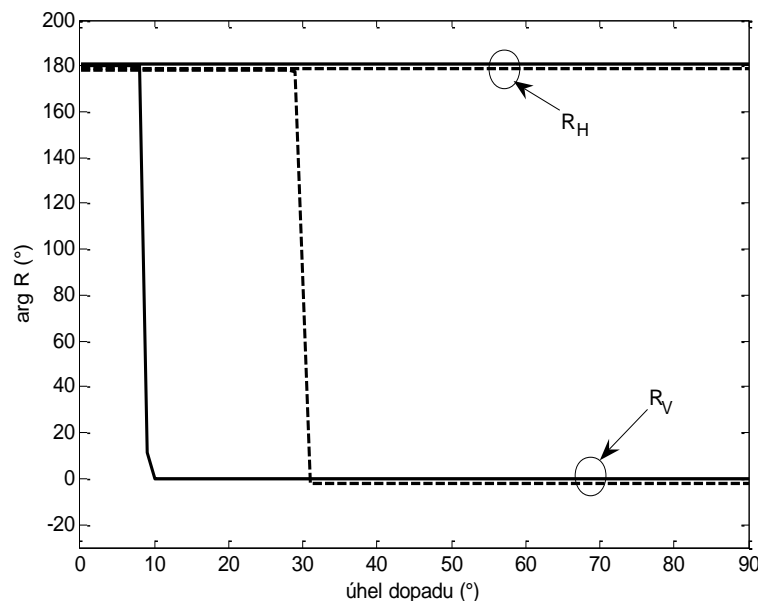
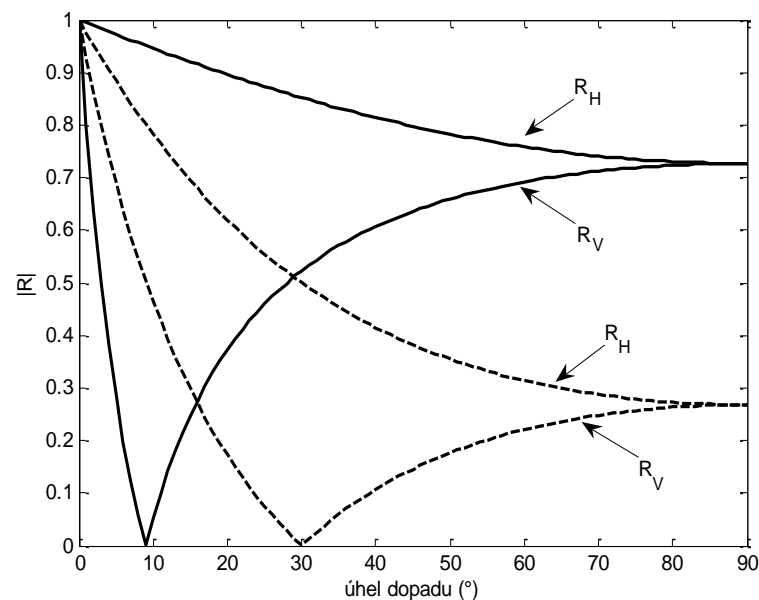
$$\sqrt{d_{1,2}^2 + b_n^2} \approx d_{1,2} + \frac{b_n^2}{2d_{1,2}} \quad b_n = \sqrt{\frac{d_1 d_2 n \lambda}{d_1 + d_2}}$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d_1 + d_2}}$$

Odraz od země

$$R_H = \frac{\sin \varphi - \sqrt{\varepsilon_{kr} - \cos^2 \varphi}}{\sin \varphi + \sqrt{\varepsilon_{kr} - \cos^2 \varphi}}$$

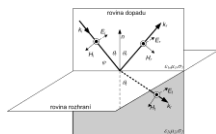
$$R_V = \frac{\varepsilon_{kr} \sin \varphi - \sqrt{\varepsilon_{kr} - \cos^2 \varphi}}{\varepsilon_{kr} \sin \varphi + \sqrt{\varepsilon_{kr} - \cos^2 \varphi}}$$



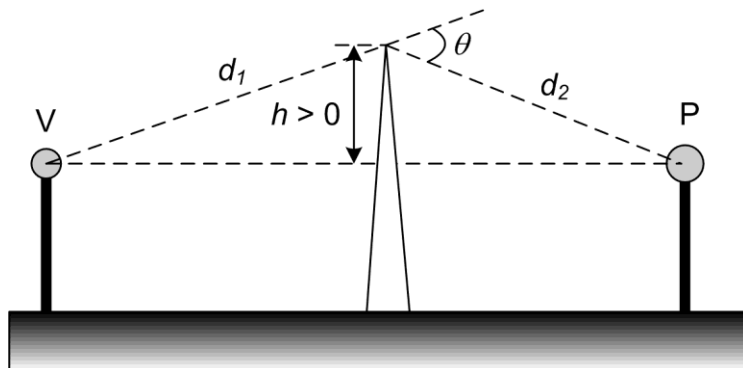
Závislost a) amplitudy; b) fáze koeficientu odrazu na úhlu dopadu pro dobře vodivou zem ($\sigma = 0,03 \text{ Sm}^{-1}$, $\varepsilon_r = 40$; plná čára) a špatně vodivou zem ($\sigma = 0,0001 \text{ Sm}^{-1}$, $\varepsilon_r = 3$; přerušovaná křivka); frekvence 450 MHz

