

Prednáška 03:
ŠÍRENIE PRIESTOROVÝCH
ELEKTROMAGNETICKÝCH VÍLN

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.
(lubos.ovsenik@tuke.sk, tel. 421 55 602 4336)

[http://kemt-old.fei.tuke.sk/predmety/EVaA/_materialy/
Prednasky/Pr03/Pr03.pdf](http://kemt-old.fei.tuke.sk/predmety/EVaA/_materialy/Prednasky/Pr03/Pr03.pdf)

<http://los.fei.tuke.sk/>

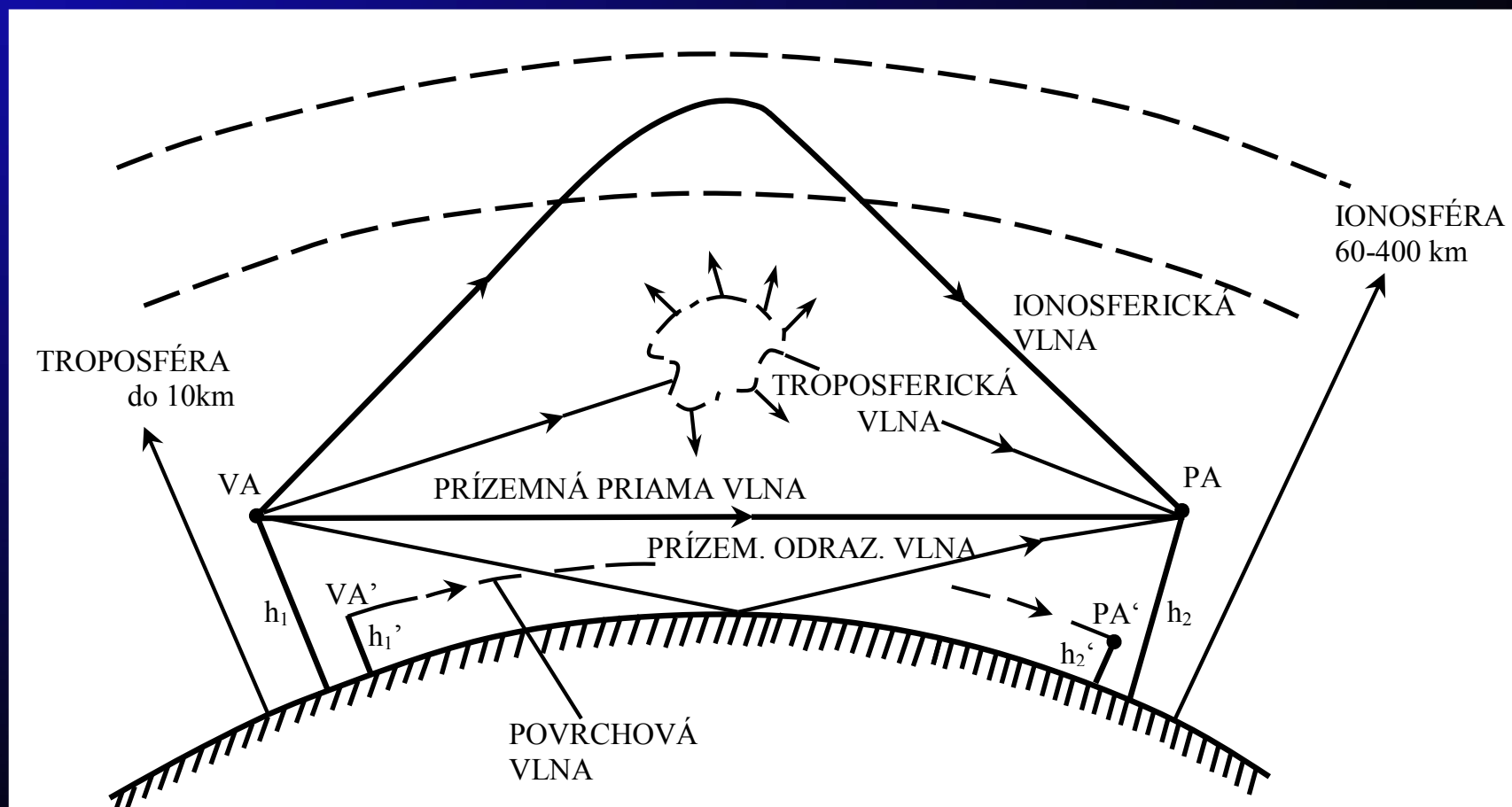
Obsah prednášky

Základné poznatky

- Elektrické vlastnosti zemského povrchu
- Šírenie elm vln medzi anténami umiestnenými nad rovinným zemským povrchom
- Šírenie povrchových elm vln nad rovinným zemským povrchom
- Šírenie povrchových elm vln nad nehomogénnym zemským povrchom
- Šírenie elm vln nad guľovým zemským povrchom
- Vplyv nerovnosti zemského povrchu na šírenie prízemných elm vln
- Vplyv prekážok na šírenie prízemných elm vln

Elektrické vlastnosti zemského povrchu

- Šírenie prízemných elm vln do značnej miery závisí od **elektrických parametrov** povrchových vrstiev Zeme



- Elektrické vlastnosti jednotlivých zložiek pôdy, podložia a objektov na zemskom povrchu závisia od ich **štruktúry, teploty a vlhkosti**
- Povrchové vrstvy Zeme majú nehomogénnu štruktúru
 - preto neuvažujeme elektrické parametre jednotlivých zložiek, ale **zavádzame** ich ekvivalentné hodnoty
 - **hrúbka vrstvy**, ktorá ovplyvňuje šírenie elektromagnetických vln, **závisí od vlnovej dĺžky elm vlnenia**
 - čím je **vlnová dĺžka väčšia**, tým **hrubšia vrstva zeme** ovplyvňuje šírenie vlny
- **Nerovnosti terénu** a jeho pokrytie (lúky, lesy, mestá a pod.) **sa prejavujú** podobným spôsobom ako vlastnosti pôdy
- Základnými parametrami pôdy, vplývajúcimi na vlastnosti šírenia: **elektrická vodivosť „ σ “**, **permitivita „ ϵ “** a **permeabilita „ μ “** (tab.3.1)

Tab.3.1. Elektrické vlastnosti niektorých typov zemského povrchu

Typ povrchu	Relatívna permitivita ϵ_r	Špecifická vodivosť σ (S/m)
Vlhká pôda	10 až 30	10^{-3} až 10^{-2}
Suchá pôda	3 až 6	10^{-4} až 10^{-3}
Hory	-	$7 \cdot 10^{-4}$
Lesy	-	10^{-3}
Veľké mestá	-	10^{-3}
Morská voda	80	4
Sladká voda	80	10^{-3}

- Elektrické vlastnosti pôdy sú dané
 - **vlastnosťami** jednotlivých druhov vrchných vrstiev zemskej kôry a ich rozložením na povrchu
 - obsahom **solí** v jednotlivých horninách
 - obsahom a úrovňou **vody** v jednotlivých vrstvách

- Pri rozbere šírenia na danej trase vždy uvažujeme **lokálne vlastnosti pôdy** - rozoznávame viac ako 1000 druhov hornín, ktoré delíme na tri hlavné skupiny:
 - **Magmatické** (vyvreté) - dostali sa do zemskej kôry vplyvom sopečnej činnosti
 - **Usadené** (sedimentárne) - vznikli z magmatických, pôsobením deštruktívnych síl na pôvodnú horninu. V niektorých prípadoch vznikli tieto druhy pôsobením biologických procesov, najmä v morskej vode (tieto druhy sú veľmi pórovité)
 - **Metamorfózne** (premenené) - vznikli vplyvom rôznych geologických javov na magmatické alebo usadené druhy hornín, čím zmenili svoje pôvodné vlastnosti a nadobudli tvrdú kryštalickú štruktúru (vlastnosťami sú veľmi príbuzné magmatickým)

■ Elektrické vlastnosti pôdy

■ roviny majú typické vlastnosti **usadených** druhov hornín

- na rovinách, kde je reliéf povrchu jednoduchý, **uplatnia sa** predovšetkým **elektrické vlastnosti** pôdy

■ hory majú vlastnosti **magmatických** a **metamorfózných** hornín

- na miestach, **kde prevládajú hory** a kde je reliéf povrchu veľmi zložitý, má podstatný vplyv na šírenie a jeho vlastnosti **difrakcia** (lámanie) a elektrické vlastnosti pôdy sa uplatnia len veľmi mierne

■ Pri rozbere **šírenia elm vln v blízkosti povrchu Zeme** treba nahradiť skutočné podmienky, za ktorých prebieha proces šírenia, **podmienkami ekvivalentnými a do značnej miery zidealizovanými**

■ **skutočný** zvrásnený (drsňý) povrch zemegule **nahradíme** dokonale **hladkým** povrchom, ktorý má **rovnakú** elektrickú vodivosť „ σ “ a dielektrickú konštantu „ ϵ “ ako skutočný zemský povrch

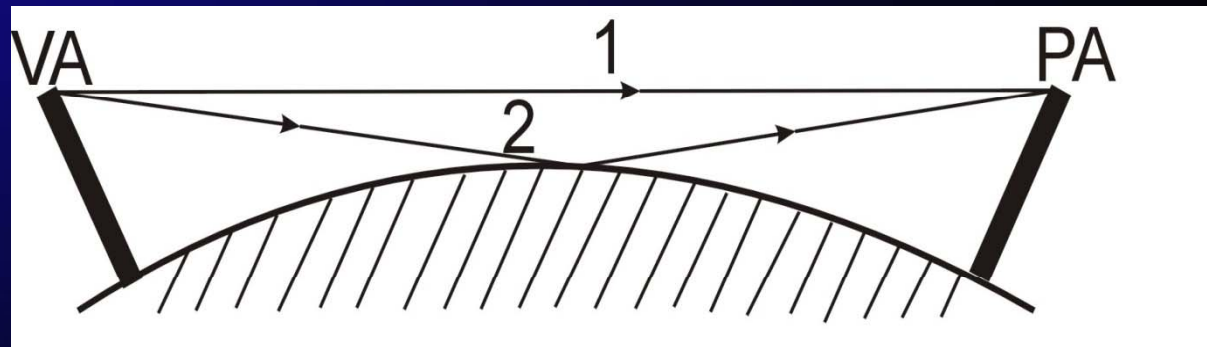
■ zjednodušenie je v tom, ako porovnávame rôzne druhy povrchu zemegule so stupňom ich drsnosti

- z hľadiska el. vlastností musíme rozlišovať slanú morskú vodu od sladkej vody riečnej a jazernej - **drsnosť** vodného povrchu je závislá od veľkosti plochy a sily vetra
- pevninu si zidealizujeme na vlhkú pôdu (lúky, polia, lesy) a suchú pôdu (púšte, kopce, hory a skaly)
- **Stupeň nerovnosti** treba posudzovať vzhľadom na **vlnovú dĺžku** prenášanej elm vlny - povrch zemegule delíme na dve skupiny:
 - **PRVÁ:** tu patria povrchy s **nepatrnými nerovnosťami** - môžeme ich priamo nahradiť hladkým povrchom s určitými elektrickými parametrami
 - príkladom povrchov prvej skupiny sú **vodné plochy, polia, lúky**

