



RADIOKOMUNIKAČNÍ TECHNIKA A ANTÉNY

KONCEPCE RADIOKOMUNIKAČNÍHO ŘETĚZCE

Tomáš Zálabský

University of Pardubice, Faculty of Electrical Engineering and Informatics
Czech Republic

Blok 1/5

CZVRT

OBSAH KURZU

- Koncepce radiokomunikačního řetězce
- Rádiový přijímač – koncepce, funkce, vlastnosti, zkreslení, kmitočtová konverze
- Rádiový přijímač – struktura, výkonové zesílení, nelineární zkreslení
- Softwarově definované rádio – základní struktura, bloky vysílače a přijímače
- Anténní prvky – základní parametry antén a jejich měření
- Realizace anténních řad a anténních polí, syntéza lineární anténní řady, digitální tvarování svazku

OBSAH BLOKU I

- Rádiový komunikační systém
- Rádiový komunikační kanál
- Radiokomunikační rovnice
- Použití radiokomunikační rovnice v homogenním prostředí
- Použití radiokomunikační rovnice v nehomogenním prostředí
- Fresnelovy zóny
- Difrakce na překážce
- Praktická část

RÁDIOVÝ KOMUNIKAČNÍ SYSTÉM

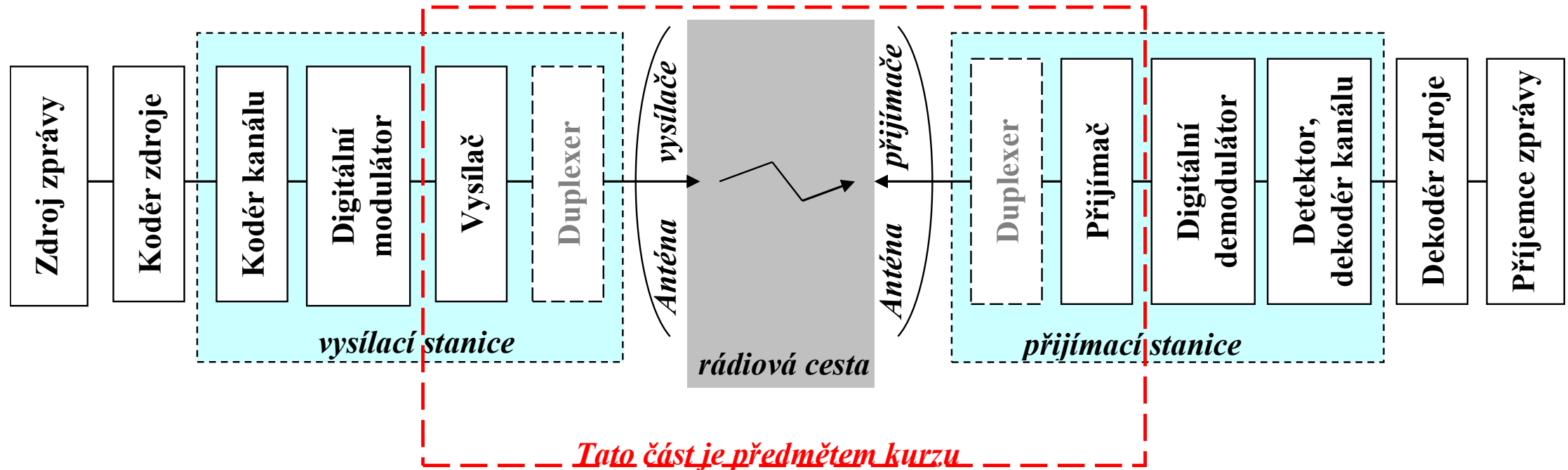
- Definice:
 - Komunikační systém: Elektronický systém určený pro přenos zpráv (informace) - nevytváří, nevyhodnocuje ani nevyužívá tyto informace.
 - Rádiový komunikační systém: Využívá rádiovou cestu = šíření elektromagnetických vln prostorem (patří sem tedy i optické komunikace prostorem – ne pomocí optických kabelů)
- Použití:
 - Mobilní systémy (zákaznická stanice může být při komunikaci v pohybu)
 - Přenosné systémy (při komunikaci sice není zákaznická stanice v pohybu, ale mimo dobu komunikace ji lze snadno přemísťovat – portable)
 - Nepřenosné ale snadno zřizovatelné spoje bez nutnosti velkých stavebních zásahů (v husté zástavbě, v náročném terénu, v chráněných lokalitách)

RÁDIOVÝ KOMUNIKAČNÍ SYSTÉM

- Rozdělení RKS:
 - Podle struktury:
 - **Z bodu do bodu** (point to point):
 - jeden skok
 - s retranslací
 - **Z bodu do mnoha bodů** (multicast – dispečerský systém)
 - **Rozhlasový systém** (broadcast – z bodu k nespecifikovaným účastníkům)
 - Podle režimu:
 - **Duplexní** (koncoví účastníci používají spojení současně oběma směry)
 - **Simplexní** (pouze jeden směr komunikace)
 - **Semiduplexní** (směr komunikace je v každém okamžiku pouze jeden ale oba směry se střídají)

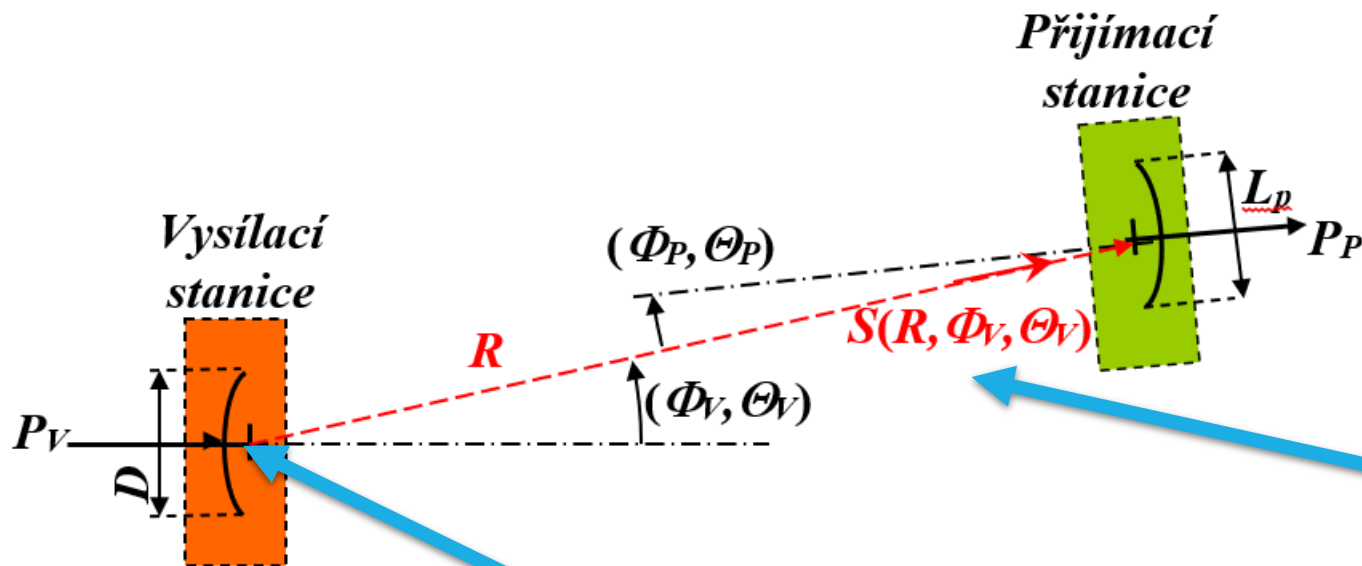
RÁDIOVÝ KOMUNIKAČNÍ KANÁL

- Souhrn všech technických prostředků, zajišťujících přenos zprávy radiokomunikačním systémem v jednom směru z jednoho bodu do druhého bodu.
- Je to základní prvek všech radiokomunikačních systémů



RADIOKOMUNIKAČNÍ ROVNICE

- Je to vztah mezi vysílaným a přijímaným výkonem v rádiovém komunikačním systému.



