

# Definicije propagacijskih parametrov

- Propagacijski pojavi
- Faza kot ključni parameter pri pojavih širjenja
- Komunikacijske enačbe
- Fresnelove cone: pasovi, kolobarji, elipsoidi
- LOS, NLOS
- Modeli upadanja v primerih NLOS
- Urbano okolje in notranji prostori

Mobitel d.d. – izobraževanje 9.3.2009, predavanje 8

Prof. dr. Jožko Budin

# Pojavi in mehanizmi širjenja vala v realnem prostoru

## 1. Vpoj (absorpcija):

- neresonančna
- resonančna

## 2. Odboj (refleksija):

- zrcalen (spekularen)
- razpršen (difuzni)
- notranji, totalni

## 3. Lom (refrakcija):

- diskreten
- zvezen

## 4. Uklon (difrakcija):

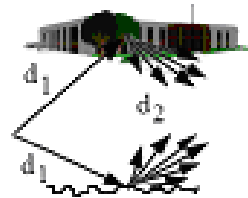
- klinasta ovira
- obla ovira
- večkratna ovira

## 5. Interferenca:

- konstruktivna
- destruktivna
- večstezna (multipath)



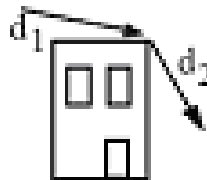
odboj



difuzni odboj



razpršitev



uklon



večkratni uklon



valovodni pojav

## 6. Razprševanje:

- Rayleigh ( $L < \lambda$ ) sipanje
- Mie ( $L = \lambda$ )
- optično ( $L > \lambda$ )

## 7. Valovodno širjenje:

- hodnik, ulica
- snovni valovod

## 8. Presih (feding):

- Rayleigh
- Rice
- Nakagami

## 9. Polarizacija:

- neusklajenost
- depolarizacija

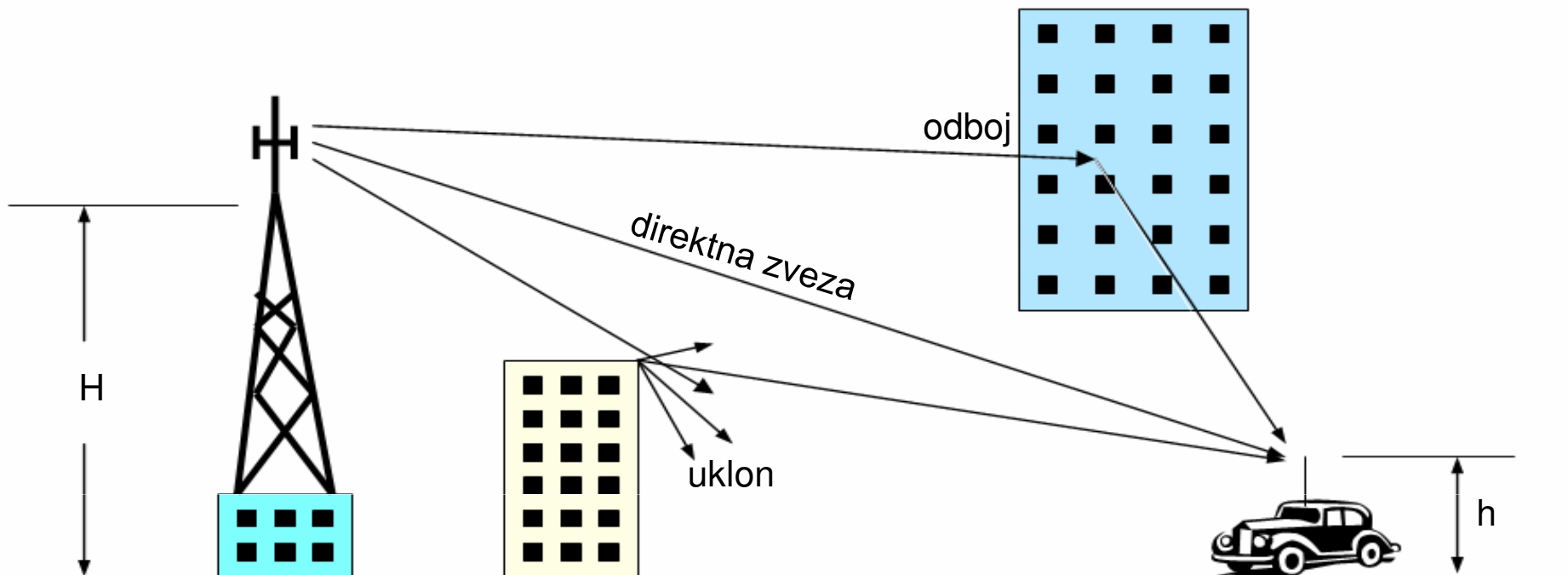
## 10. Kakovost signala:

- razpršitev zakasnitve (disperzija)
- Dopplerjev premik

# Princip stacionarne faze

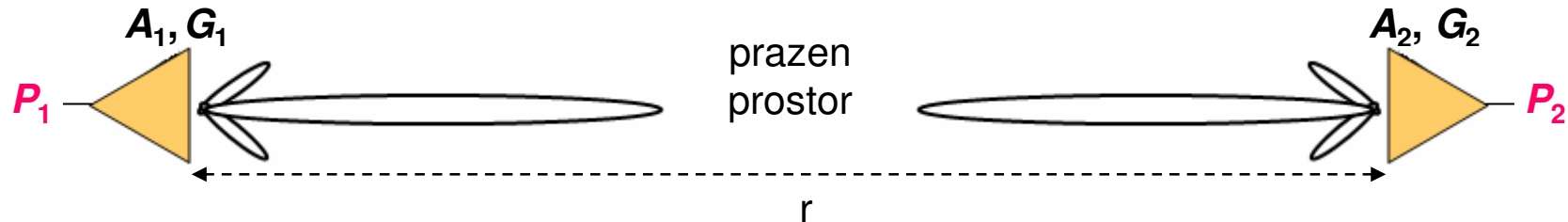
- Princip stacionarne faze daje podlago za visokofrekvenčni (optični) približek pri reševanju problemov propagacije.
- Princip stacionarne faze omogoča prehod z valovne optike na geometrijsko (žarkovno) optiko (metoda “ray tracing” in “ray launching”).
- Pri seštevanju prispevkov Huygensovih virov (integraciji po ploskvi) prispevajo bistveno k rezultatu območja v okolici točk stacionarne faze. Z odmikom od točke stacionarne faze se fazni pogoji za konstruktivno interferenco bistveno ne spremenijo.
- V svetlobnem polju, na primer, so v prenosnem sistemu (vir, lomno-odbojni medij, opazovalec) točke stacionarne faze tiste, katerih okolica vidno zablesti. Vse druge točke prostora so za širjenje med virom in opazovalcem manj pomembne ali nepomembne.
- Pri uklonu na ostri oviri so točke, ki so najbližje (zaslonjeni) točki stacionarne faze, porazdeljene na robu ovire. Le-ta deluje kot navidezni vir uklonjenega polja ( rob vidno zablesti).
- Mnogi znani pojavi in principi so povezani s principom stacionarne faze (Fermatov princip, Snellov zakon, drugi).

# Propagacija in sistemi radijskih omrežij



WRAN	WWAN	WMAN	WLAN	WPAN (WSAN)
IEEE 802.22	IEEE 802.20	IEEE 802.16	IEEE 802.11	IEEE 802.15
	MBWA	WiMAX LMDS/MMDS UMTS/LTE	Wi-Fi HiperLAN	Wi-Media Bluetooth UWB ZigBee/RFID

# Širjenje v praznem prostoru – Friisova formula



## 1. Razmerje moči sprejem/oddaja

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{G_1 A_2}{4\pi r^2} = \frac{G_1 G_2 \lambda^2}{(4\pi r)^2}$$

$$\alpha_{\text{dB}} = 10 \log \frac{P_1}{P_2} = 32,45 + 20 \log r[\text{km}] + 20 \log f[\text{MHz}] - 10 \log G_1 - 10 \log G_2$$

## 2. Razmerje moči signal/šum

$$\frac{S}{N} = \frac{P_2}{N_2} = \frac{P_1 G_1 \lambda^2}{(4\pi r)^2} \frac{G_2}{kT_2 \Delta f}$$