- **DRUHÁ:** tu patria povrchy s **veľkými nerovnosťami** - nahradzujeme ich hladkým povrchom s určitými el. parametrami, ale inými ako v prvej skupine
 - el. parametre hladkého polovodivého povrchu sa vyberú tak, že útlm elm vln nad touto fiktívnou pôdou je rovnaký ako nad skutočnou pôdou
 - takéto parametre pôdy nazývame **ekvivalentnými**
 - príkladom povrchov druhej skupiny je **les a veľké mesto**
 - vlny, šíriace sa nad lesom, sú predovšetkým tlmené tým, že elm vlna indukuje prúdy v kmeňoch a konároch stromov, ktoré môžeme uvažovať ako uzemnené antény z polovodivého materiálu

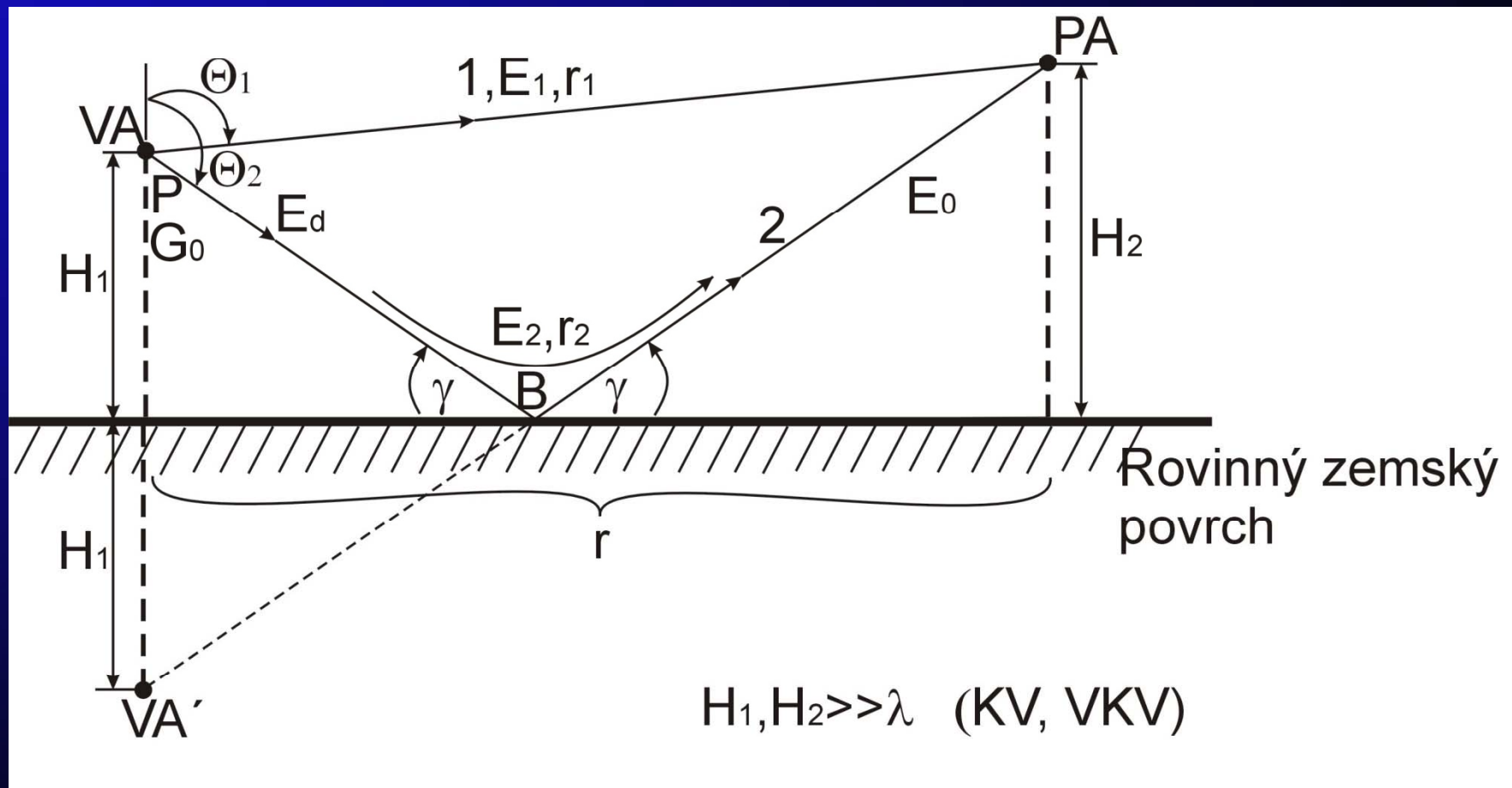
Šírenie prízemných elm vln medzi anténami umiestnenými nad homogénnym rovinným zemským povrchom

- Elm pole pri tomto usporiadaní antén môžeme považovať v mieste príjmu (PA) za **súčet** (superpozíciu) prízemných vln, t.j. **priamej (1)** a **odrazenej (2)** vlny



- **Rozdiel fáz** týchto dvoch zložiek elm poľa závisí od výšok antén („VA“ a „PA“), resp. od **rozdielu dráh** ($r_2 - r_1$) (Obr. 3.1)
- Tento typ šírenia je podmienený **priamou viditeľnosťou** medzi „VA“ a „PA“ (vysielačou a prijímacou anténou)

Obr.3.1 Šírenie elektromagnetických vln medzi anténami nad rovinným zemským povrchom



KV (100 - 10 m); VKV (10 - 1 m)

■ Popis elm poľa v mieste príjmu (PA) spočíva v **riešení Maxwellových rovníc** s príslušnými okrajovými podmienkami

■ Toto riešenie je omnoho jednoduchšie, ak prijímacia anténa (PA) aj vysielacia anténa (VA) sú umiestnené nad rovinným zemským povrchom **vo výške**, ktorá je **omnoho väčšia** ako **vlnová dĺžka** (Obr. 3.1)

■ Antény sú pritom napájané nevyžarujúcim vedením

■ Takéto antény sa používajú v oblasti „KV“ a „VKV“

■ **Elm pole v mieste príjmu** môžeme potom považovať za **superpozíciu** vlny priamej (1) a vlny odrazenej (2) od povrchu Zeme

■ Pre intenzity el. poľa priamej a odrazenej vlny platí

$$E_1 = \frac{\sqrt{60PG_0 F(\Theta_1)}}{r_1} e^{-jk_0 r_1}$$

$$E_2 = \frac{\sqrt{60PG_0 F(\Theta_2)}}{r_2} R e^{-jk_0 r_2}$$

P - výkon dodávaný do vysielacej antény; **G₀** - energetický zisk vysielacej antény vzhľadom na izotropnú anténu; **F(Θ)** - normovaná smerová charakteristika VA; „**r₁**“ - dráha, ktorú prešla priama (1) elm vlna; „**r₂**“ - dráha, ktorú prešla odrazená (2) elm vlna a **R** je koeficient odrazu

- Pre **horizontálne polarizovanú** vlnu ($R=R_H$), ktorá sa v oblasti „KV“ a „VKV“ najčastejšie používa platí:

- vektory intenzity elektrického poľa priamej i odrazenej vlny **sú rovnobežné**

- výsledné pole je súčtom polí \vec{E}_1 a \vec{E}_2

$$E_Z = E_1 + E_2$$

- V prípade **vertikálnej polarizácie** ($R=R_V$) platí:

- vektory \vec{E}_1 a \vec{E}_2 **nie sú rovnobežné**

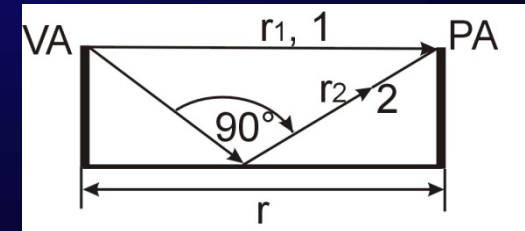
- výsledné pole je polarizované elipticky

$$E_Z = E_1 \sin \Theta_1 + E_2 \sin \Theta_2$$

- Pre väčšinu praktických aplikácií je **vzdialenosť** medzi anténami **omnoho väčšia** ako výšky „ H_1 “ a „ H_2 “, (obr.3.1)

- Môžeme potom predpokladať, že **hustota vyžarovania** pre smer priamej i odrazenej vlny **je rovnaká**
- Pre **rozdiel dráh** lúčov „1“ a „2“ potom platí:

$$\Delta r \approx \frac{2H_1 H_2}{r}$$



- Ak uvažujeme častejší prípad horizontálnej polarizácie
 - uhol dopadu odrazenej vlny je približne 90°
 - koeficient odrazu „ $R_H \approx -1$ “
- Absolútna hodnota intenzity el. poľa v mieste príjmu je:

$$|E| = \frac{4\pi \sqrt{60 P G_0} H_1 H_2}{\lambda r^2}$$

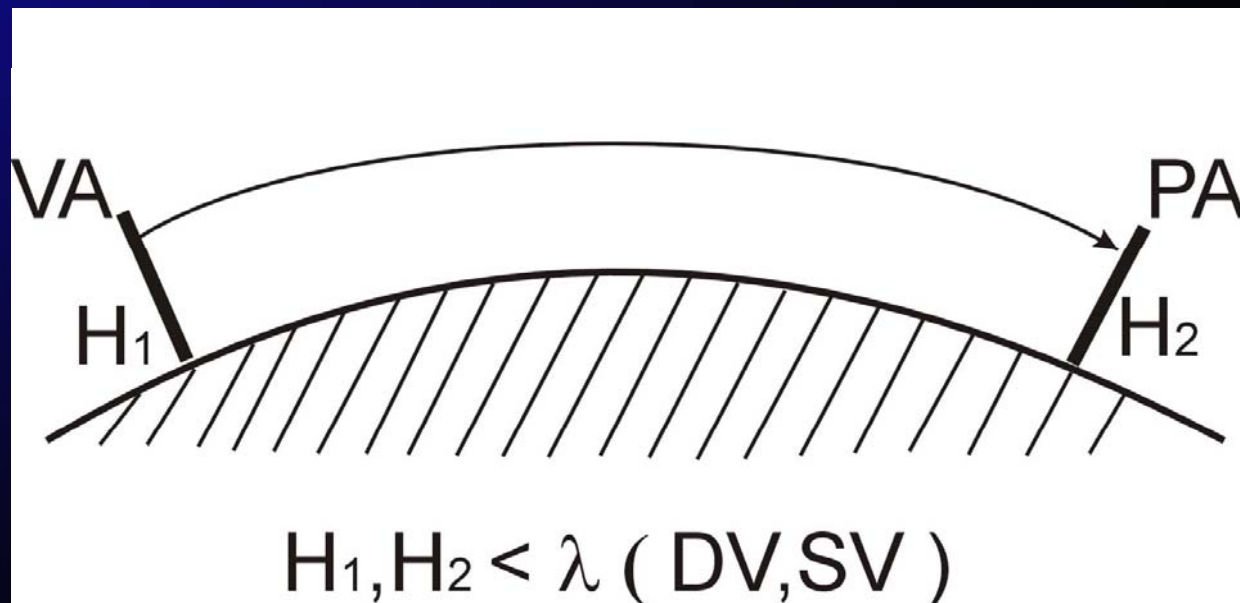
Pre jednotky $[P] = kW, [E] = mV / m, [\lambda, H_1, H_2] = m, [r] = km$