Brewsterův polarizační úhel

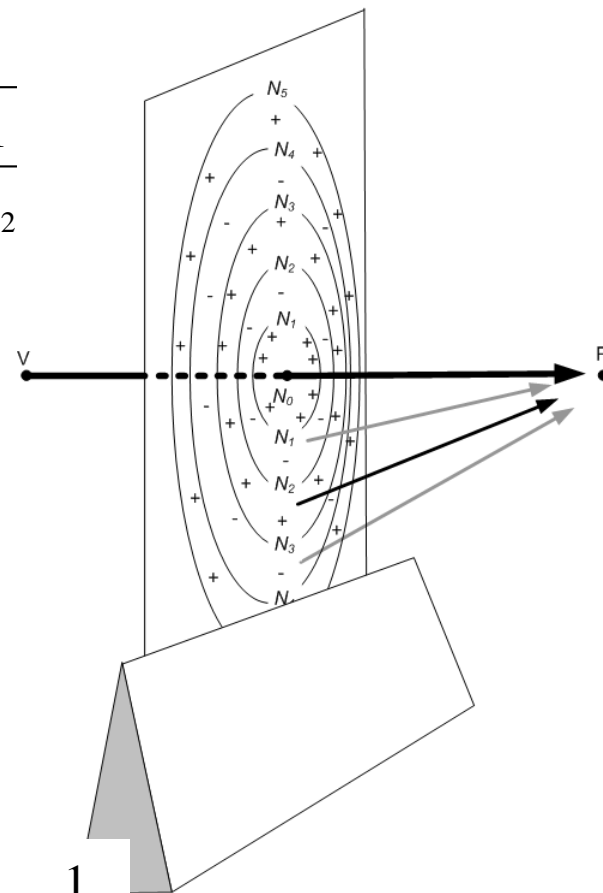
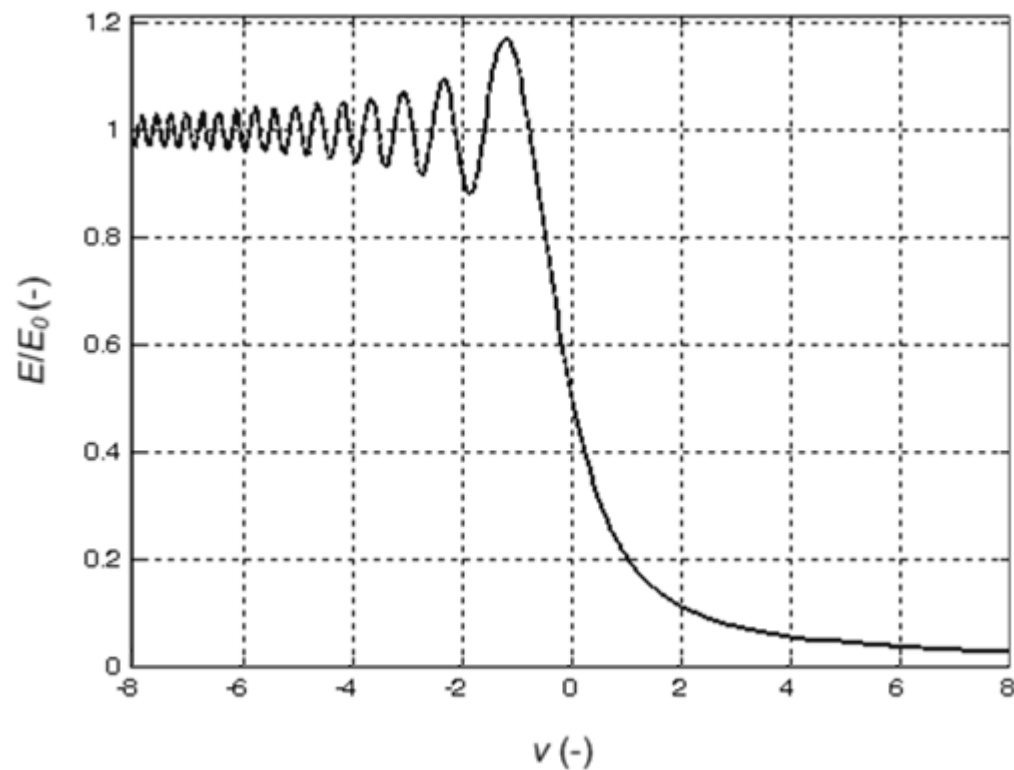
$$\sin \theta_{\text{IBR}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}}}$$



Difrakce na ostré překážce



$$\nu = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$



$$\left| \frac{E}{E_0} \right| = \frac{1}{2\pi\nu}$$

ITU-R P.526 ($\nu > -0,7$)

$$L_d = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(\nu - 0,1)^2 + 1} + \nu - 0,1 \right)$$