Anténa vysílací stanice (dále vysílací anténa) se zikem antény G_V a s výkonovou anténní charakterist. $f_V^2(\Phi_V, \Theta_V)$ je napájena výkonem P_V .

Vysílanou vlnu lze ve velké vzdálenosti ($R \gg D^2/\lambda$) považovat za kulovou vlnu s hustotou:

$$S(R, \Phi_V, \Theta_V) = \frac{P_V \exp(-2\alpha R)}{4\pi R^2} G_V f_V^2(\Phi_V, \Theta_V)$$

kde: Φ_V a Θ_V ... jsou úhly v soustavě vysílací antény
 α ... je útlumová konstanta prostředí

RADIOKOMUNIKAČNÍ ROVNICE

- Pokud je vzdálenost antén R dostatečně velká vůči rozměrům přijímací antény L_p ($R \gg L_p^2/\lambda$) lze tuto vlnu z hlediska přijímací antény považovat za rovinnou.
- Následně lze vyjádřit celkovou radiokomunikační rovnicí:

$$P_P = P_V G_V G_P f_P^2(\Phi_P, \Theta_P) f_V^2(\Phi_V, \Theta_V) \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \frac{1}{LL_p}$$

- kde: P_V, P_P jsou výkony vysílaný a přijatý
 G_V, G_P jsou zisky vysílací a přijímací antény
 $f_V^2(\Phi_V, \Theta_V), f_P^2(\Phi_P, \Theta_P)$ jsou výkonové charakteristiky vysílací a přijímací antény
 $\lambda = c/f$ je vlnová délka
 R je vzdálenost vysílací a přijímací antény
 L, L_p jsou ztráty (zeslabení) výkonu v důsledku ztrátového prostředí a v důsledku polarizace

RADIOKOMUNIKAČNÍ ROVNICE

- Nejcharakterističtější skutečností u radiokomunikačních systémů je značné zeslabení signálu při přenosu na větší vzdálenosti. Pro ilustraci zvažme případ, že $(f_p)^2 = (f_v)^2 = 1$, $L = L_p = 0$ dB, $G_v = G_p = 30$ dB, $\lambda = 10$ cm, $R = 10$ km. Pak dostáváme:

$$\frac{P_P}{P_V} = G_V G_P \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \approx -62 \text{ dB}$$

- Typicky se u rádiových komunikačních zařízení tento poměr pohybuje v rozmezí -50 až -80 dB, někdy (satelitní spoje) až -100 dB.
- Odtud vyplývá:
 - a) Nižší kvalita přenosu
 - b) Nutnost používat vysoký vysílací výkon
 - c) Potřeba extrémně nízkošumových přijímačů.

RADIOKOMUNIKAČNÍ ROVNICE

- Radiokomunikační rovnice se často používá ve svém logaritmovaném tvaru:

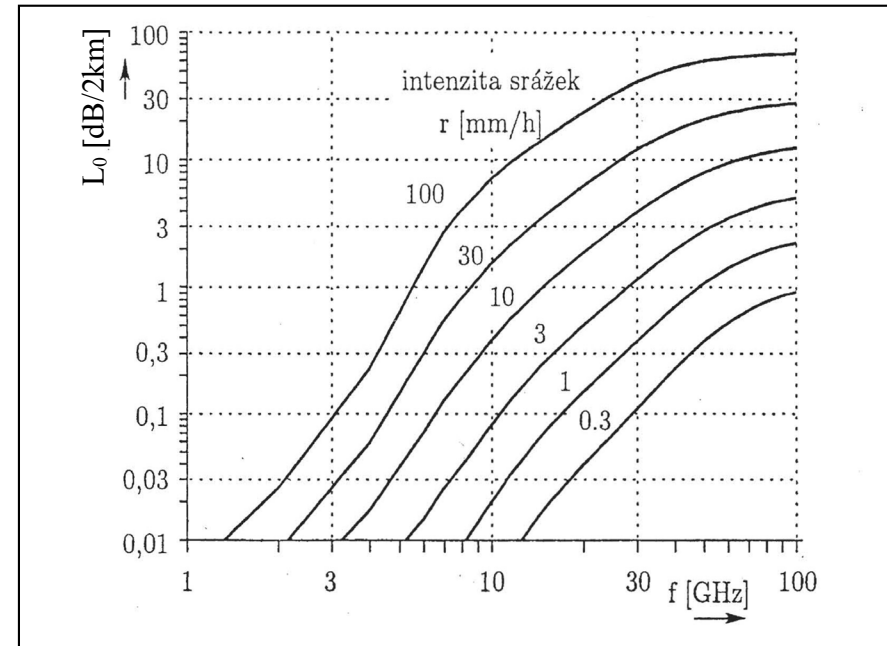
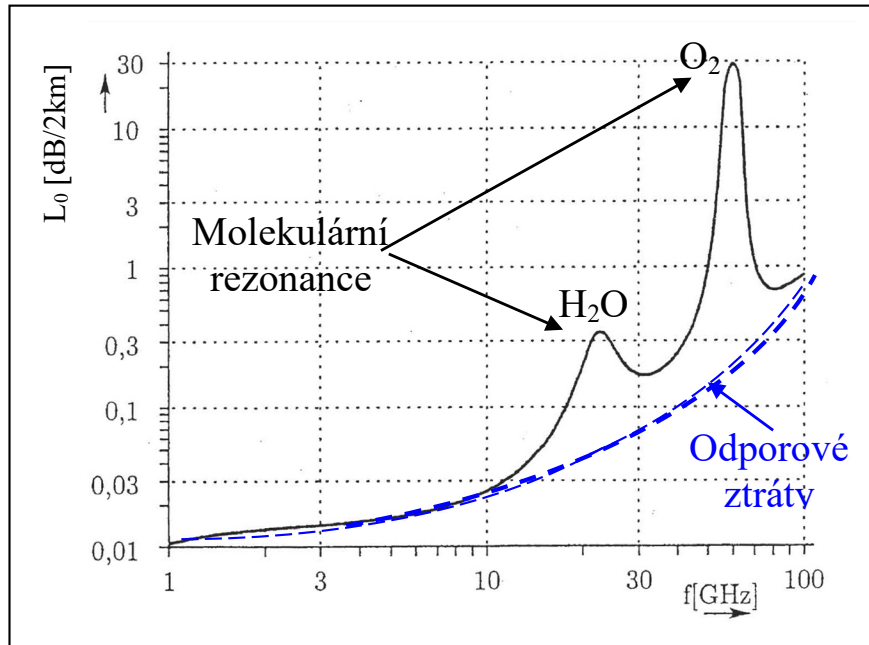
$$10 \log P_P = 10 \log P_V + G_V + G_P - 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) - 10 \log(LL_p)$$

[dBW]/[dBm] [dBW]/[dBm] [dB] [dB] [dB] [dB]

- Efektivní vyzářený výkon – ERP/EIRP
 - V radiokomunikační rovnici vystupuje vždy součin: $P_V \cdot G_V$ nebo v logaritmickém tvaru: $10 \cdot \log(P_V) + 10 \cdot \log(G_V)$.
 - Přitom oba parametry se vztahují k vysílači, takže tento součin představuje určitou charakteristiku vysílače.
 - Totiž: ve skutečnosti toho, kdo chce vypočítat jakou úroveň (výkonu) bude mít třeba TV signál v místě jeho přijímače, nezajímá skutečný výkon vysílače a zisk antény – stačí mu znát jejich součin.
- Tento nový parametr nazýváme:
 - Efektivní (izotropní) vyzařovaný výkon zkráceně E(I)RP - z angl. Effective (Isotropic) Radiated Power
 - Nejčastěji se udává v logaritmických jednotkách: dBW, dBm, dBkW atd.