$$|E| = \frac{3,94 \sqrt{P G} H_1 H_2}{\lambda r^2}$$

„**G**“ je zisk vysielačnej antény vzhľadom na polvlnový dipól

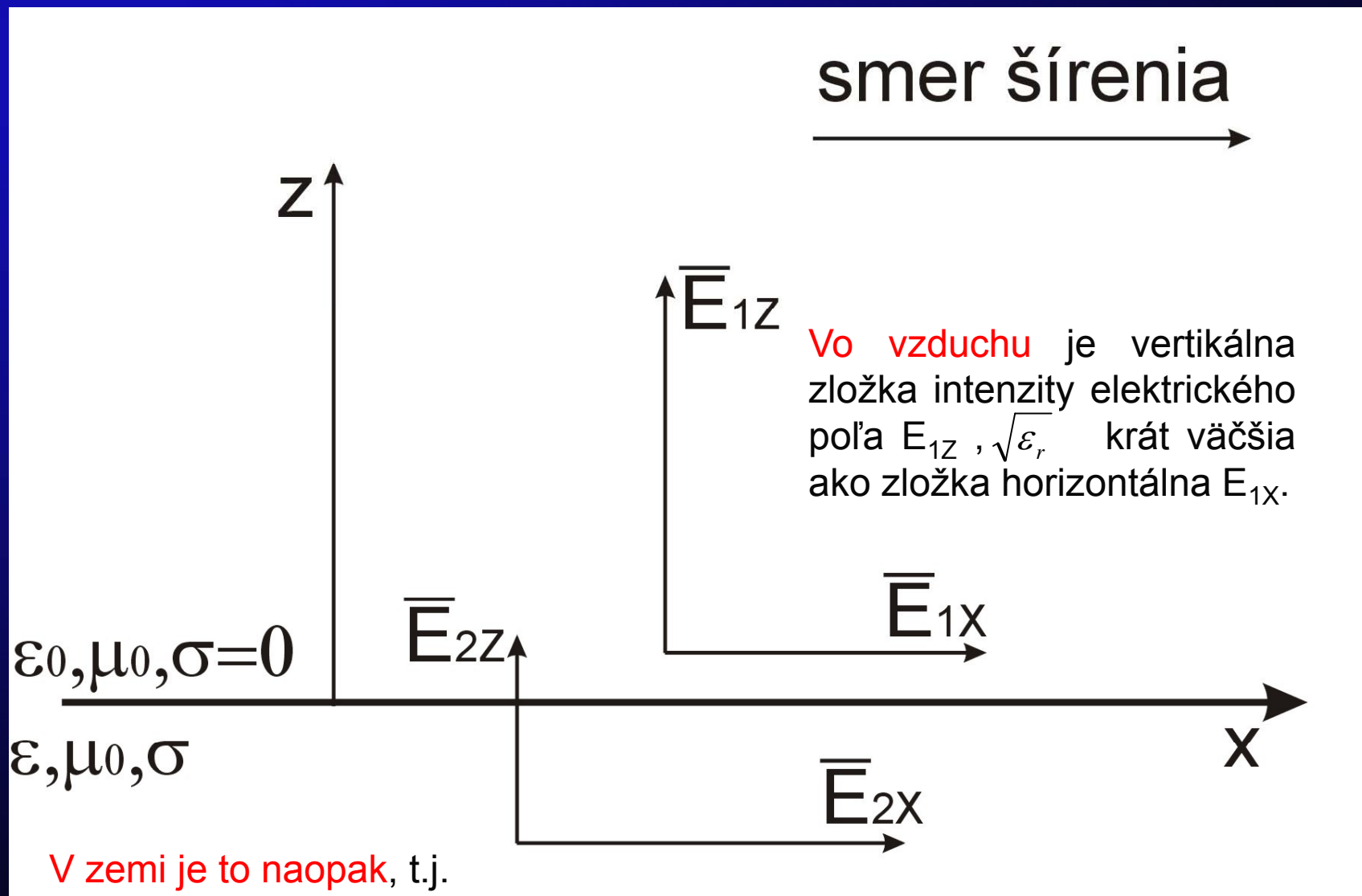
Šírenie povrchových elm vln medzi anténami umiestnenými nad homogénnym rovinným zemským povrchom

- Povrchové elm vlny sú priestorové vlny, ktoré sa šíria pozdĺž zemského povrchu (**kopírujú zemský povrch**) - **difrakcia**
- Tieto vlny vznikajú v prípade **antén umiestnených v malej výške** (v porovnaní s vlnovou dĺžkou) nad povrchom zeme



DV (10 000 - 1000 m); SV (1000 - 100 m)

Obr.3.2 Štruktúra elm poľa pri povrchu Zeme

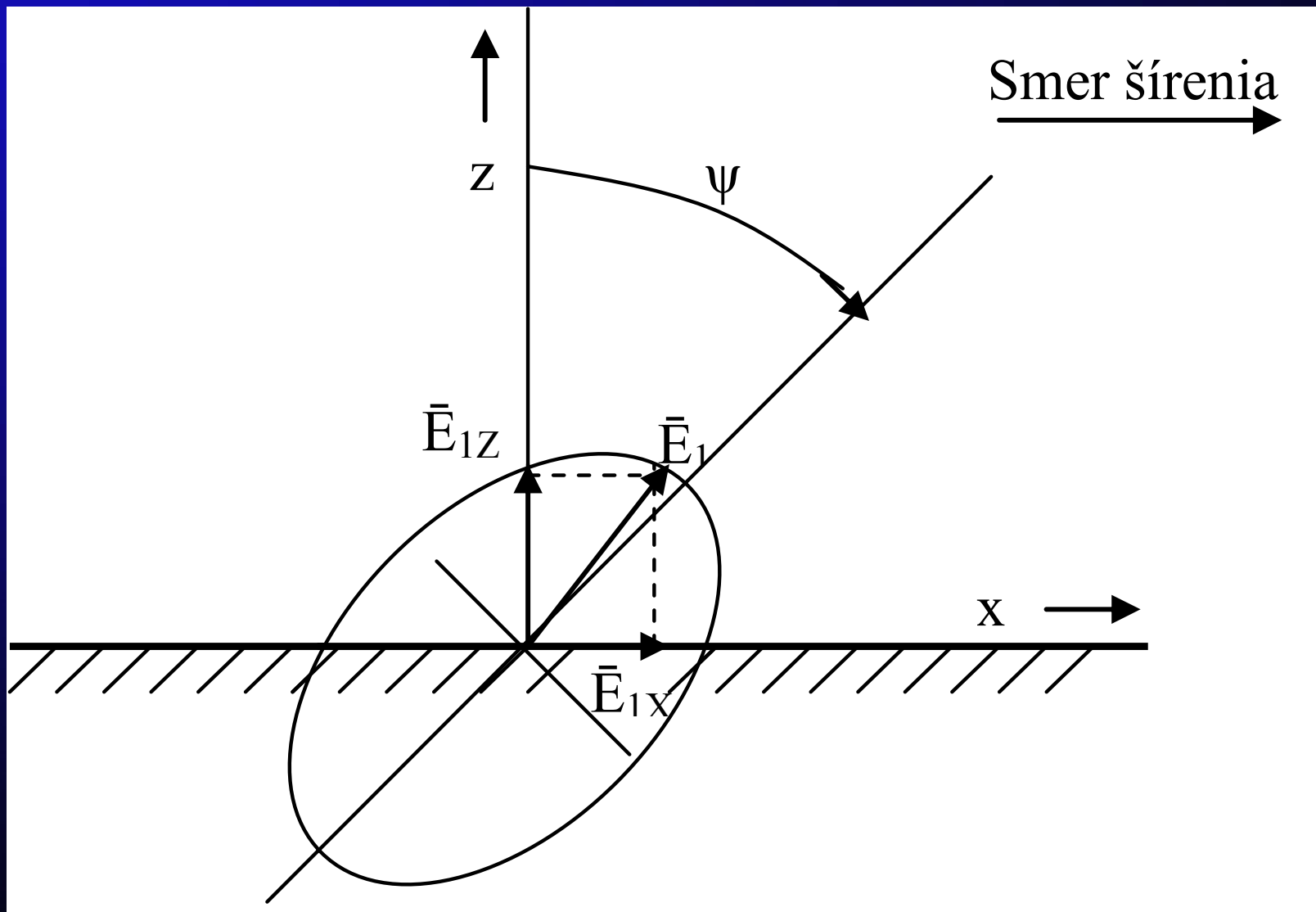


horizontálna zložka intenzity el. poľa E_{2x} je $\sqrt{\epsilon_r}$ krát väčšia ako zložka vertikálna E_{2z}

- **Amplitúda** horizontálnej zložky intenzity elektrického poľa **klesá** so zväčšovaním vodivosti pôdy a vlnovej dĺžky
- Pri šírení elm vlny nad dokonale vodivou zemou táto zložka **zaniká**
- V reálnych podmienkach je vodivosť pôdy taká, že **horizontálna** zložka intenzity elektrického poľa **je omnoho menšia** ako zložka **vertikálna – mení sa amplitúda**
- Vzhľadom na komplexný charakter permitivity pôdy sú tieto **zložky fázovo posunuté – mení sa fáza**
- **Výsledné pole** je teda **polarizované elipticky** (obr.3.3)
- Pri najčastejšie sa vyskytujúcich parametroch pôdy je **elipsa polarizácie veľmi predĺžená**, preto sa nedopustíme veľkej chyby, keď výsledné pole budeme považovať za **lineárne polarizovanú** pozdĺž jej hlavnej osi
- Hovoríme potom o **odchýlke čela vlny od normály** k rovine rozhrania