Pevný směrový spoj

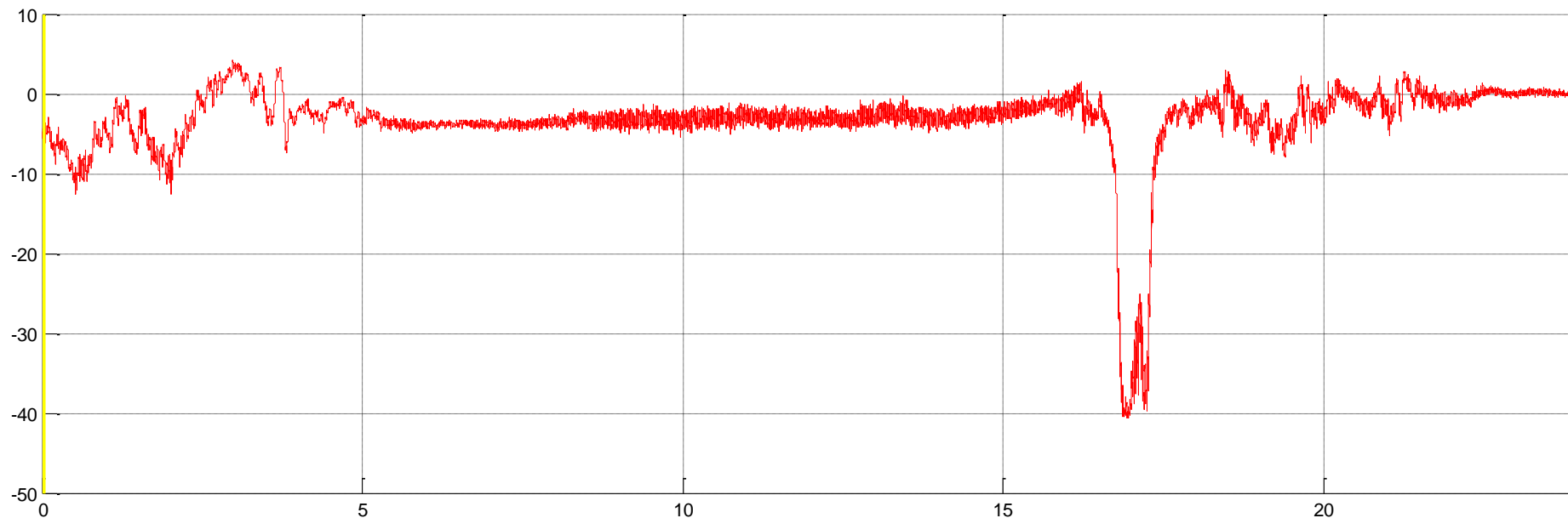
n Geometrie

- ♦ Kritérium volného profilu

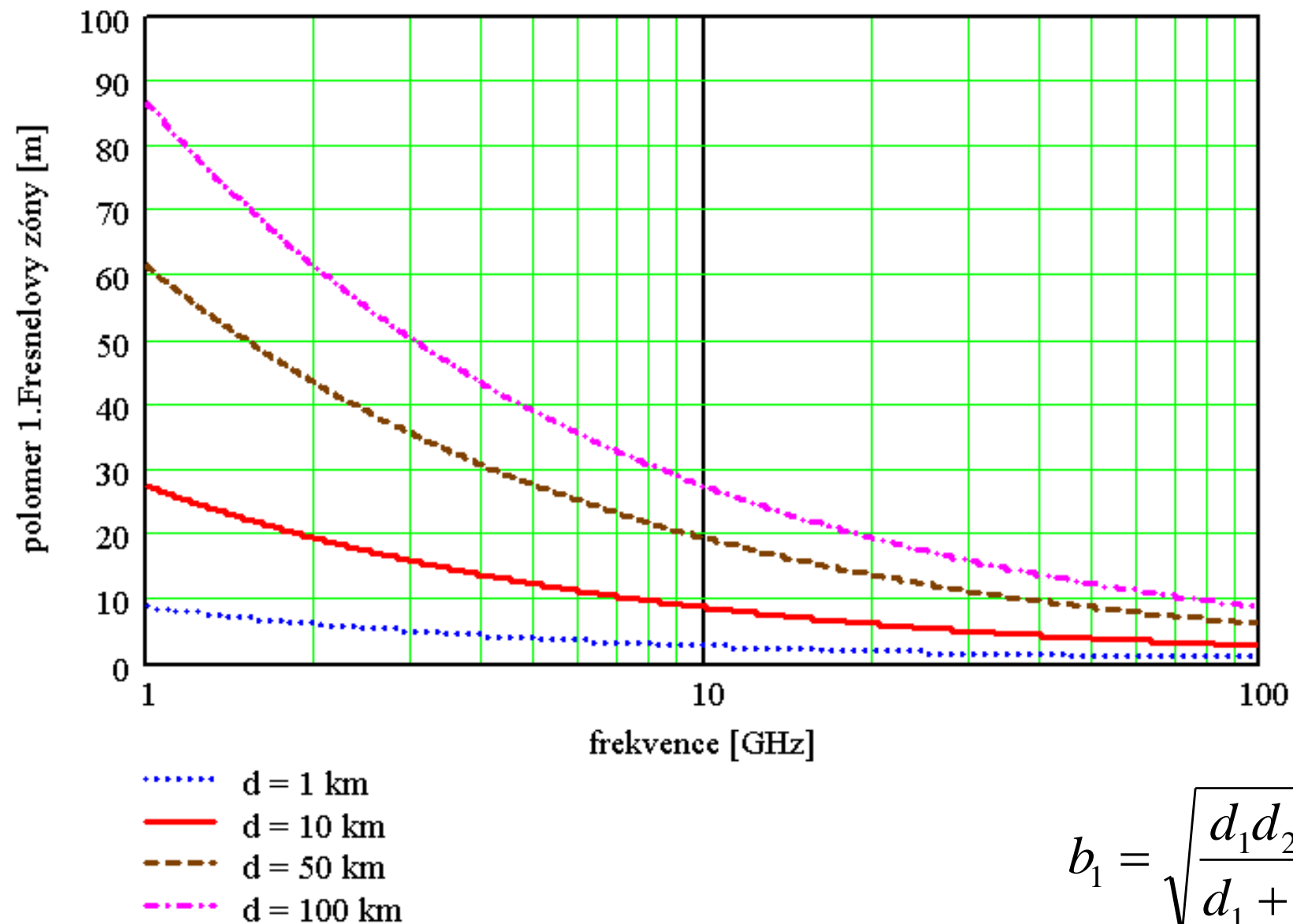
n Výkonová rozvaha

- ♦ Základní výkonová bilance
- ♦ Úniky
- ♦ Plánování/analýza rezervy na únik

n Mechanizmy rušení

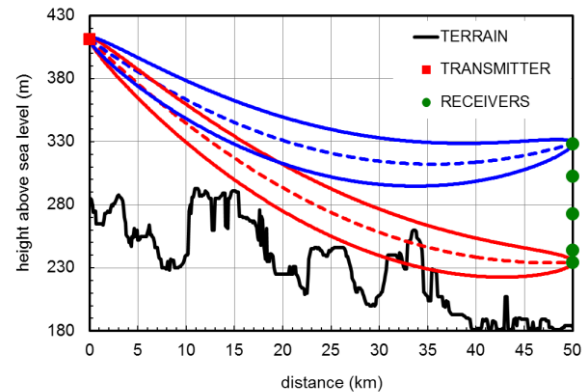
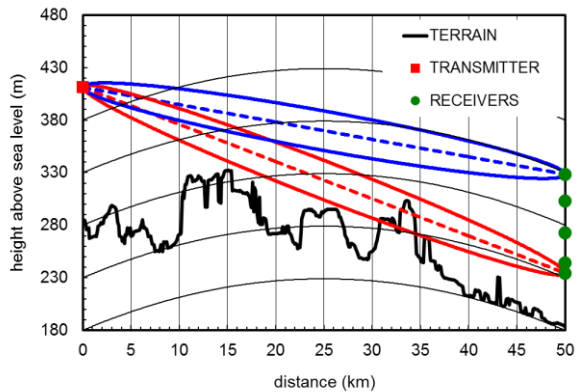