POUŽITÍ RÁDIKOMUNIKAČNÍ ROVNICE V HOMOGENNÍM PROSTŘEDÍ

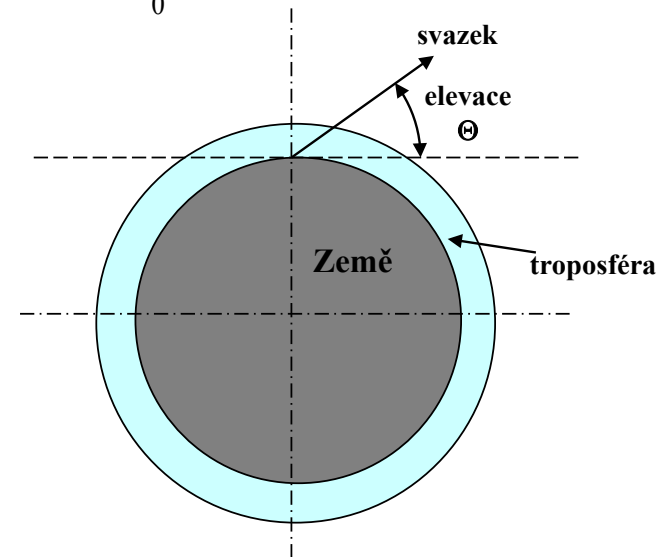
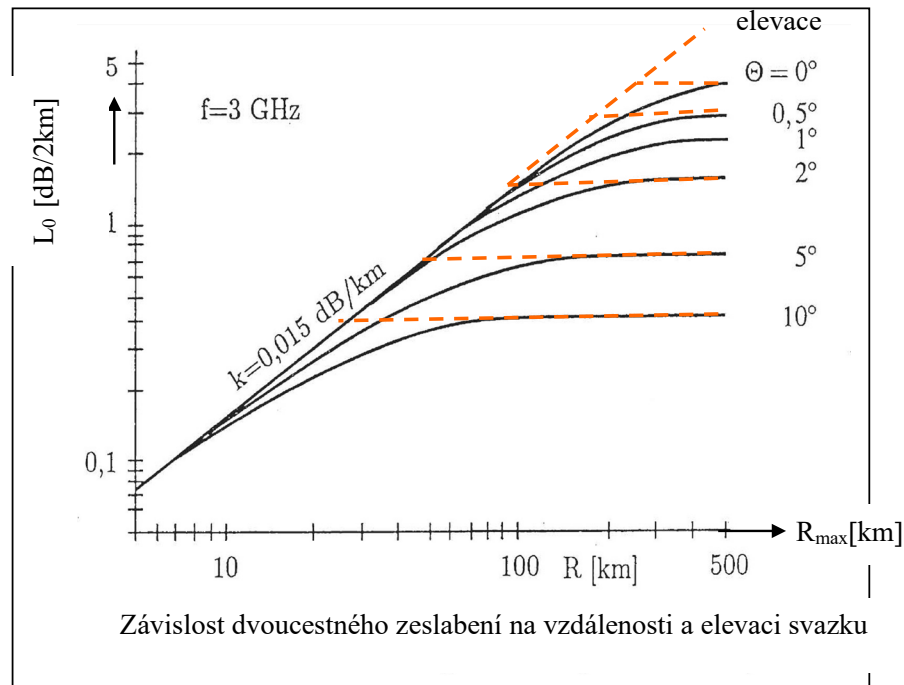
- Kosmický prostor nebo krátký úsek ve vzduchu bez vlivu terénu
- Ztráty: $\exp(-2\alpha R)$ v dB: $10 \cdot \log \{ [\exp(-2\alpha R)]^{-1} \} = 20 \cdot \alpha \cdot \log(e) \cdot R = 8,686 \cdot \alpha \cdot R = L_0 \cdot R$
- L_0 = funkcí(f , ρ_{vzd} , stav atmosféry); f .. Kmitočet; $\rho_{\text{vzd}} = \rho_{\text{vzd}}(p, T, \dots)$.. hustota vzduchu
- Stav atmosféry: v troposféře jde převážně o obsah vody (jasná atmosféra, opar, mlha, sněžení, déšť různé intenzity..), ve vyšších vrstvách atmosféry o hustotu ionizace



POUŽITÍ RÁDIKOMUNIKAČNÍ ROVNICE V NEHOMOGENNÍM PROSTŘEDÍ

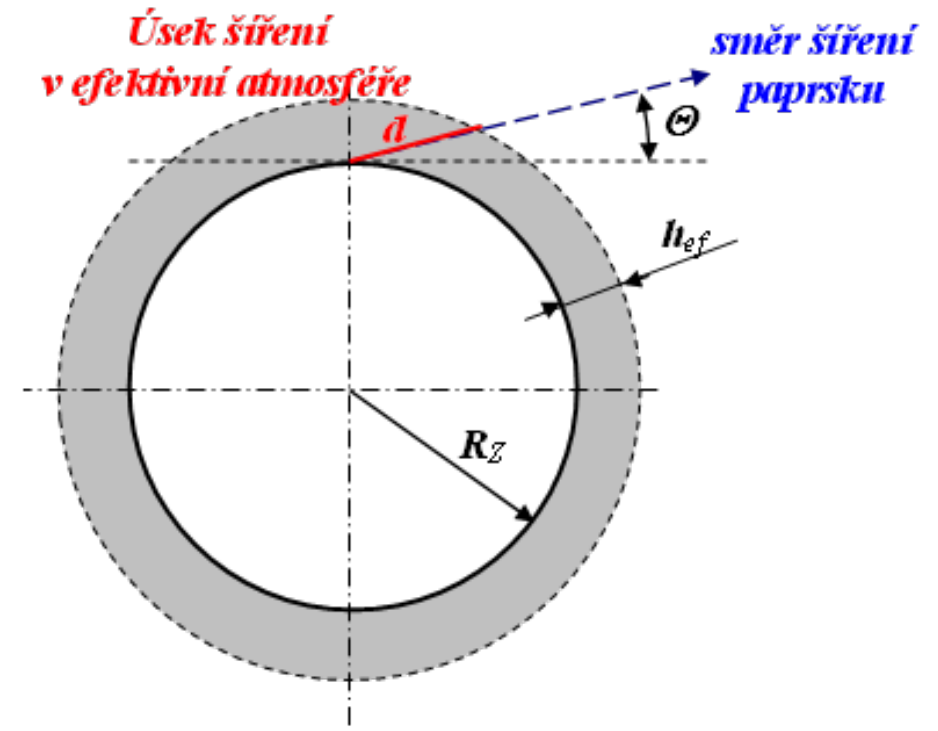
- V atmosféře na velké vzdálenosti, satelitní komunikace
- Šíří-li se elektromagnetická vlna troposférou na velké vzdálenosti (stovky km) nemůže se šířit pořád ve stejné nadmořské výšce -> šíří se prostředím s proměnným měrným útlumem L_0 a s proměnným indexem lomu n . To vede k následujícím jevům:
- Celkové zeslabení je nutno počítat jako integrál:

$$L[dB] = \int_0^{R_{\max}} L_0(R) dR$$



POUŽITÍ RÁDIKOMUNIKAČNÍ ROVNICE V NEHOMOGENNÍM PROSTŘEDÍ

- Průběh $L_0(h, T, p_0, H)$ – kde H je relativní vlhkost ovzduší, lze počítat z poloempirických vztahů, které uvádí ITU-R (které ovšem nezahrnují odchylky, způsobené místními výkyvy počasí).
- Komplikovaný výpočet celkem jednoduše aproximuje tzv. model efektivní atmosférické vrstvy:
- Předpokládá se, že atmosféra má hustotu všude stejnou jako při hladině moře ($h = 0$) ale tloušťku pouze $h_{ef} = 7,3$ km. Pak je zeslabení $L_0(R)$ konstantní, pokud paprsek neopustí tuto efektivní atmosféru. Dále je $L_0(R) = 0$ (Útlum se dále nezvyšuje). Tento vztah je v obr. vynesena čárkovanými čarami – je vidět, že pro velkou část dráhy je chyba zanedbatelná. Zejména se hodí pro výpočty satelitních komunikací.



POUŽITÍ RÁDIKOMUNIKAČNÍ ROVNICE V NEHOMOGENNÍM PROSTŘEDÍ

- Průběh $L_0(h, T, p_0, H)$ – kde H je relativní vlhkost ovzduší, lze počítat z poloempirických vztahů, které uvádí ITU-R (které ovšem nezahrnují odchylky, způsobené místními výkyvy počasí).
- Komplikovaný výpočet celkem jednoduše aproximuje tzv. model efektivní atmosférické vrstvy:
- Předpokládá se, že atmosféra má hustotu všude stejnou jako při hladině moře ($h = 0$) ale tloušťku pouze $h_{ef} = 7,3$ km. Pak je zeslabení $L_0(R)$ konstantní, pokud paprsek neopustí tuto efektivní atmosféru. Dále je $L_0(R) = 0$ (Útlum se dále nezvyšuje). Tento vztah je v obr. vynesena čárkovanými čarami – je vidět, že pro velkou část dráhy je chyba zanedbatelná. Zejména se hodí pro výpočty satelitních komunikací.

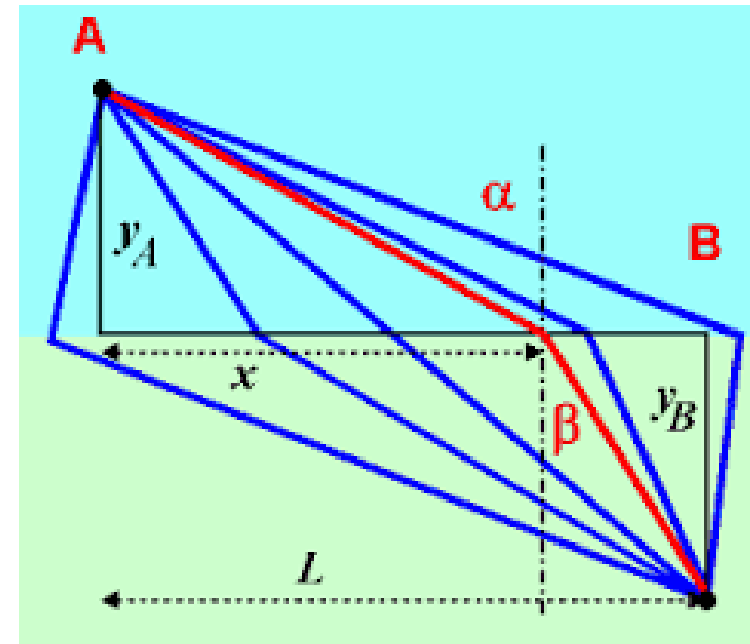
POUŽITÍ RÁDIKOMUNIKAČNÍ ROVNICE V NEHOMOGENNÍM PROSTŘEDÍ

- Atmosférická refrekce

- Index lomu troposféry n závisí na atmosférickém tlaku, teplotě a vlhkosti. Jeho hodnota se pohybuje nepatrně nad 1 a proto se z praktického důvodu zavádí tzv. refraktivita N vztahem:

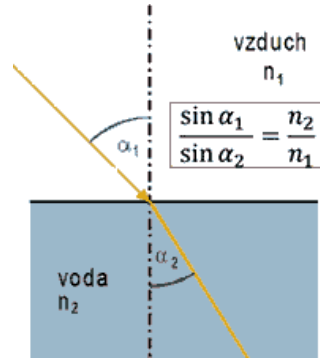
$$N = (n - 1)10^6$$

- Průměrná hodnota relativního indexu lomu atmosféry je $n = 1,000325$, tj. refraktivita N je 325 tzv. N -jednotek.
- Na povrchu Země nabývá relativní index lomu hodnot od 1,00026 do 1,00046.
- Na horní hranici troposféry je 1,00011.
- Absolutní změny indexu lomu jsou velice malé, ale dostačují, aby se trajektorie paprsků dostatečně lišily od přímky.
- Rádiové vlny se tedy v troposféře vlivem proměnného indexu lomu šíří po obecně křivočarých trajektoriích v souladu s Fermatovým principem po tzv. opticky nejkratší dráze, což znamená, že se vlna do daného místa dostane v co nejkratším čase.



POUŽITÍ RÁDIKOMUNIKAČNÍ ROVNICE V NEHOMOGENNÍM PROSTŘEDÍ

- Pomocí Snellova zákona lomu



Ize pro lineární výškovou změnu refraktivity odvodit přibližný vztah pro poloměr zakřivení paprsků:

$$R_k \cong \frac{1}{-\frac{dn}{dh}} = \frac{10^6}{-\frac{dN}{dh}}$$

- Poloměr křivosti nezávisí na absolutní hodnotě indexu lomu, ale závisí na jeho změně s výškou. Znaménko mínus říká, že R_k může být kladné jen tehdy. Když index lomu s narůstající výškou klesá. V takovém případě zakřivení paprsku bude konvexní
- Pro tzv. standartní atmosféru v našich podmínkách mírného pásma platí:

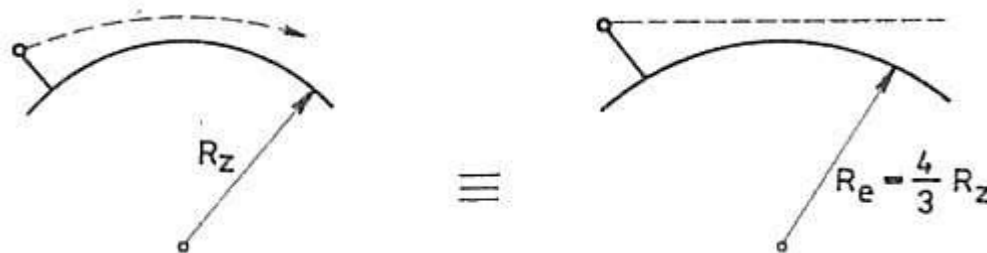
$$\frac{dN}{dh} \cong -4 \cdot 10^{-2}$$