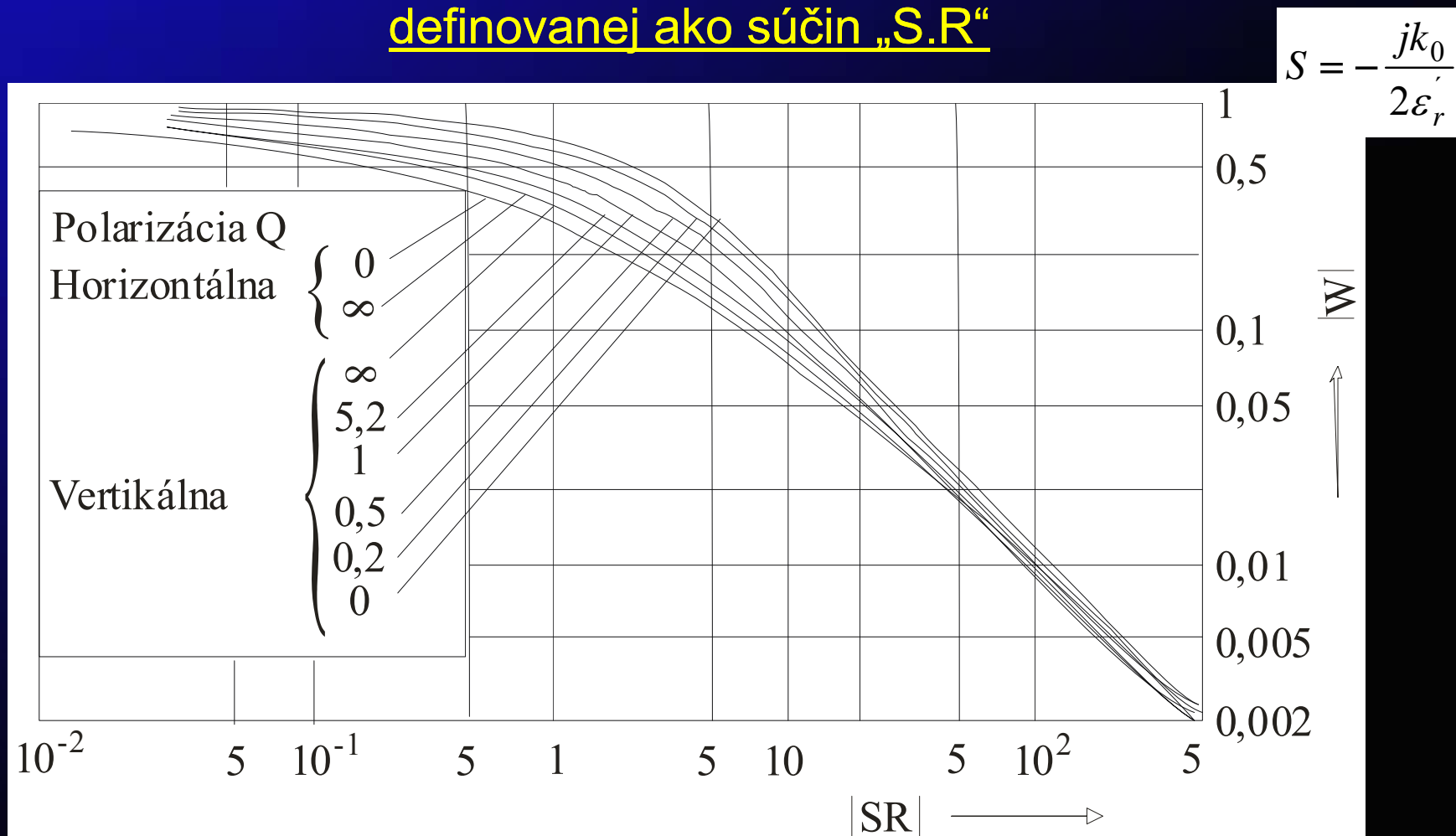
$$\operatorname{tg} \psi = \frac{|E_{1X}|}{|E_{1Z}|} = \frac{1}{\sqrt[4]{\varepsilon_r^2 + (60\lambda_0\sigma)^2}}$$

Obr.3.3 Elipsa polarizácie povrchovej prízemnej vlny



- Pre určenie závislosti amplitúdy el. poľa povrchovej vlny od vzdialenosti je potrebné poznať činiteľ tlmenia, ktorý závisí od parametrov pôdy (ϵ_r, σ), vlnovej dĺžky, polarizácie a vzdialenosti „R“

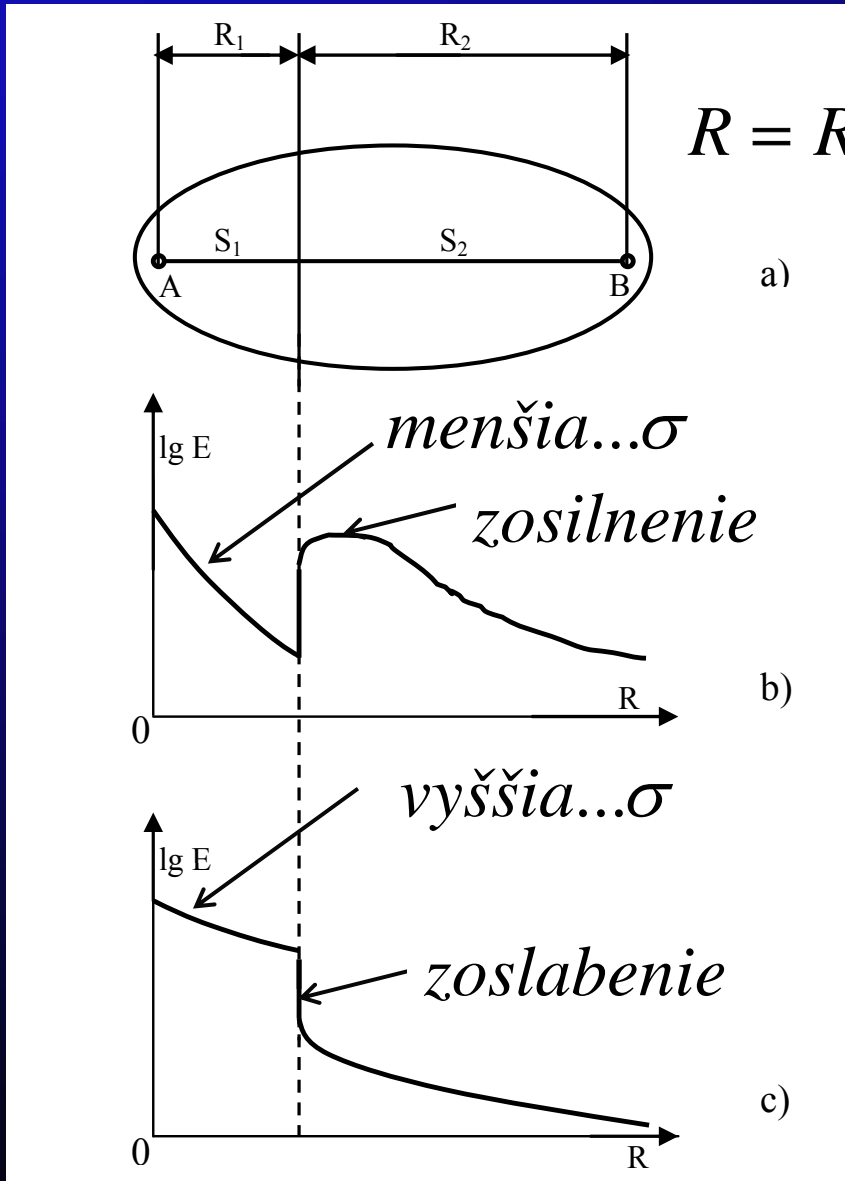
Obr.3.4 Závislosť činiteľa tlmenia od tzv. numerickej vzdialenosti, definovanej ako súčin „S.R“



Šírenie povrchových elm vln nad nehomogénnym zemským povrchom

- Doteraz uvažovaný prípad šírenia elm vln nad **homogénnym** zemským povrchom sa v praxi vyskytuje **zriedka**
- Častejšie sa elm vlna medzi „VA“ a „PA“ šíri nad zemským povrchom, ktorý pozostáva z niekoľkých častí s **rôznymi** el. parametrami
- Exaktné riešenie tejto úlohy je veľmi zložitá a prakticky je možné ho uskutočniť len za určitých **zjednodušujúcich predpokladov** (napr.):
 - nech sa trasa medzi VA a PA skladá z dvoch homogénnych oblastí (**obr.3.5**)
 - oblasť, v ktorej je **VA**, má dĺžku R_1 a je charakterizovaná parametrom S_1
 - oblasť, v ktorej je **PA**, má dĺžku R_2 a je charakterizovaná parametrom S_2
 - nech pre numerické vzdialenosti platí $|S_1 R_1| \gg 1; |S_2 R_2| \gg 1$

Obr.3.5 Šírenie elm vln nad nehomogénnym zemským povrchom



$$R = R_1 + R_2$$

a) trasa medzi VA a PA

$$W \approx \frac{1}{2R\sqrt{S_1S_2}}$$

$$S = -\frac{jk_0}{2\varepsilon_r'}$$

W – činiteľ tlmenia σ - el. vodivosť

b) rozloženie intenzity poľa pre $|S_1| > |S_2| \Rightarrow (\sigma_{S_1} < \sigma_{S_2})$

$$W_1 \approx \frac{1}{2S_1R}$$

$$\left| \frac{1}{\sqrt{S_1}} \right| < \frac{1}{\sqrt{S_1S_2}}$$

$$W \approx \frac{1}{2R\sqrt{S_1S_2}}$$

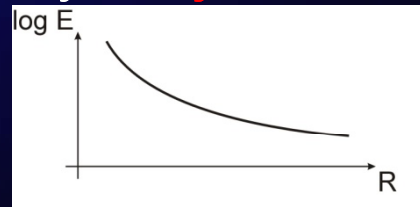
c) rozloženie intenzity poľa pre $|S_1| < |S_2| \Rightarrow (\sigma_{S_1} > \sigma_{S_2})$

- Činiteľ tlmenia takejto trasy potom je

$$W \approx \frac{1}{2\sqrt{S_1 S_2} R}$$

Vzdialenosť medzi VA a PA
 $R=R_1+R_2$

- Z toho vyplýva, že **nehomogénny zemský povrch** má na šírenie elm vln **rovnaký účinok**, ako **homogénny povrch** s parametrom S , ktorý je geometrickým priemerom parametrov S_1 a S_2 jednotlivých oblastí
- Treba si však uvedomiť, že rozloženie elm poľa pozdĺž nehomogénnej trasy **nie je rovnaké** ako pozdĺž **homogénnej** trasy



- Predpokladajme, že úsek trasy s parametrom S_1 má menšiu el. vodivosť ($\sigma_{S_1} < \sigma_{S_2}$) ako úsek s parametrom S_2 , t. j. $|S_1| > |S_2|$

- Činiteľ tlmenia

$$W_1 \approx \frac{1}{2S_1 R}$$

(Obr.3.5)