## 3. Doseg radijske zveze

$$r_{\text{max}} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_1 G_1 G_2}{(S/N)_{\text{min}} kT_2 \Delta f}} \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{min}} \text{ minimalno zahtevano razmerje signal/šum}$$

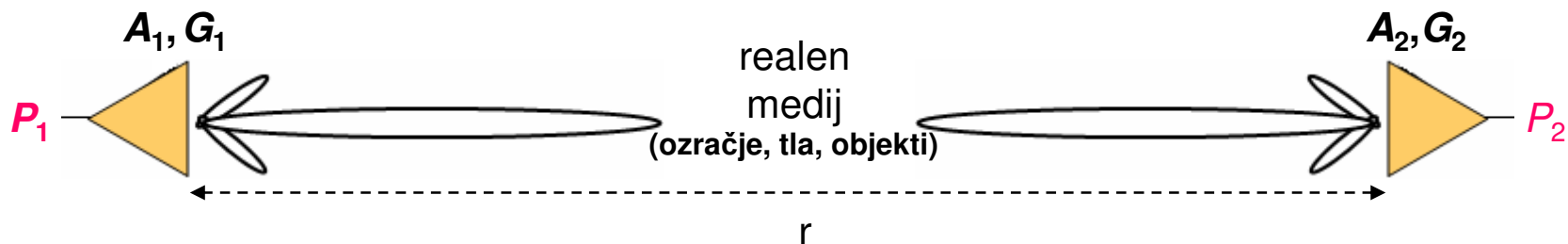
# Osnovno slabljenje

Slabljenje med dvema izotropnima antenama:

$$\alpha_{\text{dB}} = 10 \log P_1/P_2 =$$
$$= 32,45 + 20 \log r_{\text{km}} + 20 \log f_{\text{MHz}}$$

Slabljenje na dolžini 1 km pri frekvenci 1 GHz znaša 92,45 dB.

# Širjenje vala v realnem prostoru – komunikacijska enačba



$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{G_1 G_2 \lambda^2}{(4\pi r)^2} L_1 L L_2$$

$$L_{dB} = 10 \log \frac{1}{L}$$

$L_1$  ... slabljenje na oddajni strani

$L$  ... dodatno slabljenje pri propagaciji v realnem prostoru

$L_2$  ... slabljenje na sprejemni strani

**$L_1$ :**

- slabljenje kablov in priključnih elementov
- slabljenje zaradi impedančne neprilagojenosti

**$L$ :**

- vpojno in razpršilno slabljenje v ozračju
- odbojno slabljenje
- uklonsko slabljenje
- razpršilno slabljenje

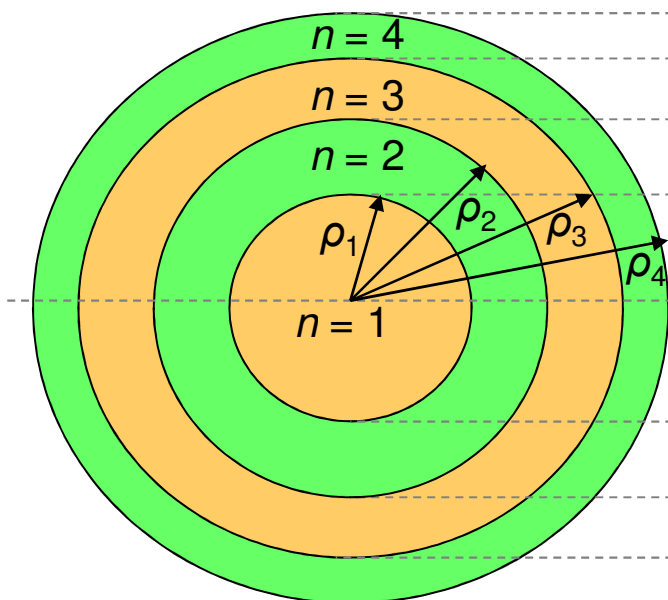
**$L_2$ :**

- slabljenje kablov in priključnih elementov
- slabljenje zaradi impedančne neprilagojenosti
- slabljenje zaradi polarizacijske neuskklajenosti

# Fresnelove cone - geometrija

Območja v prostoru ali na ploskvi med oddajno in sprejemno anteno razmejujemo po faznem kriteriju glede na pomen, ki ga imajo za razširjanje vala. Najpomembnejša območja so v okolici točk stacionarne faze.