Poloměr 1. Fresnelovy zóny

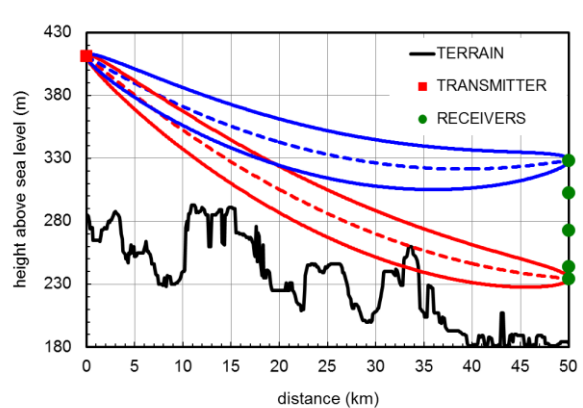
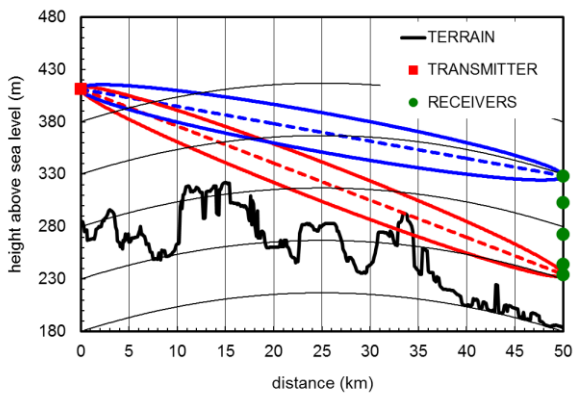


$$b_1 = \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d_1 + d_2}}$$

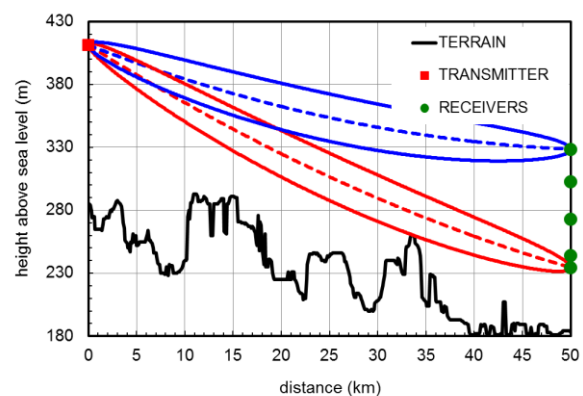
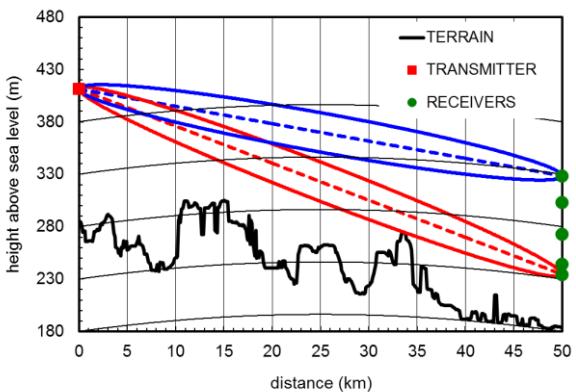
Kritérium volného profilu – vliv atmosférické refrakce