- Pri prechode do druhej oblasti sa elektrické pole mení s **činiteľom tlmenia**, pretože pri prechode do druhej oblasti nastáva skokové **zväčšenie intenzity** elektrického poľa (b) (Obr.3.5)

$$W \approx \frac{1}{2\sqrt{S_1 S_2} R}$$

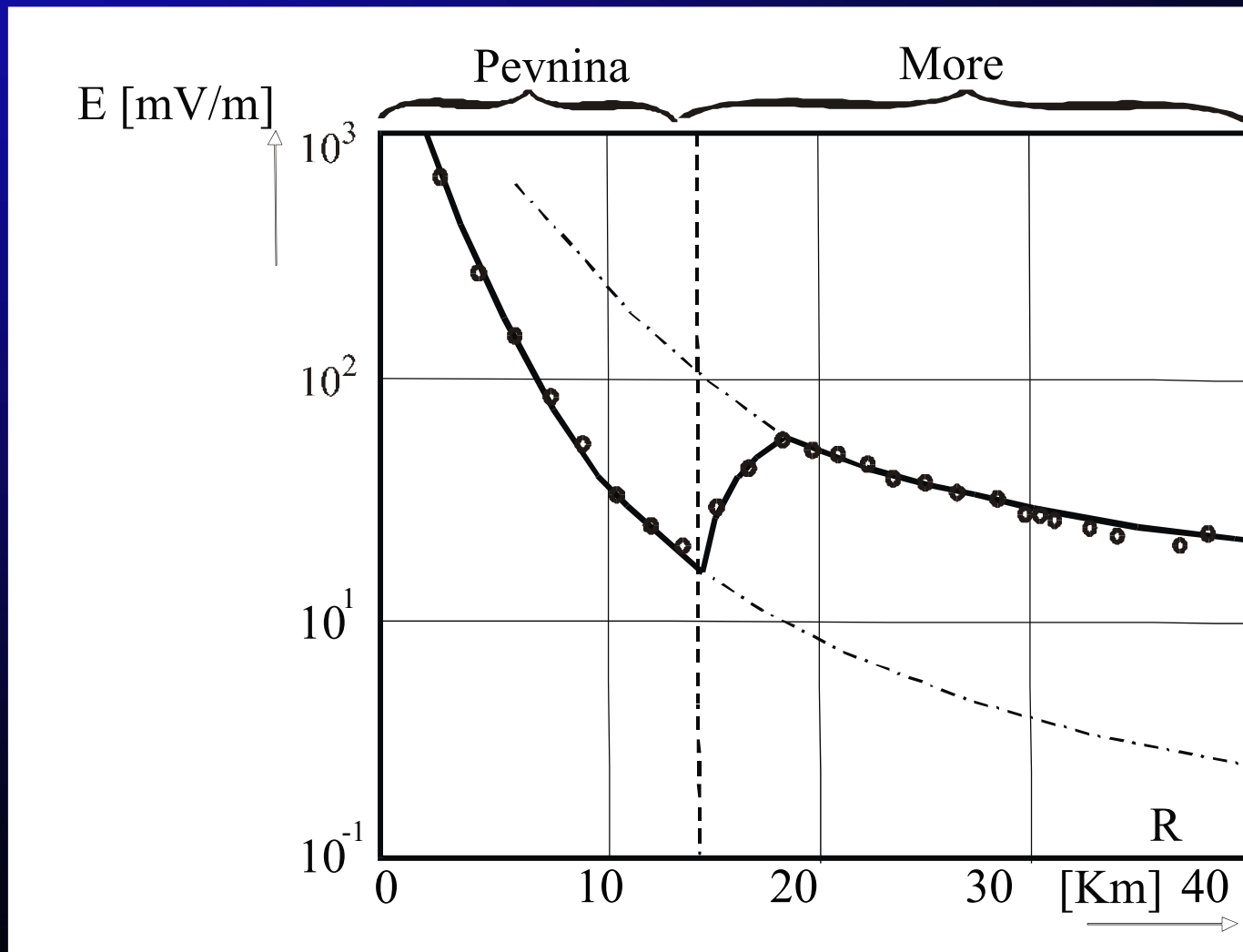
$$\left| \frac{1}{S_1} \right| < \left| \frac{1}{\sqrt{S_1 S_2}} \right|$$

- Predpokladajme, že úsek trasy s parametrom S_1 má väčšiu vodivosť ($\sigma_{S_1} > \sigma_{S_2}$) ako úsek s parametrom S_2 , t.j. **$|S_1| < |S_2|$** ; intenzita elektrického poľa pri prechode do druhej oblasti sa skokom **zmenší** (c); (Obr.3.5)

- **Tieto javy boli potvrdené experimentálne**

- závislosti intenzity elektrického poľa od vzdialenosti pri prechode elm vlny s vlnovou dĺžkou $\lambda = 249\text{m}$ cez rozhranie **pevnina – more**
- výkon vysielačnej antény $P_v = 50\text{kW}$; (Obr.3.6)

Obr.3.6 Porovnanie experimentálnych údajov s teoretickou závislosťou intenzity elektrického poľa od vzdialenosti pri šírení elektromagnetickej vlny na trase pevnina - more



Šírenie elm vln nad guľovým zemským povrchom

- V prípade antén umiestnených nad zemským povrchom je uváženie zakrivenia zemského povrchu jednoduché, ak sa antény nachádzajú v **oblasti priamej viditeľnosti**
- Vzťah pre **absolútnu hodnotu intenzity** el. poľa v mieste príjmu je (ak skutočné výšky antén H_1 a H_2 nahradíme redukovanými výškami H'_1 , resp. H'_2)

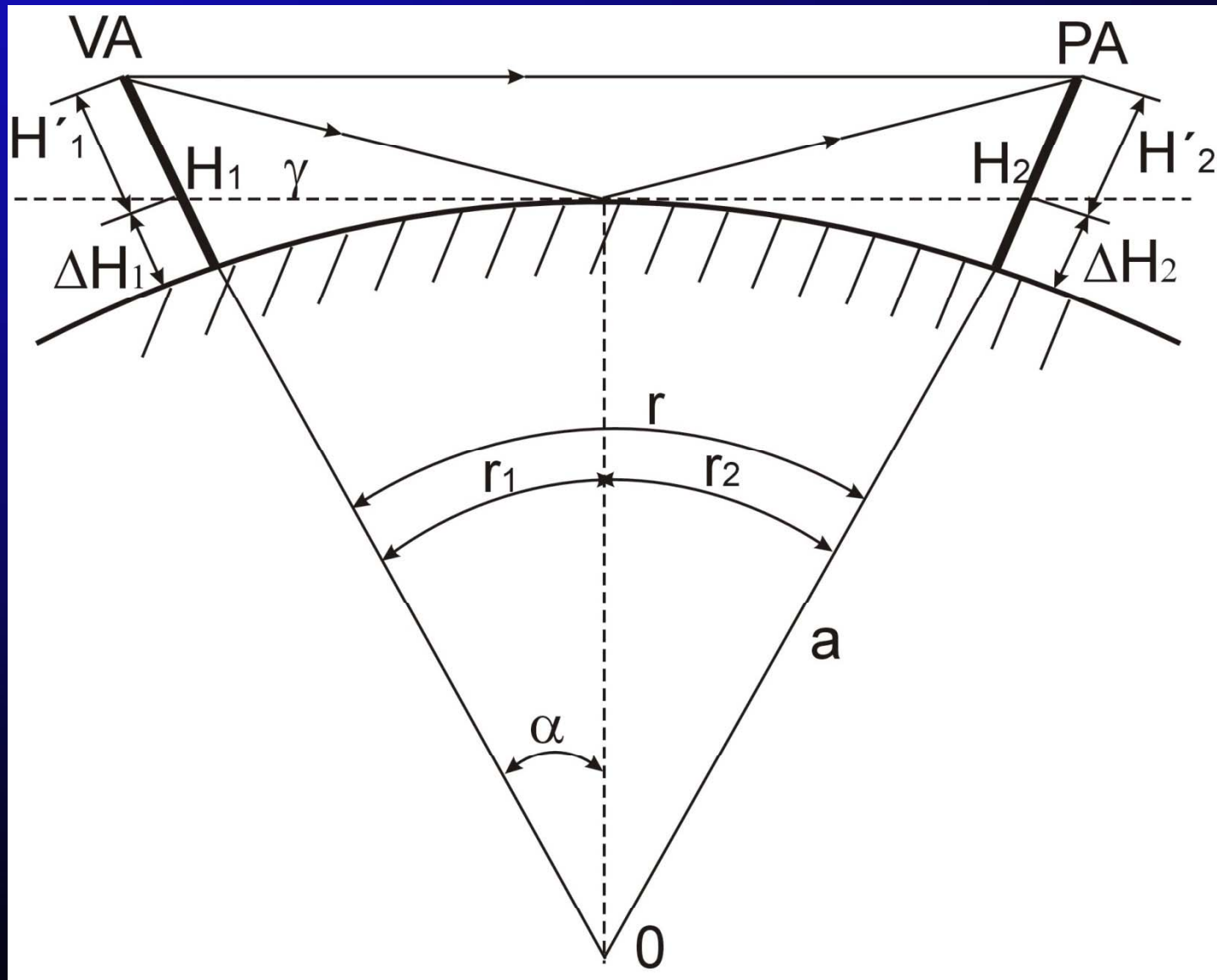
$$|E| = \frac{3,94\sqrt{PGH'_1H'_2}}{\lambda r^2}$$

(Obr.3.7)

- **Dĺžka oblasti** priamej viditeľnosti „ R_0 “ antén je („ a “ je polomer Zeme ≈ 6370 km)

$$R_0 = \sqrt{2a} \left(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2} \right)$$

Obr.3.7 Určenie redukovaných výšok antén



- **Redukované výšky** antény sa merajú od **dotyčnicovej roviny** preloženej bodom odrazu

(Obrázok nie je nakreslený v mierke, v skutočnosti je $H_1 \parallel H'_1$ a $H_2 \parallel H'_2$).

$$H'_1 = H_1 - \frac{r_1^2}{2a}$$

$$H'_2 = H_2 - \frac{r_2^2}{2a}$$

- Zo vzťahov vyplýva - na určenie redukovaných výšok musíme poznať **polohu bodu odrazu** (vzdialenosti r_1 a r_2)
 - pre **rovinný** Zemský povrch (malé vzdialenosti r)

$$r_1 = \frac{H_1}{H_1 + H_2} r$$

$$r_2 = \frac{H_2}{H_1 + H_2} r$$

- pre **zakrivený** Zemský povrch (veľké vzdialenosti r)

$$r_1 = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}} r$$

$$r_2 = \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}} r$$

- Keď **vzdialenosť** medzi anténami (r) je rovná dĺžke oblasti priamej viditeľnosti (R_0), **redukované výšky** (H'_1, H'_2) **sú nulové**
- Podľa vzťahu je (by malo byť) **nulové aj elm pole** v mieste príjmu