## Fresnelovi kolobarji

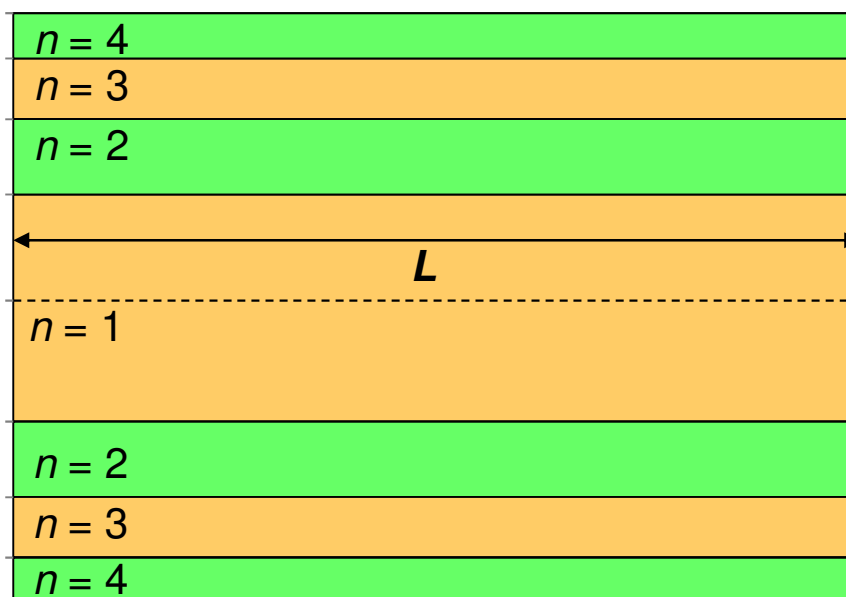


Površina con:

$$A_n = (\rho_{n+1}^2 - \rho_n^2)\pi = \lambda\pi \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}$$

je neodvisna od reda n cone, zato je konvergenca počasna

## Fresnelovi pasovi



Površina con:

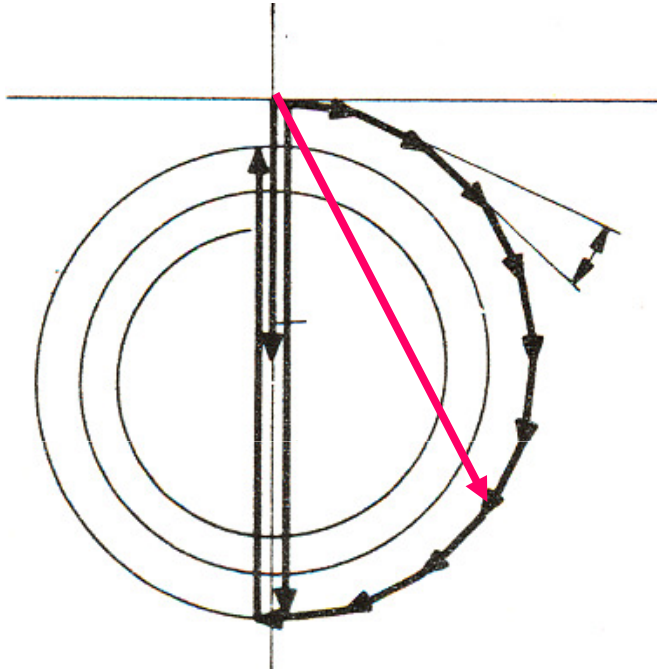
$$A_n = 2(\rho_{n+1} - \rho_n)L = 2L \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} (\sqrt{n+1} - \sqrt{n})$$