$k = 1$
subrefrakce

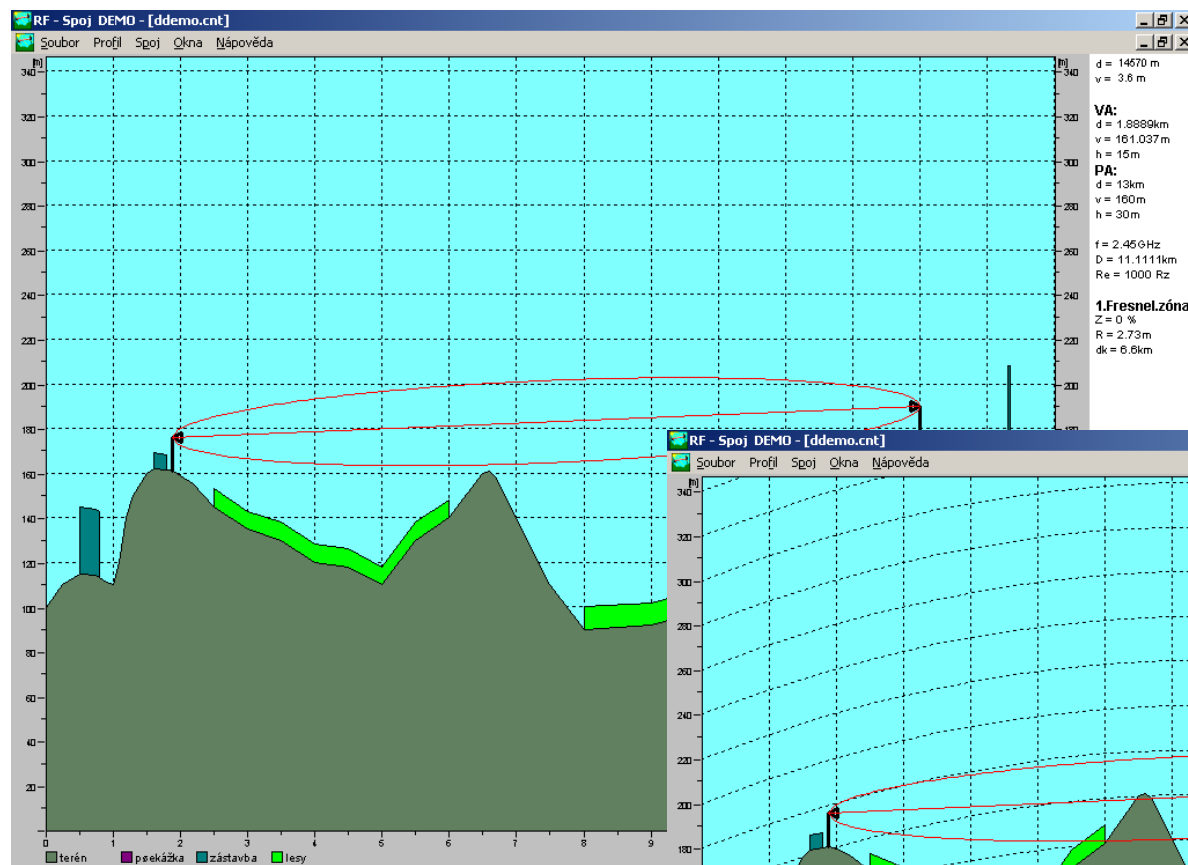


$k = 4/3$
standardní refrakce

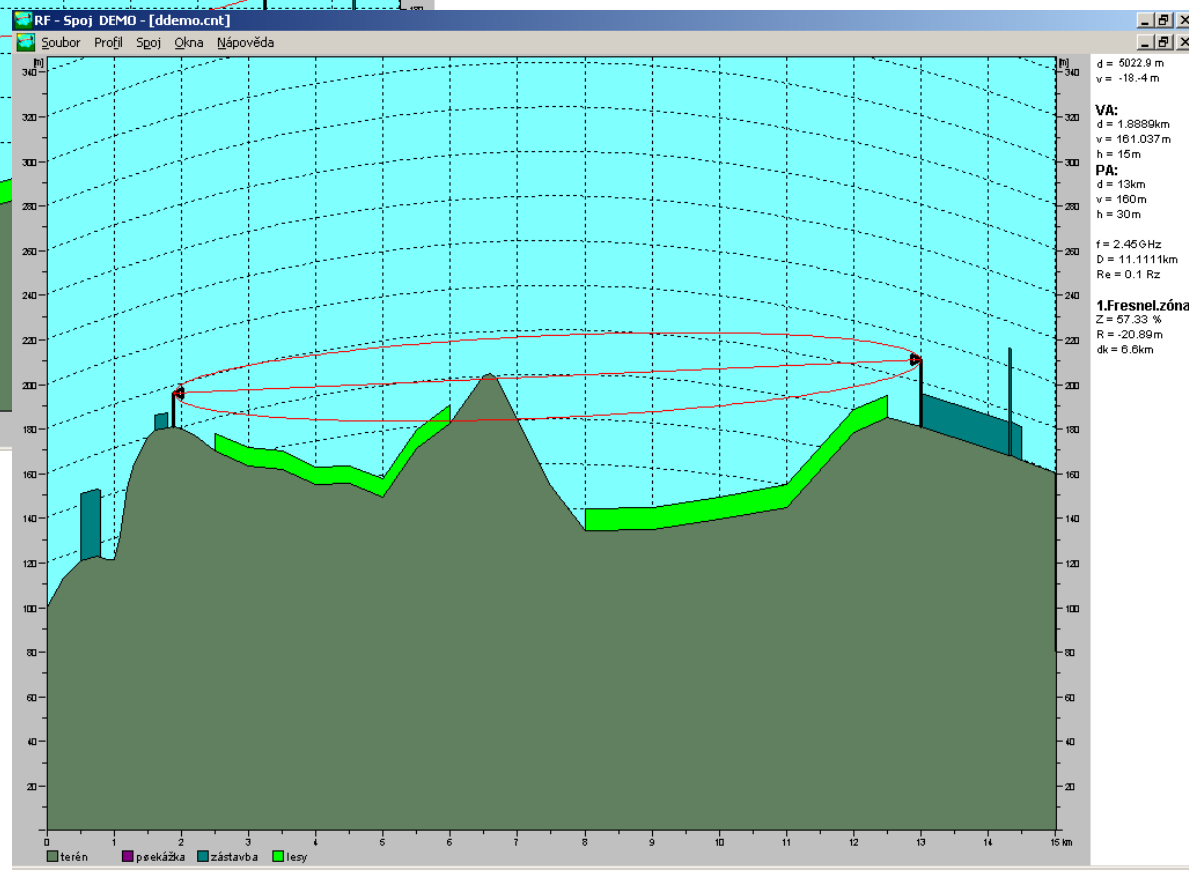


$k = 3$
superrefrakce

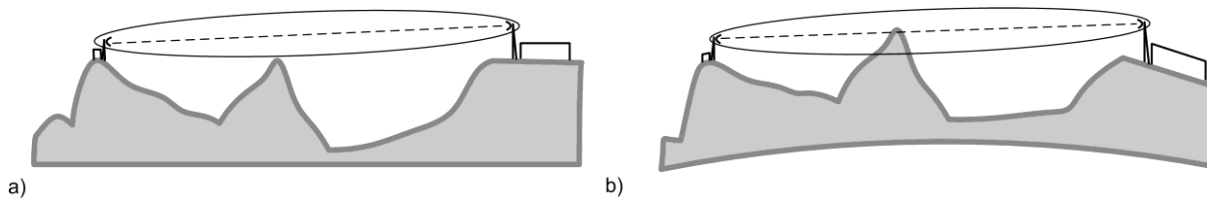
Vliv zakřivení Země na terénní profil



d [km]	x [m]
0,1	0.0002
1	0.02
10	2
100	200
1000	20 000

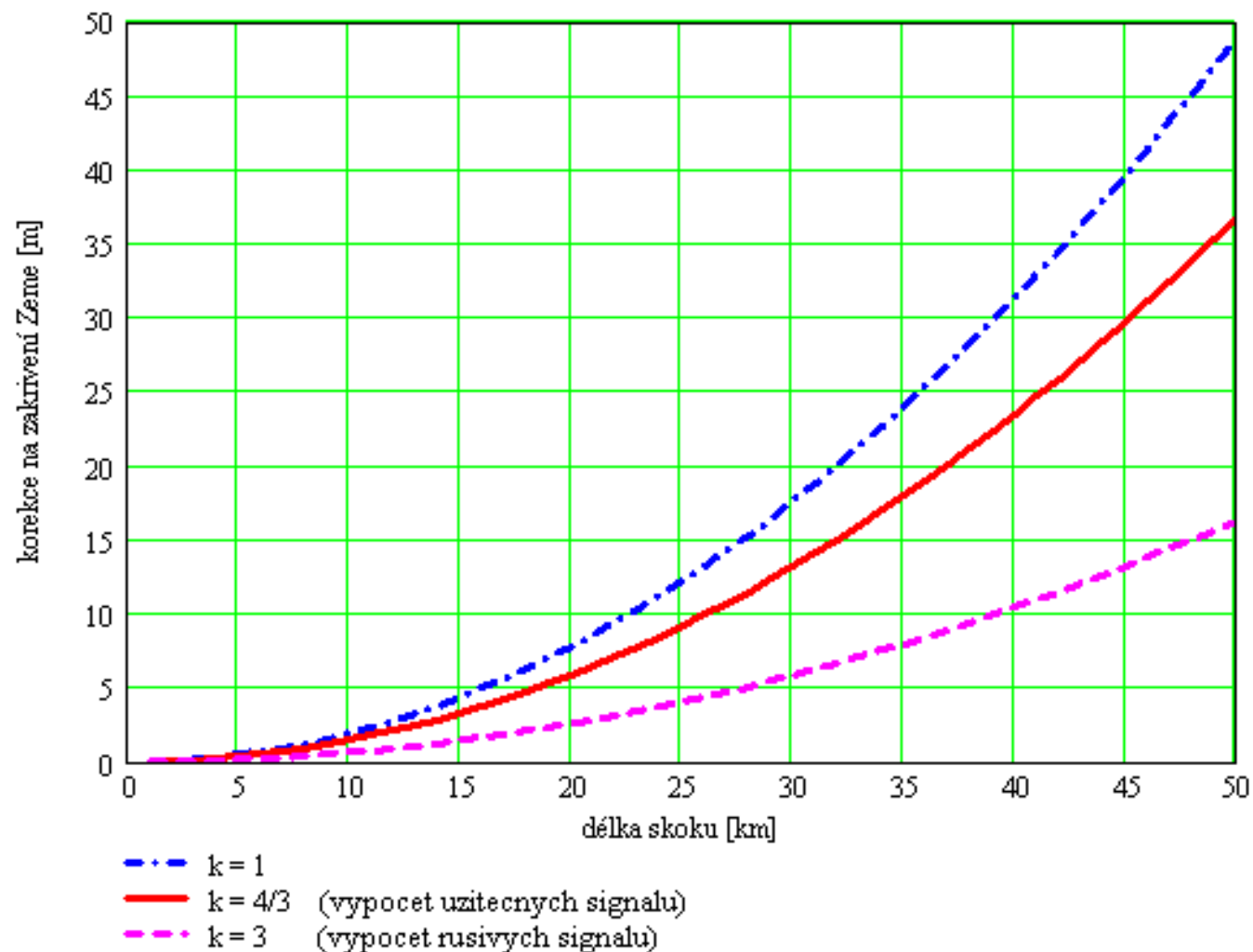


Vliv refrakce / efektivního poloměru Země



$$x = \frac{d_1 d_2}{2R_e}$$

$$R_e = k_e R_Z$$



7.3 TECHNICKÉ PARAMETRY

Parametr	AL24F MP165
Kmitočet vysílače	- dolní část pásma (/A) 24 000 ÷ 24 060 MHz - horní část pásma (/B) 24 190 ÷ 24 250 MHz
Minimální ladicí krok kanálování	50 kHz
Rozteč kanálů	viz tabulka 9
Stabilita kmitočtu lepší než	$\pm 10 \times 10^{-6}$
Vysílaný výkon základní varianty	max. 5 dBm ATPC ⁴
Maska spektra vysílače	ETSI 301 751

Mikrovlnný datový spoj AL24F MP165

7.2 MODULACE, PRAHOVÉ CITLIVOSTI A PŘENOSOVÉ KAPACITY SPOJE

Spoj AL24F MP165 lze nastavit na různé přenosové kapacity podle použité modulace a šířky kanálu. Jednotlivé přenosové kapacity jsou spjaty s různou prahovou citlivostí, viz. tabulka 11.