POUŽITÍ RÁDIKOMUNIKAČNÍ ROVNICE V NEHOMOGENNÍM PROSTŘEDÍ

- Jedná se o jakýsi střední stav atmosféry, jelikož se gradient indexu lomu stále mění podle povětrnostních (klimatických) podmínek.
- Ve standartní atmosféře se elektromagnetické vlny budou šířit po oblouku, který má poloměr křivosti:

$$R_k = \frac{10^6}{4 \cdot 10^{-2}} = 2,5 \cdot 10^7 [m] = 25000 \text{ km}$$

- Tato hodnota odpovídá přibližně čtyřnásobku poloměru Země. Abychom při šíření nad zemským povrchem nemuseli brát v úvahu zakřivení dráhy paprsků, je možno skutečný zemský poloměr nahradit tzv. efektivním poloměrem Země, což je poloměr, nad kterým se elektromagnetické vlny budou šířit přímočaře.



POUŽITÍ RÁDIKOMUNIKAČNÍ ROVNICE V NEHOMOGENNÍM PROSTŘEDÍ

- Efektivní poloměr Země R_e vypočteme následujícím způsobem

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

- Po dosazení bude platit:
$$R_e = \frac{R_z}{1 + R_z \frac{dN}{dh} 10^{-6}}$$

- Dále lze zavést proměnou – činitel atmosférické refrakce k_e :
$$k_e = \frac{R_e}{R_z} = \frac{1}{1 + R_z \frac{dN}{dh} 10^{-6}}$$

- Pro standartní atmosféru pak přibližně platí: $R_e = 85000$ km a $k_e = 4/3$
- Ve skutečné atmosféře nad skutečnou Zemí je křivá jak trajektorie paprsku, tak povrch zeměkoule.
- Výška bodu trajektorie nad povrchem země je v každém bodě jiná.
- Vyrovnáme-li nyní povrch Země a nanese-me-li na něj tyto výšky v každém bodě, zachovali jsme tuto relativní křivost, avšak vznikne trajektorie jiného tvaru, která odpovídá určitému průběhu indexu lomu.
- Vyrovnáme-li naopak trajektorii paprsku což odpovídá konstantnímu indexu lomu, musíme k zachování relativní křivosti změnit křivost zeměkoule -> to je též význam **efektivního poloměru Země**.

POUŽITÍ RÁDIKOMUNIKAČNÍ ROVNICE V NEHOMOGENNÍM PROSTŘEDÍ

- Druhy atmosférické refrakce

- Příklad standardní atmosféry pro který platí $R_e = 85000$ km a $k_e = 4/3$ označujeme jako tzv. standardní lom.
- V případě, že refraktivita s výškou klesá pomaleji mluvíme o tzv. subrefrakci.
- V případě, že refraktivita klesá s výškou rychleji, resp. gradient je menší než $-0,04$ N/m mluvíme o tzv. superrefrakci.
- Speciálním případem je stav tzv. kritického lomu

$$\frac{dN}{dh} = -0,157 \text{ Nm}^{-1} \quad \text{pak } R_e = \infty, k_e = \infty$$

- Jedná se o případ, kdy trajektorie vodorovného paprsku zachovává nezměněnou výšku nad zemí a vlna obíhá kolem zeměkoule.
- Klesá-li refraktivita s výškou ještě rychleji, dochází ke vzniku tzv. vlnovodného kanálu

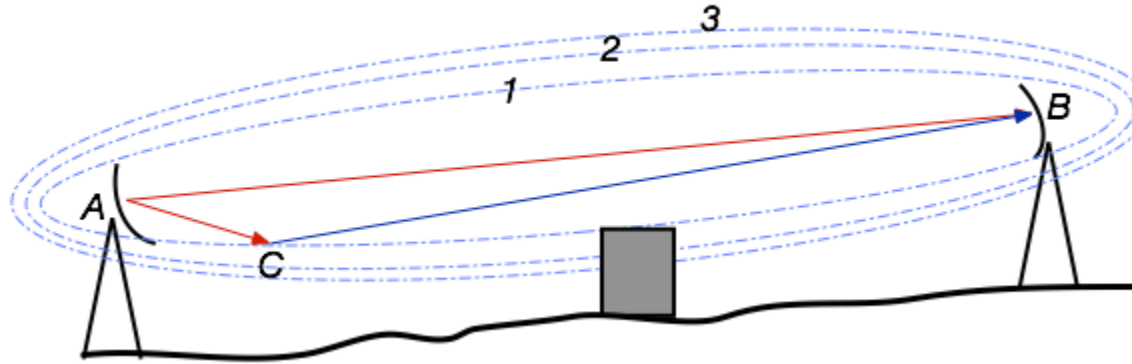
$$\frac{dN}{dh} < -0,157 \text{ Nm}^{-1} \quad \text{pak } R_e < 0, k_e < 0$$

- Tento případ nastává např. při teplotní inverzi – teplota se s výškou zvyšuje a při rychlém ubývání vlhkosti s výškou.

FRESNELOVY ZÓNY

- Fresnelova zóna pojmenovaná podle fyzika Augustina-Jeana Fresnela je jednou ze série elipsoidních oblastí prostoru mezi vysílačem, přijímačem a kolem nich.
- Přímá vlna se šíří nejkratší cestou (přímou) mezi vysílačem a přijímačem.
- Ovšem v prostředí s překážkami nebo různé objekty způsobující vychylování EM vln způsobí, že se mezi vysílačem a přijímačem šíří další vlny které urazí různou vzdálenost.
- Vlna přímá se na přijímači sčítá s vlnou odraženou a v závislosti na fázovém posuvu mohou vlny interferovat buď konstruktivně nebo destruktivně (posilují se nebo potlačují)
- Podle toho v jaké Fresnelově zóně se překážka od které se vlna odráží nachází pomáhá určit jestli bude součet přímé a odražené vlny mít kladný nebo záporný dopad.
- Výpočty Fresnelových zón se používají k předvídání nežádoucích překážek při navrhování vysoce direktivních systémů, jako jsou mikrovlnné parabolické anténní systémy. I když se intuitivně může zdát, že přímá viditelnost mezi vysílačem a přijímačem je vše, co je zapotřebí pro kvalitní signálový přenos, tak kvůli složité povaze rádiových vln mohou překážky v první Fresnelově zóně způsobit značné zeslabení přenášeného signálu, i když tyto překážky neblokují přímo cestu přímé vlny.
- Platí pravidlo, že první (primární) Fresnelova zóna by v ideálním případě měla být z 80% bez překážek, ale musí být alespoň z 60% volná.