upada z rastočim redom cone, zato je konvergenca prispevkov hitrejša



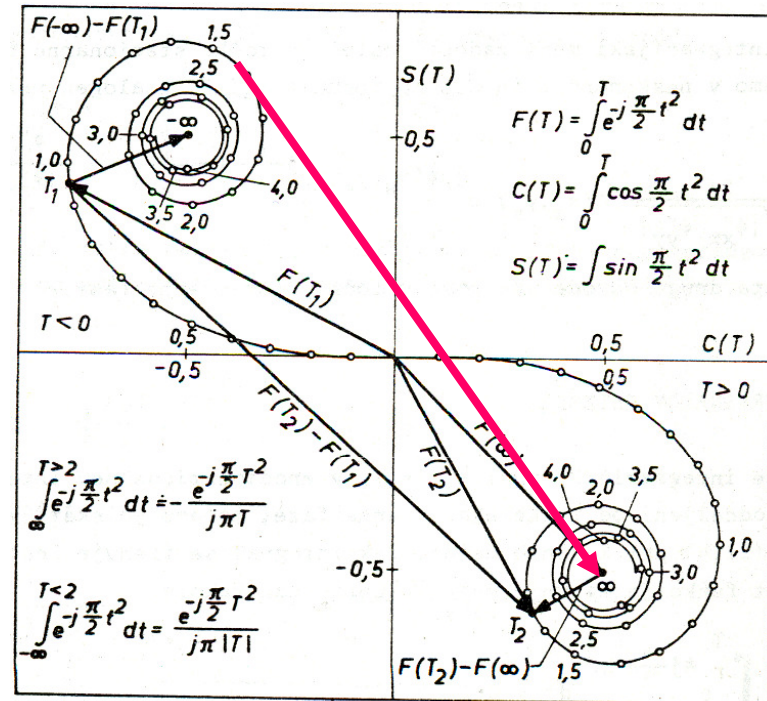
# Fresnelove cone – obravnava polja

## Fresnelovi kolobarji



Z odkrivanjem kolobarjev polje močno oscilira in se počasi umirja proti vrednosti  $E_0$  v neomejenem prostoru. Konvergenco omogočata rastoča razdalja in usmerjeno sevanje Huygensovih virov.

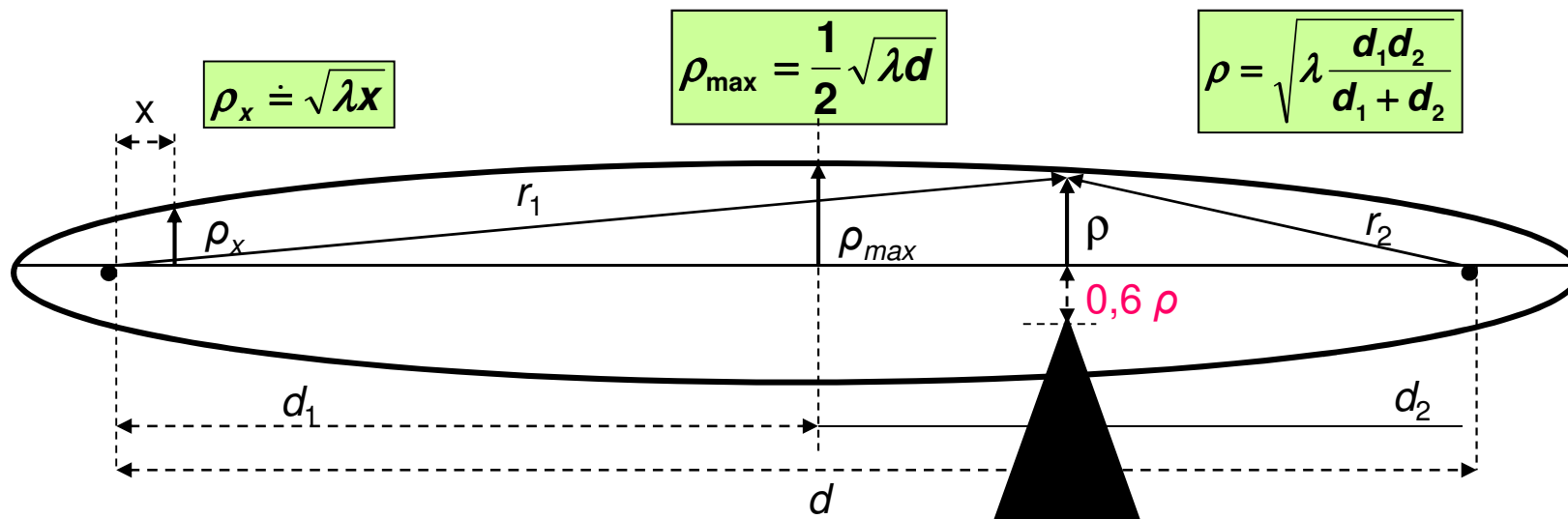
## Fresnelovi pasovi



Z odkrivanjem pasov se oscilacije polja hitreje umirjajo proti vrednosti  $E_0$  v neomejenem prostoru. Hitrejše konvergenco omogoča upadanje površine Fresnelovih pasov višjega reda.