Nejvyšší interní přenosová rychlost spoje včetně obslužné komunikace spoje je 165 Mbit/s.

Celková bitová rychlost [Mbit/s]	Modulace	Typická prahová citlivost pro BER = 10^{-6} [dBm]	Šířka přenášeného spektra [MHz]
10	QPSK	-92	7
19	16	-87	
25	32	-83	
17	QPSK	-88	14
39	16 QAM	-84	
50	32 QAM	-80	
61	64 QAM	-77	
72	128 QAM	-72	28
34	QPSK	-87	
77	16 QAM	-80	
100	32 QAM	-77	
123	64 QAM	-75	

Kompaktní mikrovlnné antény	Typ			
	AL1-24/ME	AL2-24/ME	AL3-24/MP	AL4-24/MP
Průměr paraboly	Ø 0,35 m	Ø 0,65 m	Ø 0,90 m	Ø 1,20 m
Zisk antény G_{ant}	36 dB	41 dB	45 dB	47 dB
Hlavní lalok 3 dB	$\pm 1,3^\circ$	$\pm 0,75^\circ$	$\pm 0,5^\circ$	$\pm 0,4^\circ$
Horizontální nastavení antény	$\pm 180^\circ$		$\pm 7^\circ$	
Vertikální nastavení antény	$\pm 25^\circ$	$\pm 25^\circ$	$\pm 15^\circ$ ⁸	$\pm 15^\circ$ ⁸
Hmotnost kompaktních antén	5,6 kg	8,3 kg	26 kg	36 kg
Průměr montážního stojanu ⁷	min. Ø 38 mm	Ø 48 mm	Ø 73 mm	Ø 101 mm
	max. Ø 115 mm			