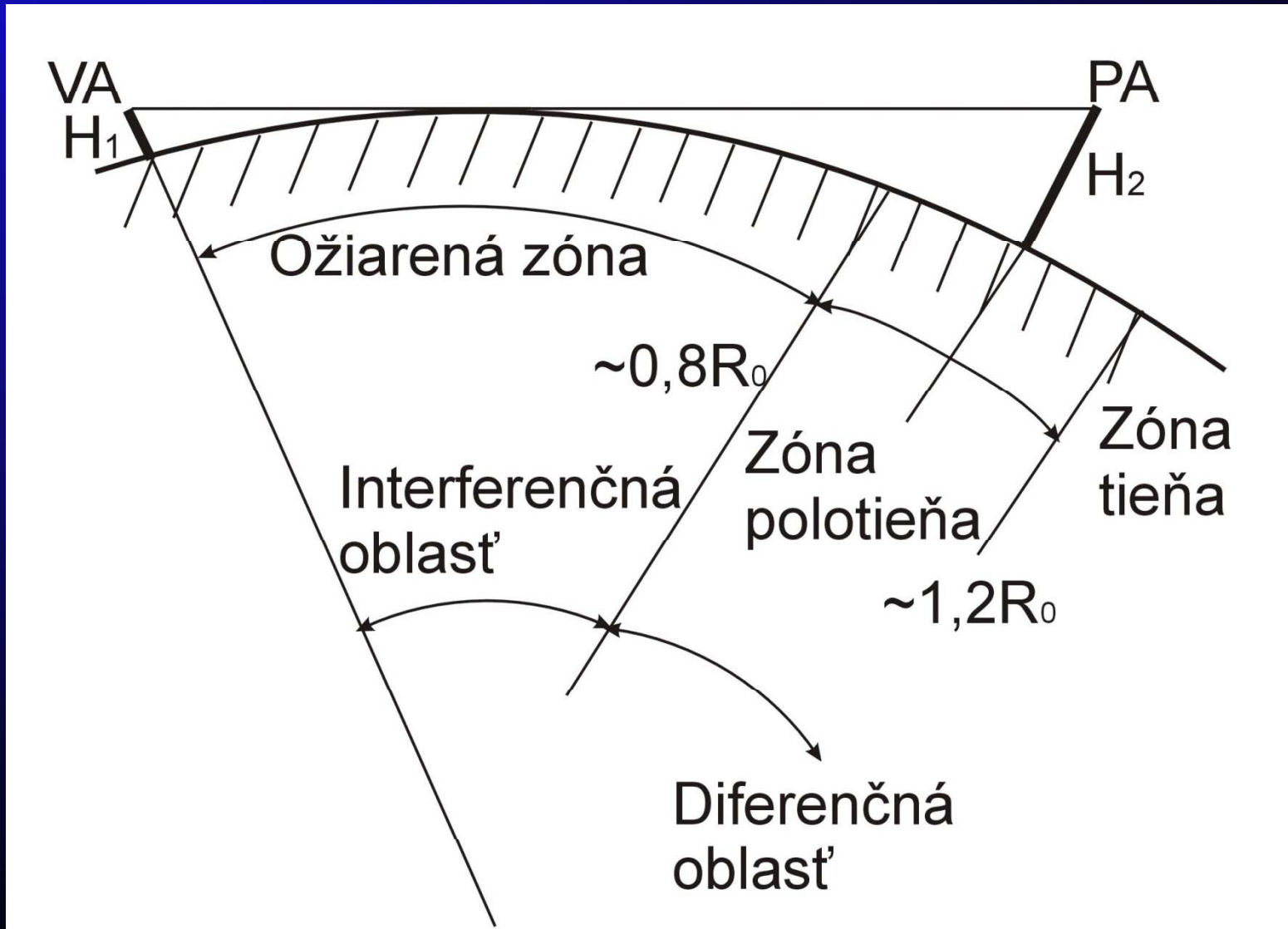
$$|E| = \frac{3,94\sqrt{PGH'_1H'_2}}{\lambda r^2}$$

- Toto je **v rozpore** so skutočnosťou, že elm pole existuje nielen v oblasti priamej viditeľnosti, ale i ďaleko za jej hranicami
- Teda v **praxi** možno tento vzťah použiť len do vzdialenosti

$$r \leq 0,7 \div 0,8R_0$$

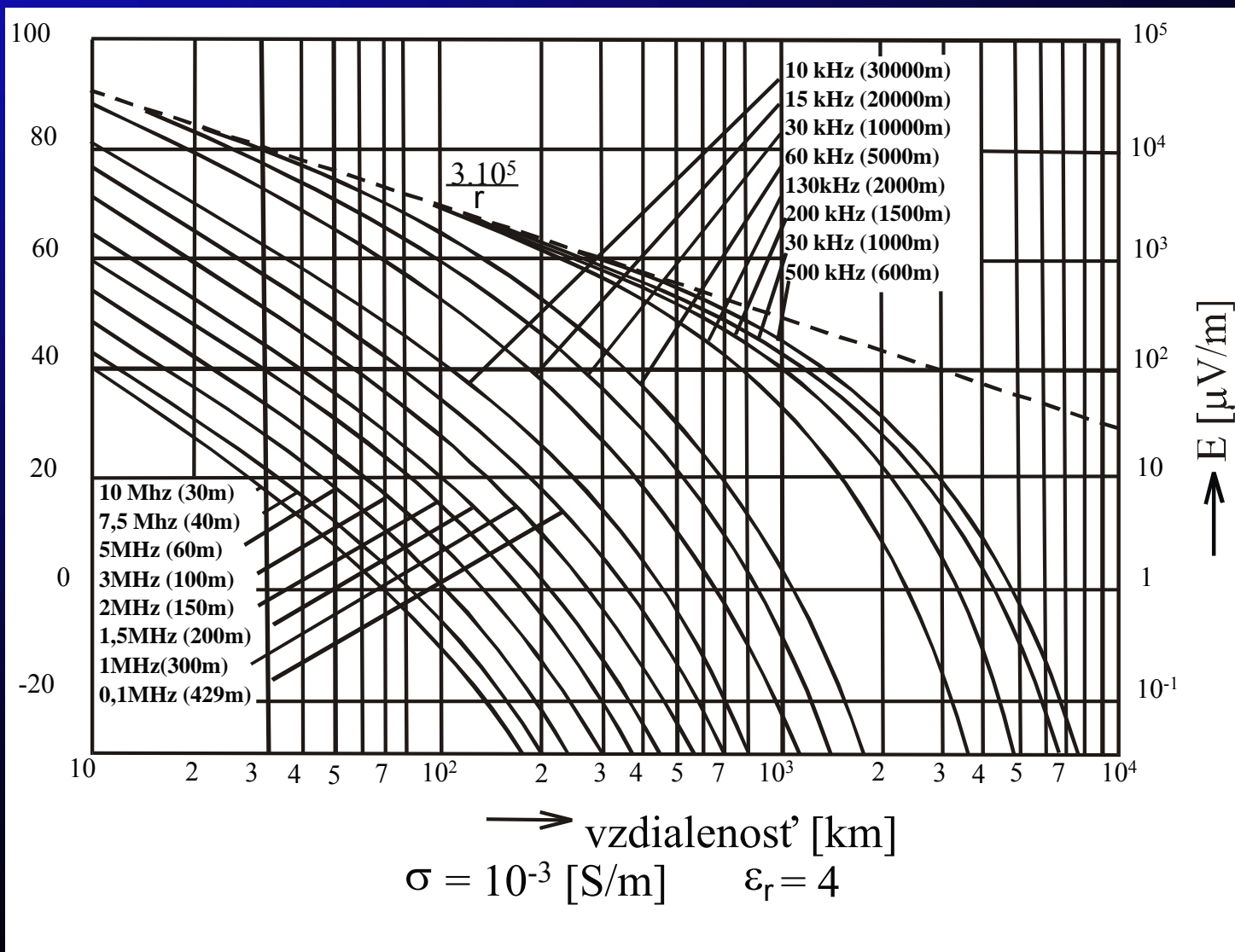
- Túto oblasť nazývame **interferenčnou oblasťou** - v nej **môžeme** elm pole v mieste príjmu považovať za **superpozíciu** vlny priamej a vlny odrazenej
- Pri zväčšovaní vzdialenosti medzi anténami prechádzame z oblasti interferenčnej do oblasti **difrakčnej** - v nej elm pole **nemožno** považovať za superpozíciu elm polí dvoch vln; (obr.3.8)

Obr.3.8 Rozdelenie trasy šírenia vlny nad guľovým zemsým povrchom na oblasti



- Výpočet elm poľa v difrakčnej oblasti je komplikovaný - boli zhotovené krivky uľahčujúce technické výpočty