# Fresnelov elipsoid in njegov pomen

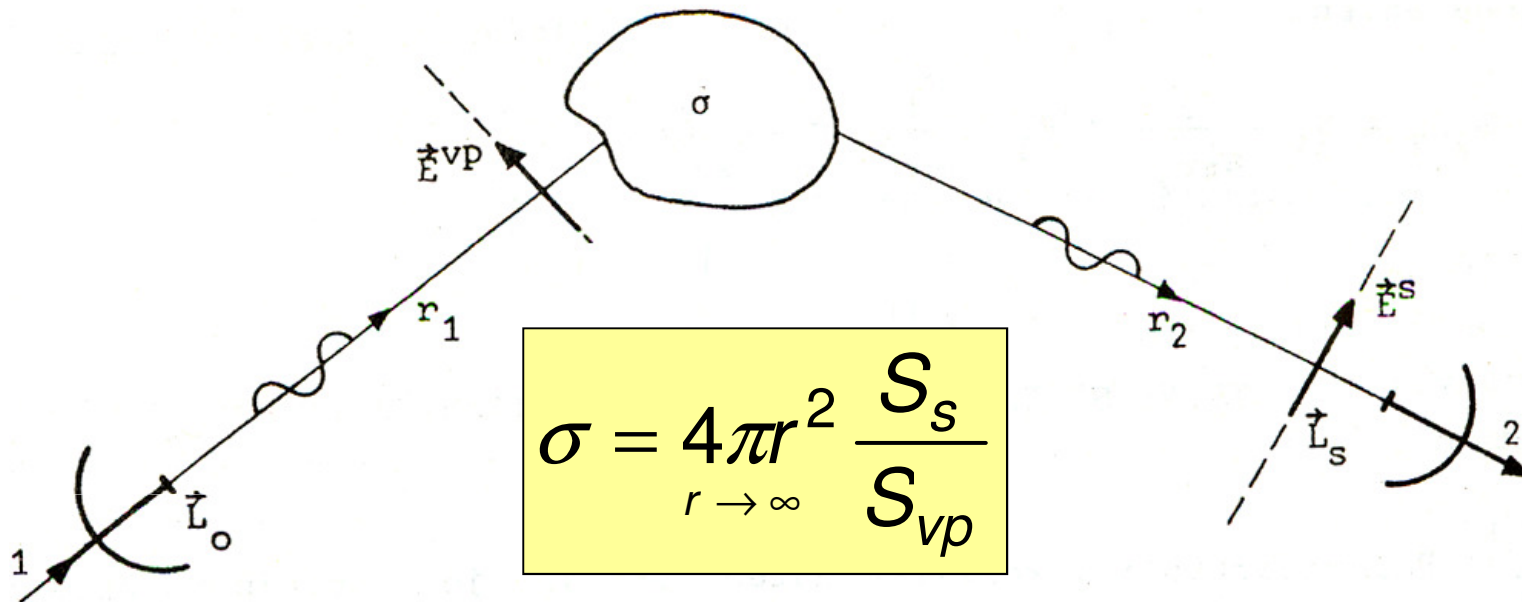
Prostor, iz katerega sprejemamo Huygensove valove pretežno sofazno (s fazno razliko 0 do  $\pi$ ) je rotacijski elipsoid z goriščema v oddajni in sprejemni točki.