Tabulka 15 Parametry antén ME, MP

Úniky

25

ukázka

- ♦ Interferenční úniky
- vícecestné šíření
- ♦ Stav bez úniků
- ♦ Ploché, absorpční úniky
– dešťové srážky

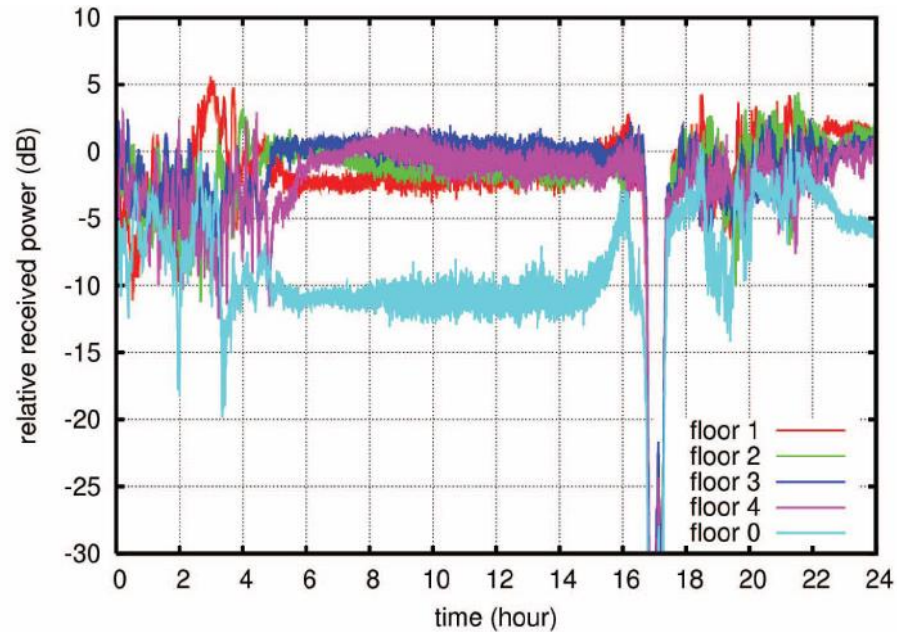
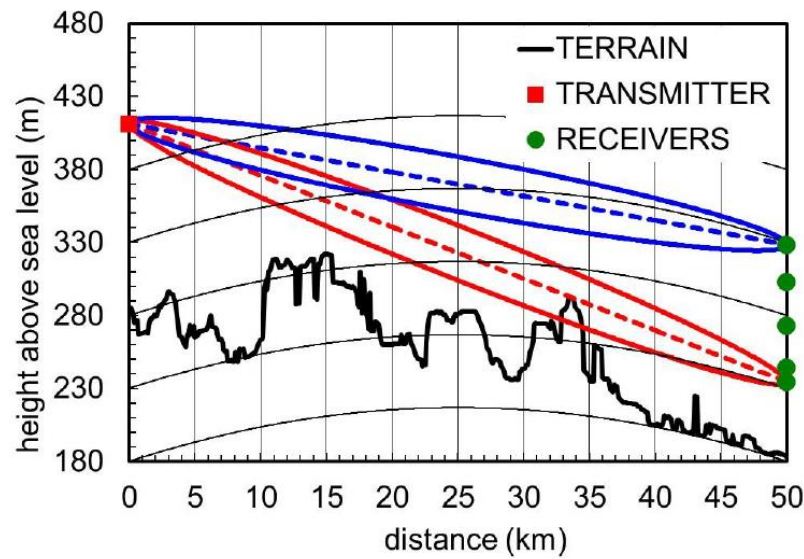
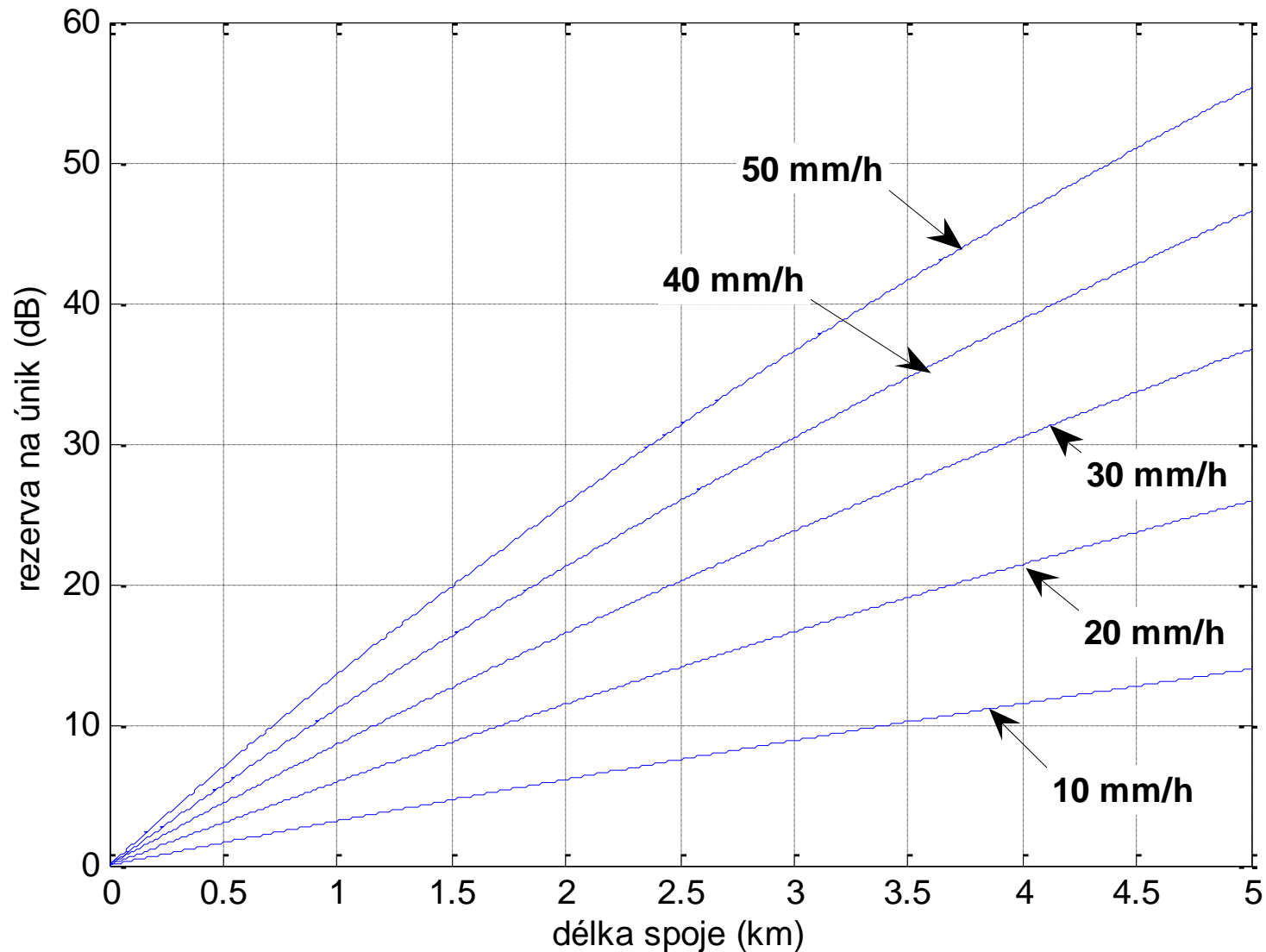