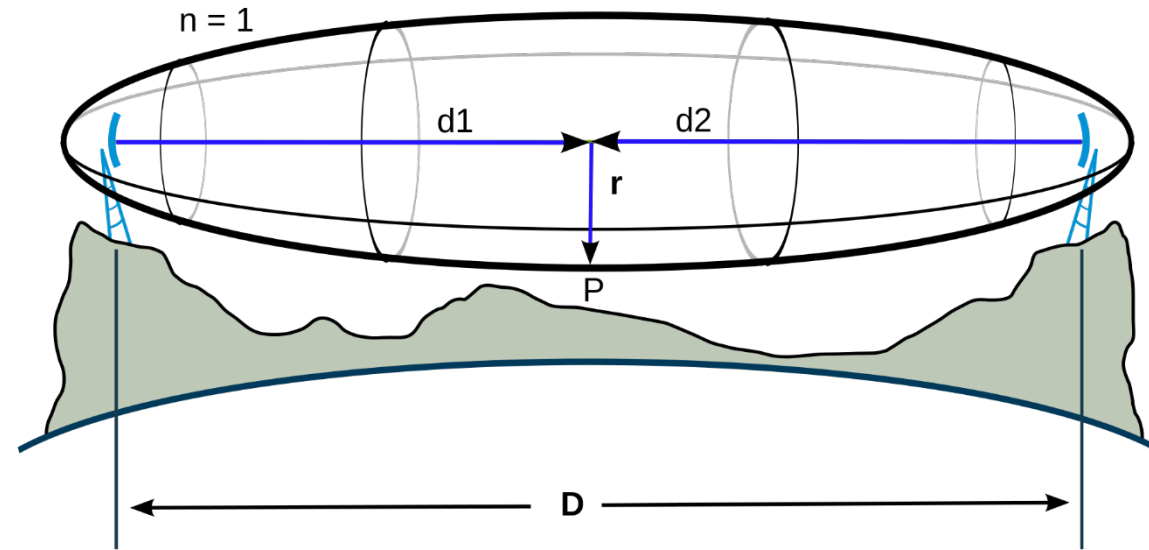
FRESNELOVY ZÓNY



- N-tá Fresnelova zóna je definována jako místo bodů ve 3D prostoru tak, že odražená vlna bude mezi $n-1$ a n polovičními vlnovými délkami oproti vlně, která se šíří přímou cestou. Hranice těchto zón budou elipsoidy s ohnisky na vysílači a přijímači.
- I. FZ – signály které se budou odrážet od překážek v této zóně dopadnou na přijímač s maximálním posuvem $\pi/2$ oproti přímé vlně. Toto má pozitivní vliv, jelikož se přímý a odražený signál sčítají ve fázi a vzájemně se posilují.
- II. FZ – signál který se odrazí od překážek v této zóně dojde k přijímači o $\frac{\pi}{2}$ až $\frac{3}{2\pi}$ později než signál přímý, a proto se signály budou vzájemně oslabovat – mluvíme o destruktivním charakteru.
- III. FZ – fázový posun obdržené vlny bude $3\frac{\pi}{2}$ až $\frac{5}{2}\pi$ – ve středním případě je to posun přímo o 2π což je 360° tedy signály přímé a odražené se sčítají naprosto ve stejné fázi a proto se posilují.
- IV. FZ je stejná jako II. FZ, pak V. FZ je stejná jako III. FZ atd.

FRESNELOVY ZÓNY

- Výpočet Fresnelových zón



- Pro výpočet rádiusu r_n n-té Fresnelovy zóny uvažujme pozice dvou antén (vysílací a přijímací) A a B. Vzdálenost mezi těmito anténami označme jako D a zvolme nějaký bod P v jehož místě chceme určit poloměr Fresnelovy zóny. Pro libovolný bod P pak musí platit:

$$\overline{AP} + \overline{PB} - D = n \frac{\lambda}{2}$$

- Nyní dosadíme známe souřadnice bodu P a vzdálenosti D

$$\sqrt{d_1^2 + r_n^2} + \sqrt{d_2^2 + r_n^2} - (d_1 + d_2) = n \frac{\lambda}{2}$$
$$d_1 \left(\sqrt{1 + r_n^2/d_1^2} - 1 \right) + d_2 \left(\sqrt{1 + r_n^2/d_2^2} - 1 \right) = n \frac{\lambda}{2}$$

FRESNELOVY ZÓNY

- Za předpokladu, že vzdálenost mezi anténami a bodem P je mnohem větší než rádius r_n a s využitím binomiální aproximace odmocniny ($\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{x}{2}$, pro $x \ll 1$) lze výše uvedený výraz zjednodušit do podoby:

$$\frac{r_n^2}{2} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \approx n \frac{\lambda}{2}$$

- A pro poloměr Fresnelových zón pak dostaneme:

$$r_n \cong \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{D}} \quad d_1, d_2 \gg n\lambda$$

- Pro praktickou aplikaci je často vhodné znát maximální rádius první Fresnelovy zóny, ten získáme dosazením následujících hodnot: $n=1$, $d_1 = d_2 = D/2$

$$r_{1max} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda D}$$

DIFRAKCE NA PŘEKÁŽCE

- Difrakce znamená ohyb. Pokud vyšleme vlnu na nerovný kopcovitý terén, kde překážky jsou větší, než je vlnová délka, pak se vlny nešíří pouze po přímočarých trajektoriích, ale ohýbají se okolo překážek. Následující obrázek pomůže pro představu.



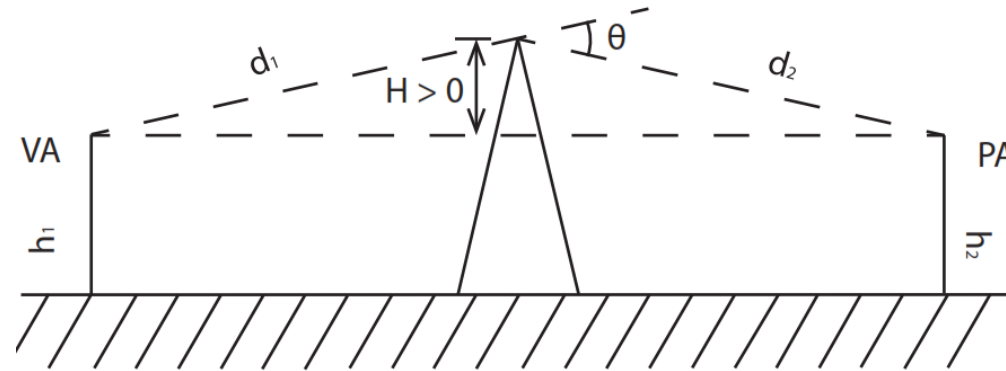
- Díky tomuto jevu, můžeme přijímat signál nebo vlnění i v tzv. stínu překážky, ale samozřejmě bude vlna porušená, nebo fázově posunutá. Nejjednodušším případem je difrakce světla na hraně materiálu, tato difrakce se nazývá optická či Fresnelova.
- Míru zastínění vyjádříme parametrem v

$$v = H \sqrt{\left[\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \right]}$$

Kde: H – efektivní výška překážky [m]
 d_1, d_2 – vzdálenost vysílače a přijímače od překážky [m]
 λ – vlnová délka