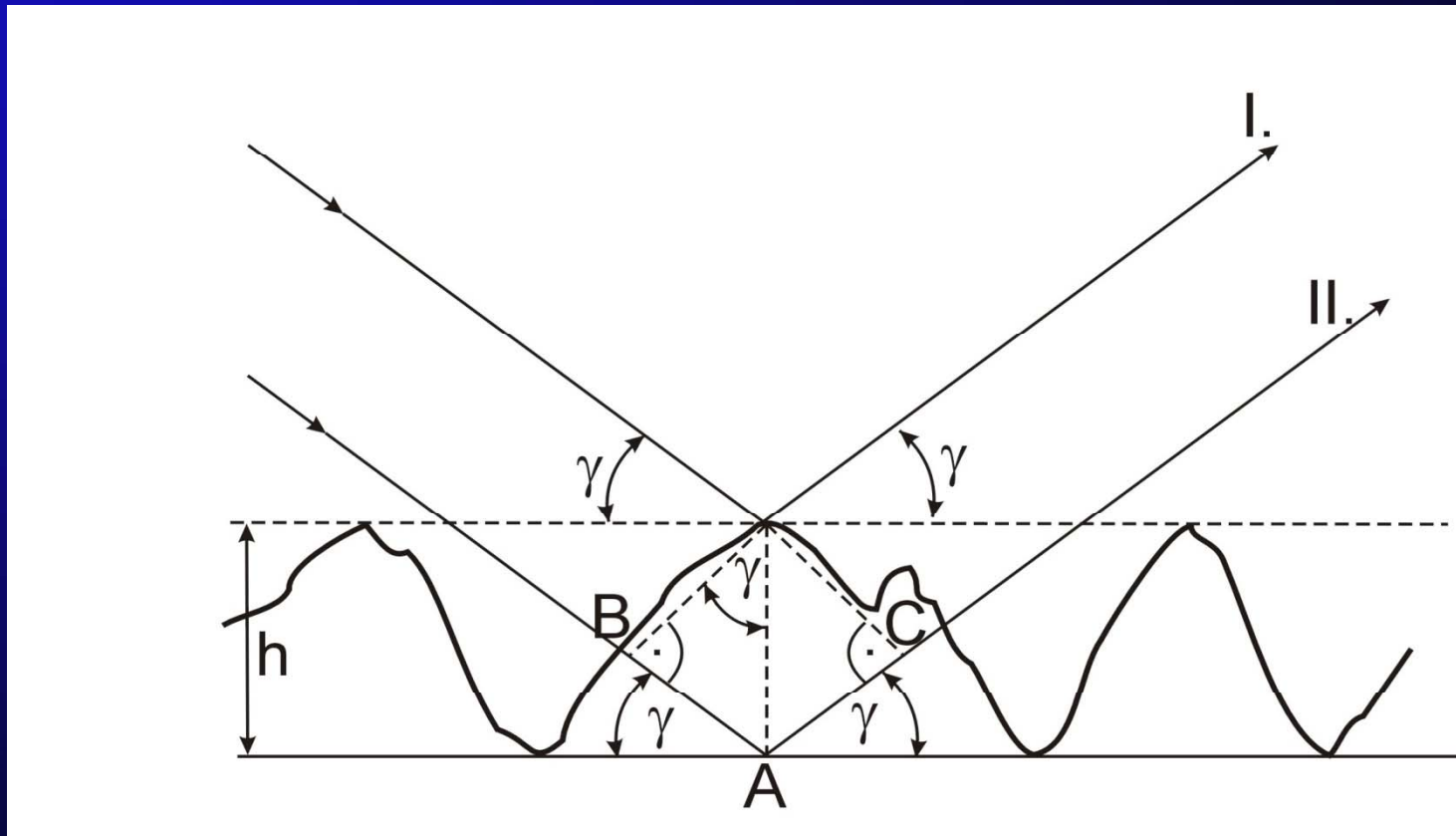
Krivky šírenia povrchovej vlny



Vplyv nerovnosti zemského povrchu na šírenie prízemných elektromagnetických vln

- Vplyv nerovností na šírenie elm vln podstatným spôsobom **závisí od pomeru** vlnovej dĺžky a rozmerov nerovností
 - **hornatá krajina** s nerovnosťami veľkými rádovo **10^2m** predstavuje pre veľmi dlhé vlny **hladký** zemský povrch
 - **rovinná lúka** s **10 cm** vysokou trávou predstavuje pre centimetrové vlny (mikrovlny) **drsny** povrch
- Pre kvantitatívne ohodnotenie nerovností (drsnosti) zemského povrchu sa používa **Rayleighovo kritérium**
 - ak na drsný zemský povrch dopadá pod uhlom „ γ ” rovinná elektromagnetická vlna
 - zaujíma nás, pri akej výške nerovností „**h**” začína zanikať zrkadlový odraz a vzniká rozptyl (difúzny odraz)
 - **maximálna výška** nerovností, pri ktorej odrážajúci povrch môžeme ešte považovať za hladký, **závisí od vlnovej dĺžky a uhla dopadu**; (obr.3.9)

Obr.3.9 Odraz rovinnej elektromagnetickej vlny od drsného povrchu



Rayleighovo kritérium

Predstavuje približný odhad pre určenie vplyvu nerovností zemského povrchu na šírenie prízemných elektromagnetických vln

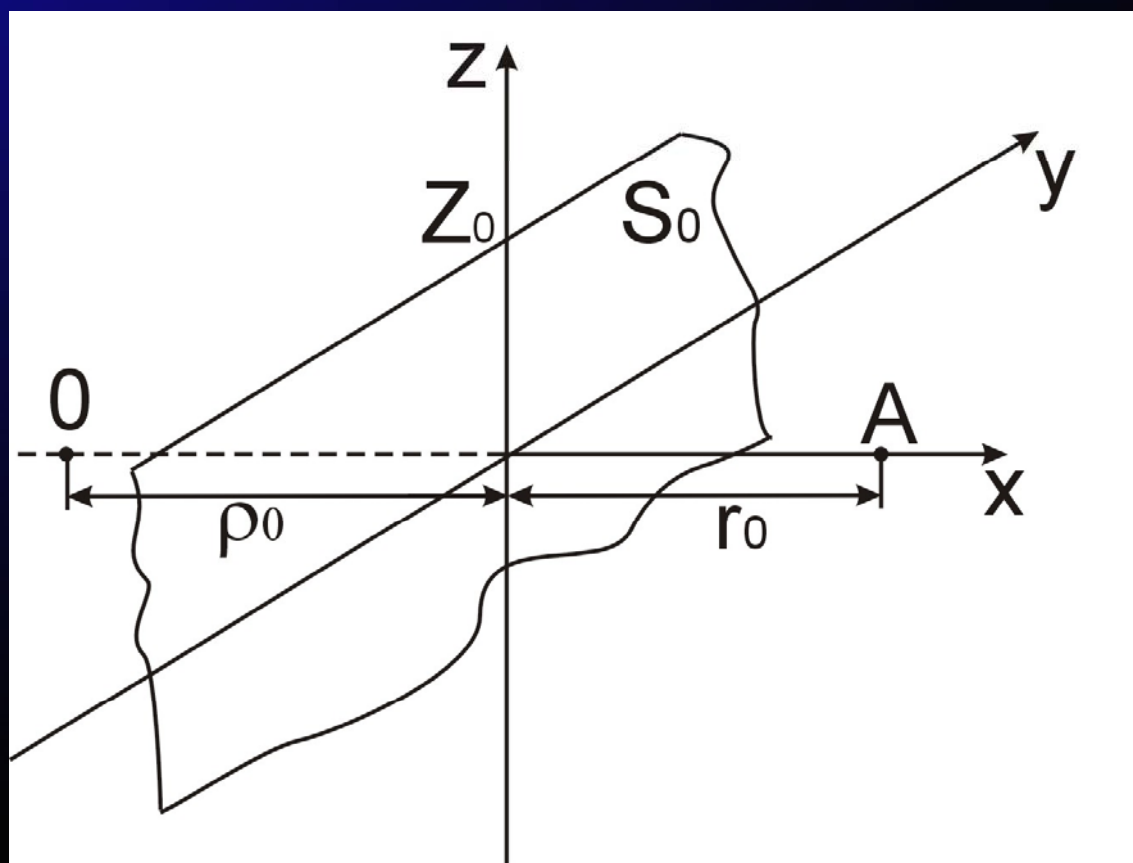
$$h < \frac{\lambda}{8 \sin \gamma}$$

- V **interferenčnej** oblasti ($\sim 0,7 - 0,8 R_0$) intenzita elektrického poľa v mieste príjmu je **súčtom intenzity** priamej a odrazenej vlny
- **Nerovnosti** zemského povrchu **majú vplyv** na veľkosť koeficienta odrazu a tým i na intenzitu poľa odrazenej vlny
- **Vznik difúzneho odrazu** (rozptyl) je ekvivalentný zníženiu absolútnej hodnoty koeficienta odrazu
- Pre určenie konkrétnej časti zemského povrchu, ktorá má vplyv na vlastnosti odrazenej vlny, je potrebné zostrojiť **prvú priestorovú Fresnelovú zónu** medzi zrkadlovým obrazom vysielacej antény (VA) a prijímacou anténou (PA)
- Prienik tejto Fresnelovej zóny s rovinou odrazu určuje oblasť zemského povrchu, ktorá **má podstatný vplyv na odraz** (oblasť medzi bodmi M a N)
- **Merania ukazujú**, že elektromagnetické vlny s vlnovou dĺžkou $\lambda < 1\text{m}$ pri uhloch $\gamma > 2\div 3$ sa odrážajú od zemského povrchu zásadne difúznym spôsobom; (obr.3.10)

Vplyv prekážok na šírenie prízemných elm. vln

- Môžeme ich približne analyzovať pomocou jednoduchého modelu

Obr.3.11 Difrakcie na okraji nekonečnej vodivej polroviny

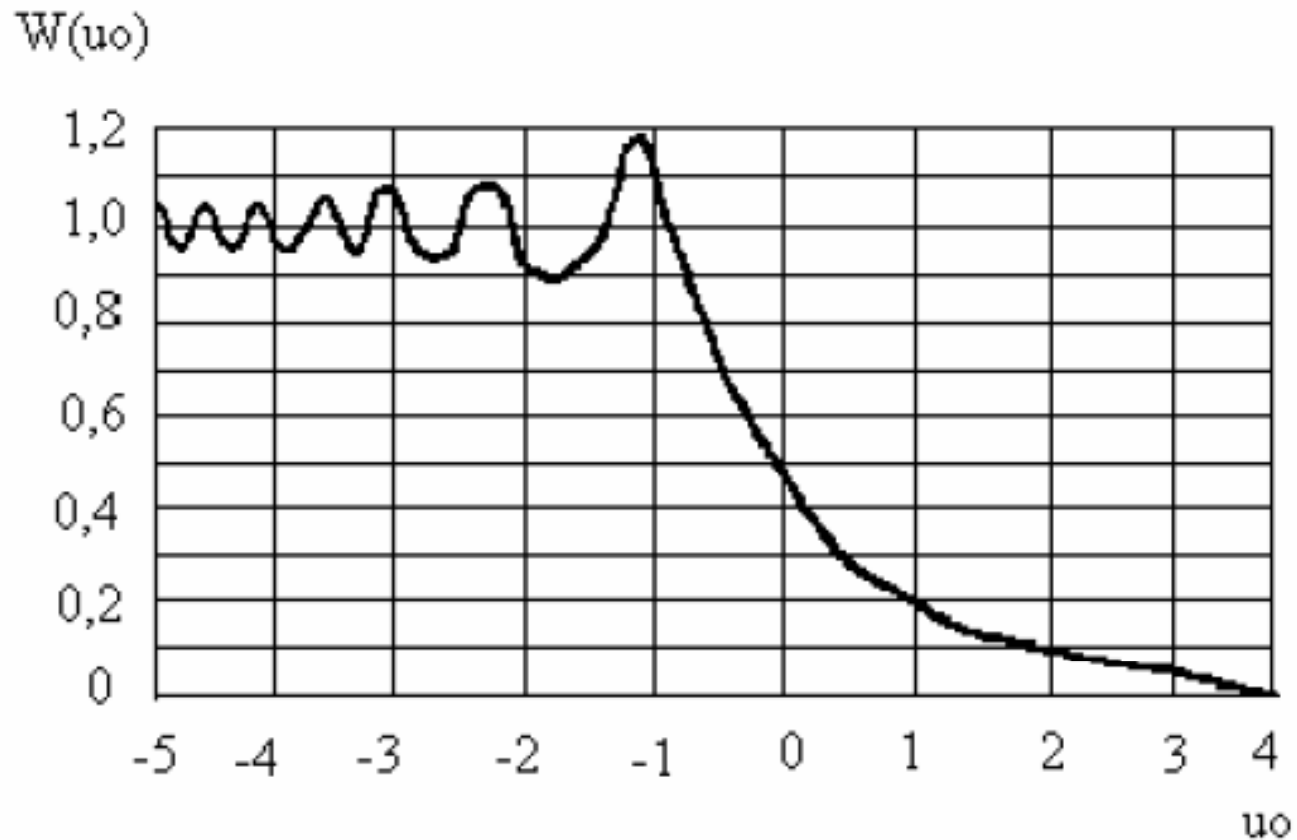


- **Vypočítame** elektromagnetické pole v bode A vytvorené zdrojom umiestneným v bode 0
- **Budeme predpokladať**, že elm pole na vodivej polrovine je nulové a na zostávajúcej časti roviny, v ktorej leží táto vodivá polrovina, je rovnaké ako vo voľnom priestore
- **Zavedieme** kartézsku súradnicovú sústavu, tak že vodivá polrovina S_0 (prekážka) leží v rovine x, y a os x je totožná s priamkou OA
- **Vieme**, že rozhodujúci príspevok k poľu v bode pozorovania majú elementárne sekundárne zdroje v oblasti niekoľkých prvých Fresnelových zón; (obr.3.11)
- Zavedením pojmu činiteľa tlmenia $W(u_0)$ môžeme **elektrické pole v bode A** vyjadriť vzťahom

$$\mathbf{E}(A) = \mathbf{E}_0 \frac{e^{-jk(\rho_0 + r_0)}}{\rho_0 + r_0} W(u_0)$$