Fig. 2 Time series of relative received power level measured in different heights on June 26, 2008.

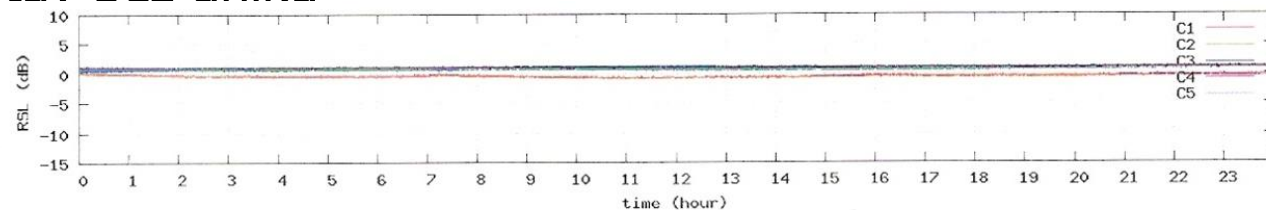
Plochý absorpční únik (dešťové srážky)



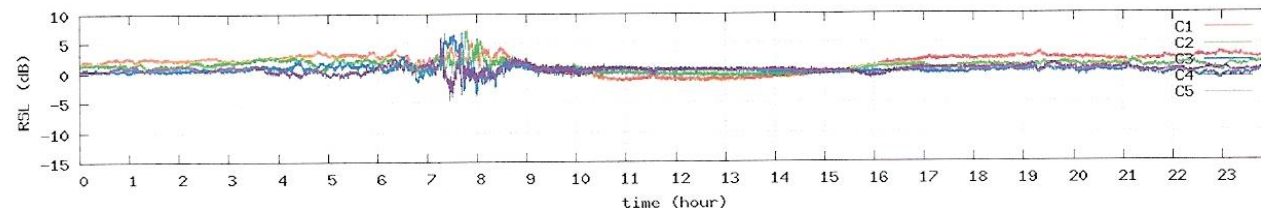
Požadovaná rezerva na únik pro dosažení 99.99 % pohotovosti spoje na frekvenci 42 GHz (horizontální polarizace) pro různé oblasti, resp. různé hodnoty parametru $R_{0,01}$ (mm/h)

Úniky způsobené změnami N v troposféře

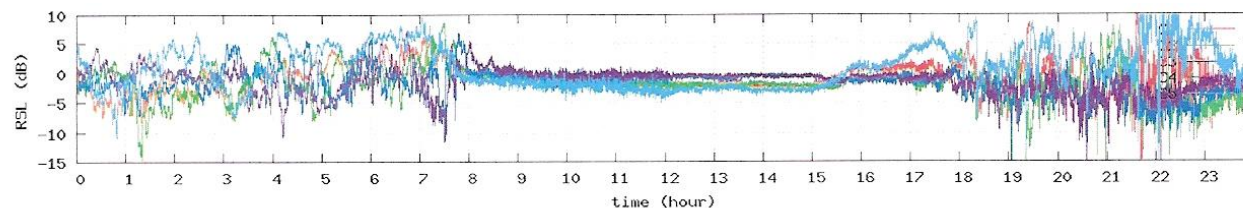
n Stav bez úniků



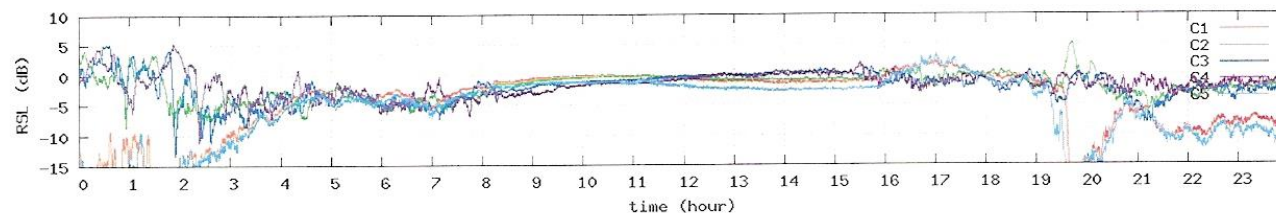
n Slabé frekvenčně selektivní úniky



n Silné frekvenčně selektivní úniky



n Plochý únik způsobený subrefrakcí => zastínění / ztráty difrakcí



Plánování/analýza rezervy na únik