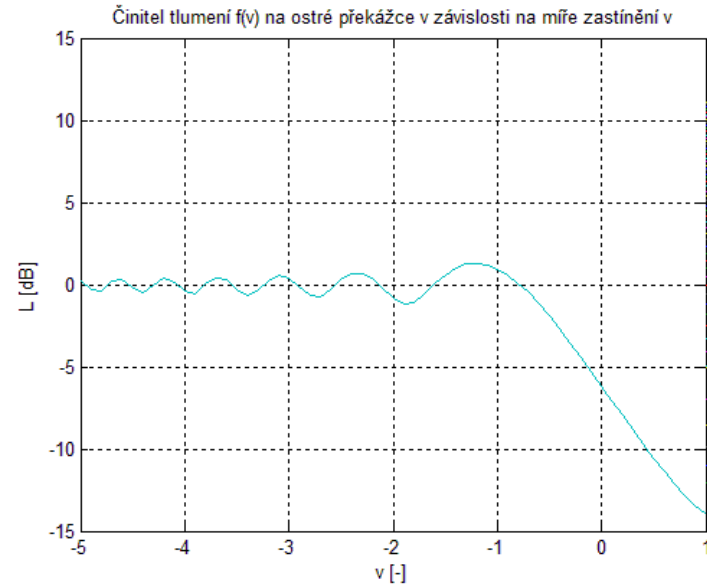
DIFRAKCE NA PŘEKÁŽCE

- Efektivní výška překážky je výška, která se určuje od vrcholu překážky po spojnici vysílač-přijímač, může nabývat dvou hodnot, a to kladných nebo záporných.
- Kladných hodnot bude nabývat právě tehdy když, je nadmořská výška vrcholu větší než nadmořská výška spojnice vysílač-přijímač.



DIFRAKCE NA PŘEKÁŽCE

- Typický průběh činitele tlumení při míře zastínění $v = -5$ až 1



- Interferenční charakter činitele tlumení pro záporné hodnoty v je způsoben postupným zastiňováním jednotlivých Fresnelových zón. V oblasti stínu pro hodnoty $v > 2$ lze použít aproximaci:

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

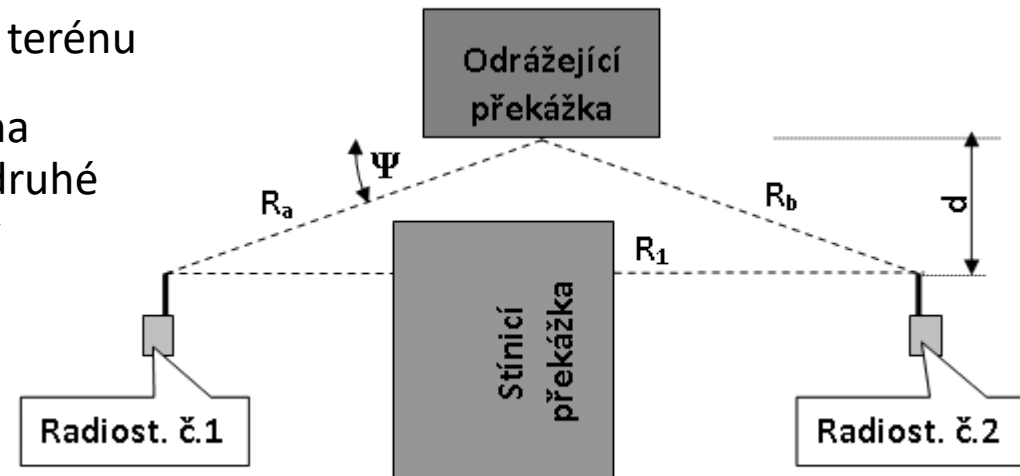
- Pro řešení obecného tvaru překážky je nutné použít pokročilé numerické metody.
- Obecně platí, že překážka typu ostrého břitu představuje případ s nejmenšími ztrátami difrakcí, zatímco překážka ve tvaru hladké válcové plochy případ největších možných ztrát difrakcí.
- Samotnou velmi komplikovanou kapitolou je výpočet difrakce v případě, že se na trase vyskytuje více překážek.

PRAKTICKÁ ČÁST – VÝPOČTY RADIOKOMUNIAČNÍ ROVNICE

- Vypočtete výkon P_p přijímaný radiostanicí pokud znáte následující parametry radiokomunikačního spoje:
 - $P_t = 0,1 \text{ W}$ (vysílaný výkon)
 - $G_t = 6 \text{ dB}$ (zisk vysílací antény), $G_r = 1 \text{ dB}$ (zisk přijímací antény)
 - $R = 1 \text{ 000m}$
 - $L_{\text{atm}} = 0,1\text{dB/km}$ (ztráty v atmosféře)

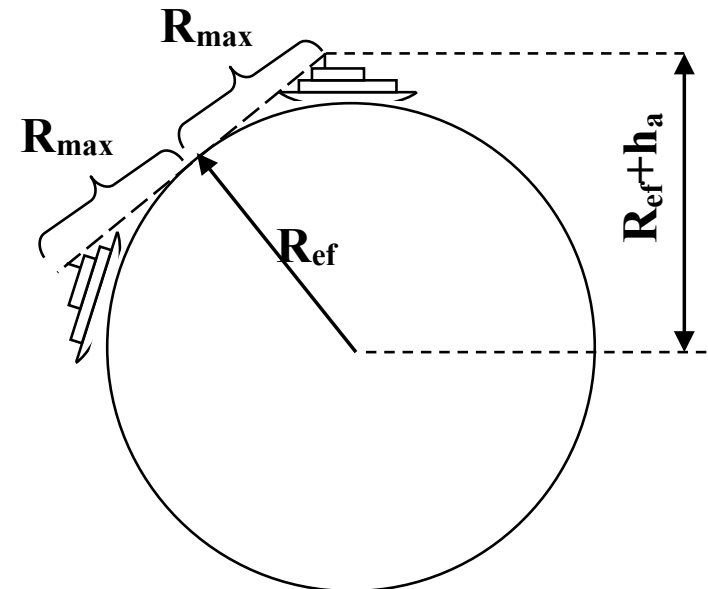
PRAKTICKÁ ČÁST – VÝPOČTY RADIOKOMUNIAKČNÍ ROVNICE

- Dvě jednoduché radiostanice A a B, komunikují na kmitočtu 300 MHz na vzdálenost 3 km. Prutové antény jsou ve výšce $h = 1,5$ m nad terénem.
- Určete přijímaný výkon na stanici B, pokud stanice A vysílá s výkonem 1 W.
- Další parametry: $G \cong 2$ dB , $L_{at0} \cong 0,03$ dB/1 km
- Určete napětí na vstupu přijímače stanice B při impedanci $Z_0 = 75 \Omega$ v těchto případech:
 - přímá viditelnost obou stanic, bez uvažování vlivu terénu
 - přímá viditelnost obou stanic, s uvažováním vlivu terénu
 - nepřímá viditelnost - přímá vlna není zachycena a při vysílání jedné stanice přichází na anténu druhé stanice pouze vlna odražená od malé překážky