- kde u_0 sú miesta v priestore za prekážkou; (obr.3.12)

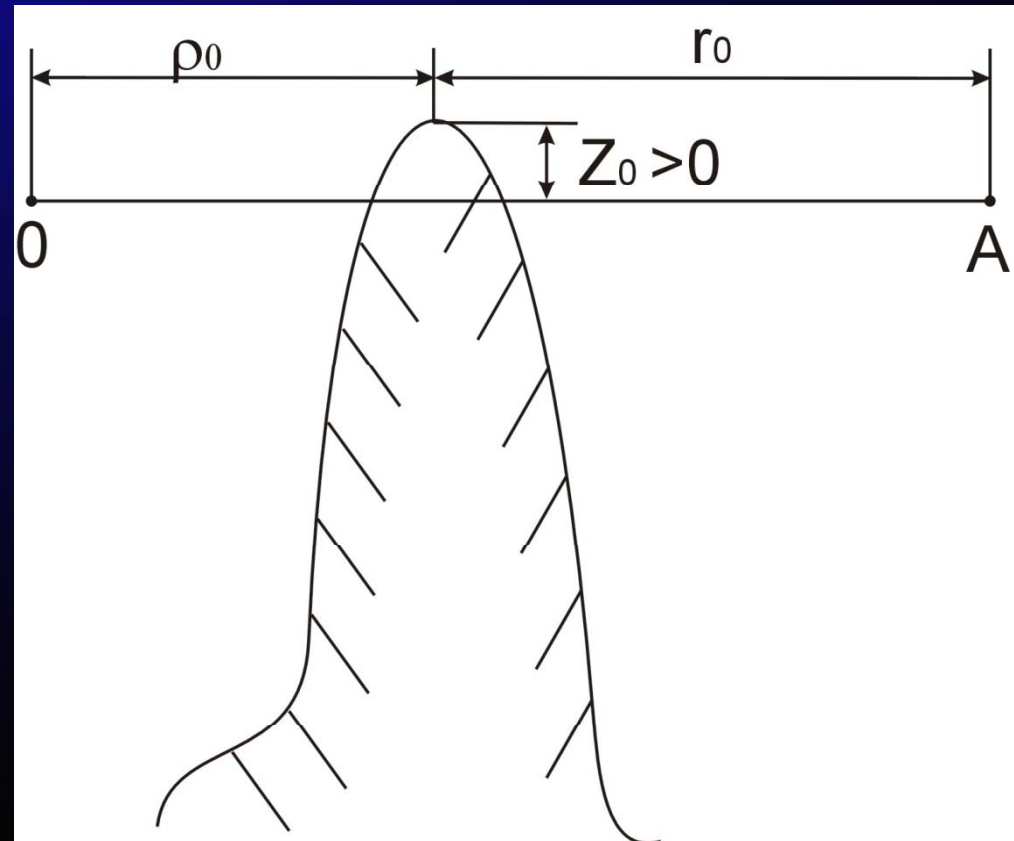
Obr. 3.12 Závislosť modulu koeficientu tlmenia $W(u_0)$ od výšky prekážky pre pole za prekážkou u_0



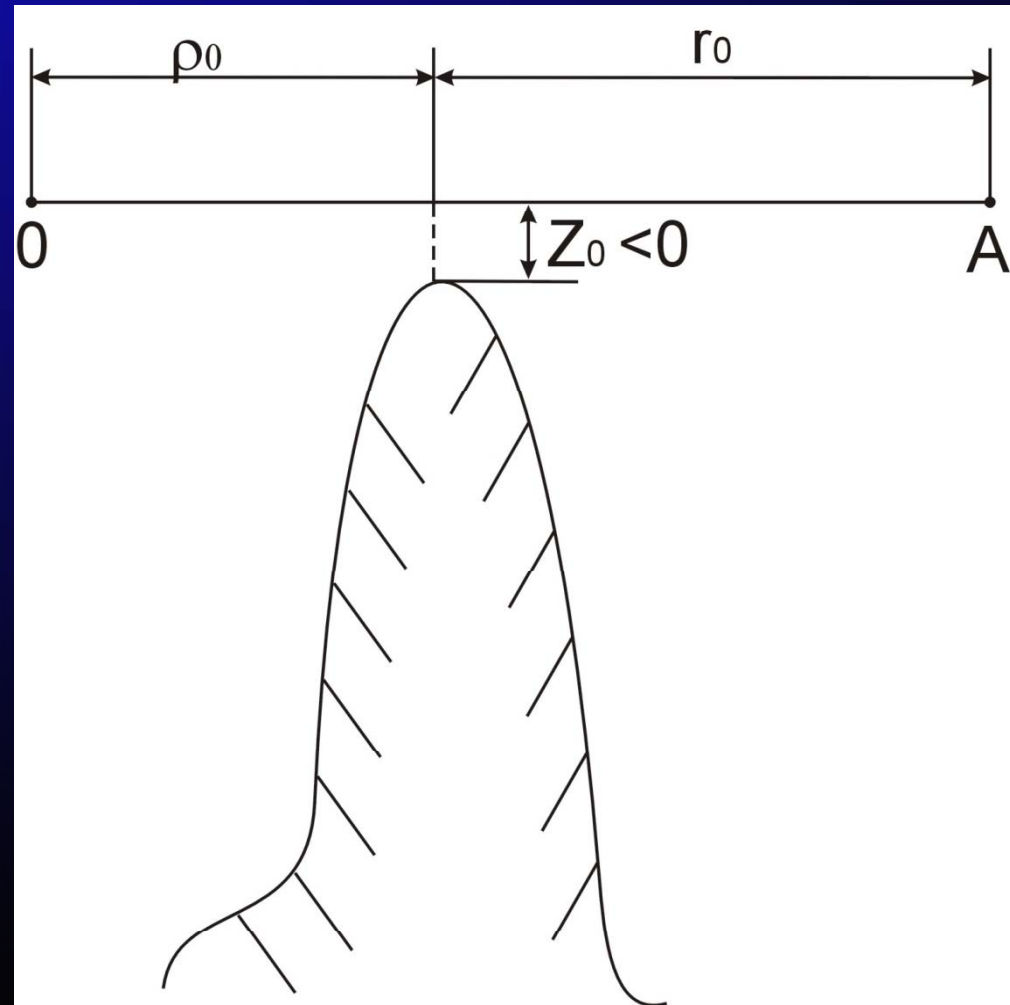
Pre body u_0 , t.j. miesta v priestore za prekážkou platí:

$$u_0 = z_0 \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{\rho_0} + \frac{1}{r_0} \right)}$$

- Z priebehu (Obr. 3.12) vyplýva, že:
 - existujú body u_0 , tj. miesta v priestore za prekážkou, v ktorých je intenzita elektrického poľa väčšia ako vo voľnom priestore, tj. dochádza k zosilneniu príjmu v porovnaní s prípadom, keď prekážka neexistuje
 - kladné hodnoty z_0 (resp. u_0) sú v prípade, že prekážka pretína spojnicu zdrojového bodu „0” a bodu pozorovania „A”



- **záporné hodnoty** sú v prípade, že **existuje priama viditeľnosť** medzi týmito bodmi (zdrojový bod „0” a bod pozorovania „A”)



Témy na zapamätanie

- Elektrické vlastnosti zemského povrchu (základné parametre pôdy; čím sú dané el. vlastnosti pôdy; 3 skupiny pôd; stupne nerovnosti)
- Šírenie elm vln medzi anténami umiestnenými nad rovinným zemským povrchom (umiestnenie a výška VA a PA; elm pole v mieste príjmu; intenzity poľa priamej a odrazenej vlny; výsledné pole horizontálne a vertikálne polarizovanej vlny; intenzita poľa v mieste príjmu)
- Šírenie povrchových elm vln nad rovinným zemským povrchom (umiestnenie antén, štruktúra elm poľa pri povrchu Zeme; polarizácia výsledného poľa)
- Šírenie povrchových elm vln nad nehomogénnym zemským povrchom (rozloženie intenzity; činiteľ tlmenia)
- Šírenie elm vln nad guľovým zemským povrchom (rozmiestnenie antén; intenzita poľa; oblasť priamej viditeľnosti; redukované výšky antén; oblasti trasy šírenia elm vln)
- Vplyv nerovnosti zemského povrchu na šírenie prízemných elm. vln (závislosť vplyvu nerovností a vlnovej dĺžky; Rayleighovo kritérium; difúzny odraz)
- Vplyv prekážok na šírenie prízemných elm. vln (činiteľ tlmenia a intenzita el. úpoľa; kladné a záporné hodnoty u_0 (Z_0))

Kontrolné otázky

- Ktoré sú základné parametre pôdy, vplyvajúce na vlastnosti šírenia elm vln?
- Čím sú dané elektrické vlastnosti pôdy?
- Aké je základné delenie hornín?
- Súčet ktorých vln vytvára elm pole pri ich šírení medzi anténami umiestnenými nad rovinným zemským povrchom?
- Akú podmienku musia spĺňať „VA“ a „PA“ pri šírení elm vlnenia medzi anténami umiestnenými nad rovinným zemským povrchom?
- Na šírenie ktorých rádiových vln sa využíva takéto rozmiestnenie antén?
- Ako sú umiestnené „VA“ a „PA“ pri šírení povrchových elm vln nad rovinným zemským povrchom?
- Ako je polarizované výsledné pole pri šírení povrchových elm vln nad rovinným zemským povrchom?
- Aké je šírenie elm vln nad nehomogénnym zemským povrchom v závislosti na rozložení intenzít poľa pre oblasti charakterizované parametrami „S₁“ a „S₂“?

- Ako nazývame oblasť, pre ktorú môžeme elm pole v mieste príjmu (PA) považovať za superpozíciu (skladanie) vlny priamej a odrazenej pri šírení elm vlnenia nad guľovým zemským povrchom?
- Ako nazývame oblasť, pre ktorú nemôžeme elm pole v mieste príjmu (PA) považovať za superpozíciu (skladanie) vlny priamej a odrazenej pri šírení elm vlnenia nad guľovým zemským povrchom?
- Aká časť z priamej viditeľnosti „ R_0 “ je Interferenčná oblasť?
- Aká časť z priamej viditeľnosti „ R_0 “ je Diferenčná oblasť?
- Aká časť z priamej viditeľnosti „ R_0 “ je Zóna polotieňa?
- Aká časť z priamej viditeľnosti „ R_0 “ je Zóna tieňa?
- Aká časť z priamej viditeľnosti „ R_0 “ je Zóna ožiarenia?
- Aké kritérium sa používa pre ohodnotenie nerovností (drsnosti) zemského povrchu?

Zoznam použitých skratiek a symbolov

■ Skratky:

- ELM, elm- elektromagnetický
- PA- prijímacia anténa
- VA- vysielač anténa

■ Značky:

- ε – permitivita
- G- zisk
- h- výška
- λ - vlnová dĺžka
- φ - fázový posun
- μ - permeabilita
- P- výkon
- σ - merná elektrická vodivosť

Ďakujem za pozornosť