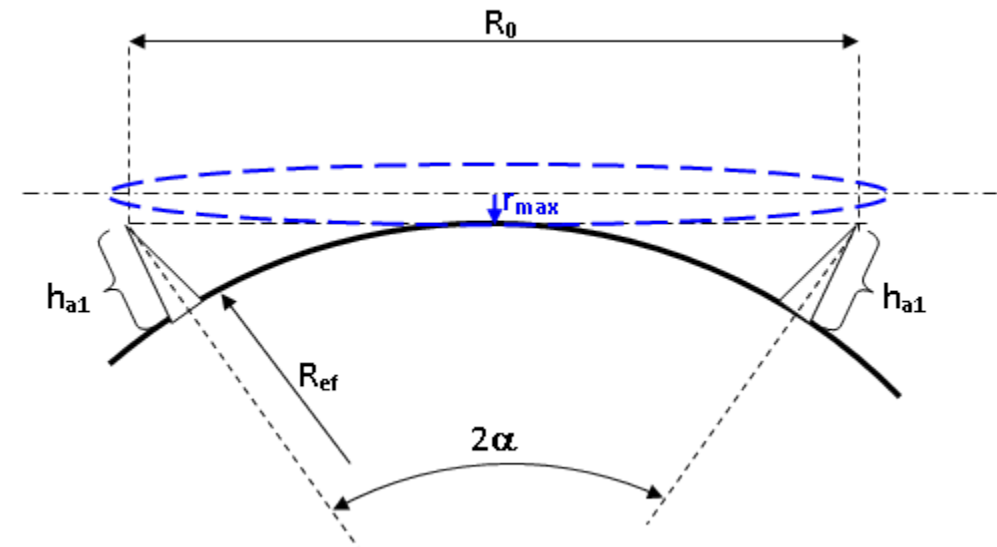
PRAKTICKÁ ČÁST – VÝPOČTY RADIOKOMUNIAKČNÍ ROVNICE

- Menší námořní loď má anténu rádiového pojítka umístěnu na stěžni ve výši 25 m nad hladinou.
- Určete:
 - Vzdálenost rádiového obzoru této stanice a porovnejte ho s optickým obzorem.
 - Na jakou vzdálenost mohou rádiově komunikovat dvě stejné lodě, pokud uvažujeme pouze přímou rádiovou viditelnost?
- Při:
 - h_a výška antény
 - $R_{ef} = 8\,500$ km efektivní poloměr Země
 - R_{max} rádiový obzor
 - R_0 optický obzor
 - $R_z = 6\,370$ km poloměr Země



PRAKTICKÁ ČÁST – VÝPOČTY RADIOKOMUNIAKČNÍ ROVNICE

- Určete v jaké výšce nad terénem musí být umístěny antény pojitka v pásmu 6 cm na vzdálenost 100 km:
 - mají-li být v přímé rádiové dohlednosti
 - nemá-li terén zasahovat do 1. Fresnelovy zóny
- Při:
 - $R_0 = 100$ km délka trasy pojitka
 - h_{a1} výška antén nad terénem v případě a)
 - h_{a2} výška antén nad terénem v případě b)
 - $R_{\text{ref}} = 8\,500$ km efektivní poloměr Země
 - $\lambda = 6$ cm vlnová délka
 - r_{max} maximální poloměr 1. Fresnelovy zóny



PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SPEKTRÁLNÍM ANALYZÁTOREM

- Základní kroky pro práci se spektrálním analyzátozem
- Zapnutí a inicializace:
 - Zapněte spektrální analyzátor a nechte ho projít inicializačním procesem.
 - Nastavte analyzátor do výchozího stavu stiskem tlačítka preset
- Nastavení základních parametrů:
 - Střední frekvence (Center Frequency): Nastavte střední frekvenci na hodnotu, kterou chcete analyzovat.
 - Rozsah (Span): Nastavte frekvenční rozsah, který chcete zobrazit. Menší rozsah poskytne detailnější pohled na signál.
 - Šířka pásma rozlišení (Resolution Bandwidth, RBW): Nastavte RBW pro optimalizaci rozlišení frekvence a redukci šumu.
- Připojení signálu:
 - Připojte signál, který chcete analyzovat, k vstupu spektrálního analyzátoru. Ujistěte se, že impedance signálu odpovídá vstupní impedanci analyzátoru.
- Optimalizace zobrazení:
 - Úroveň referenčního signálu (Reference Level): Nastavte úroveň referenčního signálu tak, aby signál byl dobře viditelný na displeji.
 - Video šířka pásma (Video Bandwidth, VBW): Nastavte VBW pro vyhlazení zobrazeného signálu.
- Použití markerů:
 - Použijte markery k identifikaci frekvencí a amplitud specifických signálů. Markery vám pomohou přesně určit hodnoty na spektru.
- Měření a analýza

PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SPEKTRÁLNÍM ANALYZÁTOREM

- **Laboratorní úloha: Určení závislosti velikosti přijímaného signálu na vzdálenosti od zdroje signálu pomocí spektrálního analyzátoru**
 - Cílem této laboratorní úlohy je měřit a analyzovat, jak se mění velikost přijímaného signálu v závislosti na vzdálenosti od zdroje signálu. K tomu využijeme spektrální analyzátor.
- **Potřebné vybavení**
 - Spektrální analyzátor
 - Generátor signálu (např. RF generátor)
 - Anténa nebo přijímač signálu
 - Měřicí pásmo nebo jiný nástroj pro přesné měření vzdálenosti
 - Koaxiální kabely a konektory

PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SPEKTRÁLNÍM ANALYZÁTOREM

■ Postup

- **Příprava zařízení:**
 - Zapněte spektrální analyzátor a nechte jej projít inicializačním procesem.
 - Připojte generátor signálu k anténě nebo jinému vysílacímu zařízení.
 - Ujistěte se, že spektrální analyzátor je správně kalibrován.
- **Nastavení parametrů:**
 - Nastavte střední frekvenci (Center Frequency) na hodnotu, kterou generuje váš signál.
 - Nastavte rozsah (Span) tak, aby zahrnoval frekvenci signálu.
 - Nastavte šířku pásma rozlišení (RBW) a video šířku pásma (VBW) na vhodné hodnoty pro váš signál.
- **Měření na různých vzdálenostech:**
 - Umístěte anténu nebo přijímač signálu na počáteční vzdálenost od zdroje signálu (např. 1 metr).
 - Zaznamenejte úroveň přijímaného signálu na spektrálním analyzátoru.
 - Postupně zvyšujte vzdálenost (např. po 1 metru) a zaznamenávejte úroveň signálu na každé vzdálenosti.
 - Opakujte měření pro každou vzdálenost, dokud nedosáhnete maximální požadované vzdálenosti.
- **Analýza dat:**
 - Vytvořte graf závislosti úrovně přijímaného signálu na vzdálenosti od zdroje signálu.
 - Analyzujte, jak se mění úroveň signálu s rostoucí vzdáleností. Očekává se, že úroveň signálu bude klesat s rostoucí vzdáleností podle inverzního čtvercového zákona.
- **Vyhodnocení výsledků:**
 - Porovnejte naměřené hodnoty s teoretickými předpoklady.
 - Diskutujte možné zdroje chyb a odchylek, jako jsou odrazy, rušení nebo nepřesnosti měření.

ZDROJE

- [1] Žalud, V., Dobeš, J. Moderní radiotechnika. Praha, 2006. ISBN 80-7300-132-2.
- [2] Pokorný, Miroslav. Základy techniky radiové komunikace. Ostrava: Ostravská univerzita, 2006. ISBN 80-7368-155-2.
- [3] Mazánek, Miloš. Antény a šíření vln. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01855-5.
- [4] Skalický, Petr. Číslicové systémy v radiotechnice. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02854-2.
- [5] Syrovátka, Břetislav. Radiové vysílače a přijímače. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03236-1.
- [6] V. Pankrác, “Elektromagnetická vlna”, p. 98 - Elektromagnetické vlny_2019.pdf (cvut.cz)

Vytvořeno v rámci projektu: **DANTE**, reg. č. NPO_UPCE_MSMT-16591/2022

Toto dílo podléhá licenci Creative Commons BY-SA 4.0. Pro zobrazení licenčních podmínek navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