- Za praktično nezmanjšan sprejem sme koničasta ovira z ravnim robom segati v prostor 1. Fresnelove cone do največ  $0,6 \rho$ , kjer je  $\rho$  polmer prve cone na mestu ovire.
- Slabljenje, ki ga povzroča ovira (zaslon) površine  $A \gg \lambda^2$  v središčnem delu 1. Fresnelove cone je v grobem približku

$$L = -10 \log \left( 1 - \frac{A}{\rho^2 \pi} \right)$$

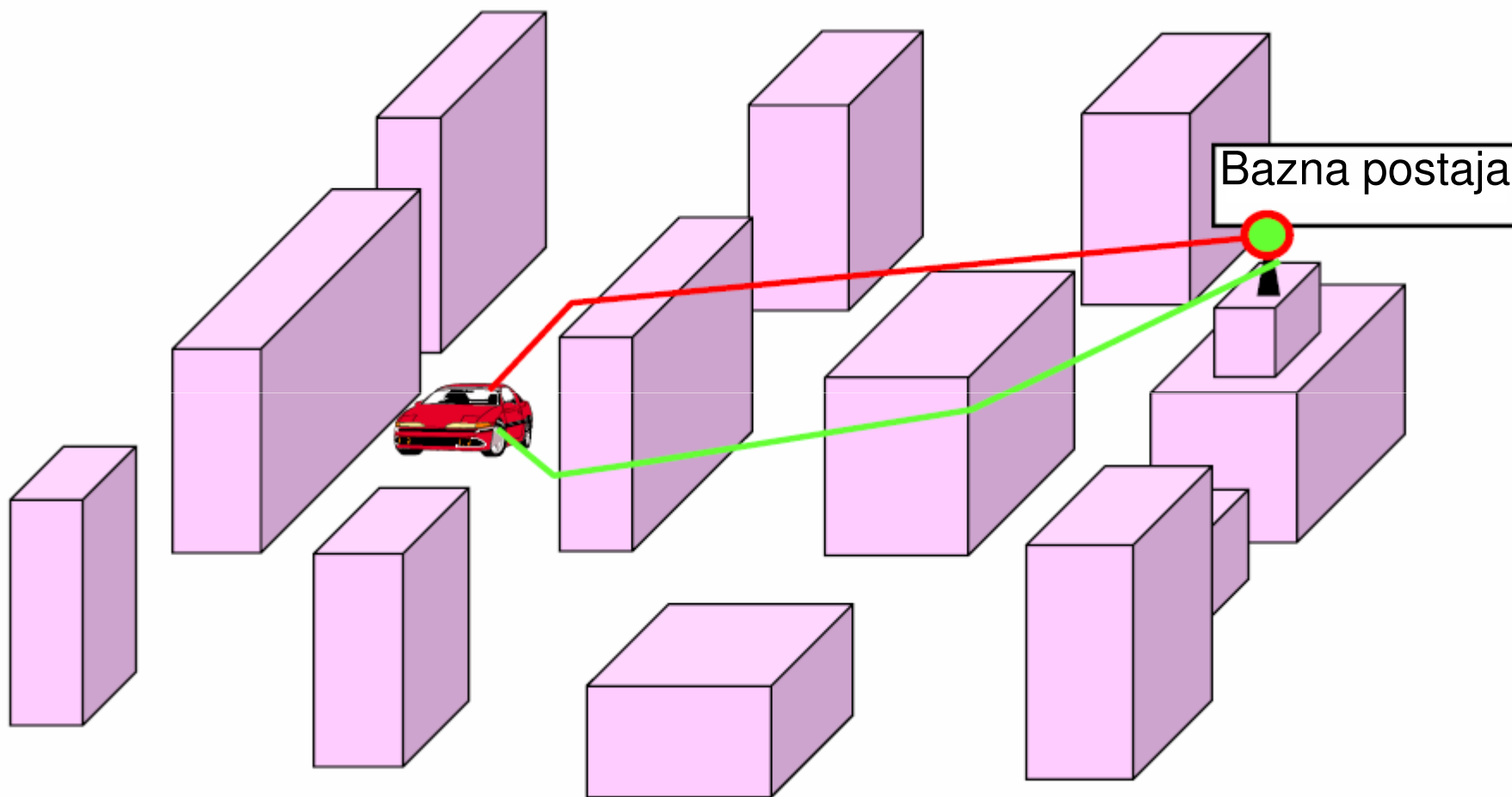
# Definicija radarskega prereza objekta



$$\sigma = 4\pi r^2 \frac{\text{gostota moči razpršenega polja ob spr. anteni}}{\text{vpadna gostota moči ob objektu}} \quad r \rightarrow \infty$$

Objekt so lahko padavine, zrcalo, umetni satelit.  
Sprejemna antena je lahko na lokaciji oddajne antene.

# Primer urbane zveze



# LOS, NLOS

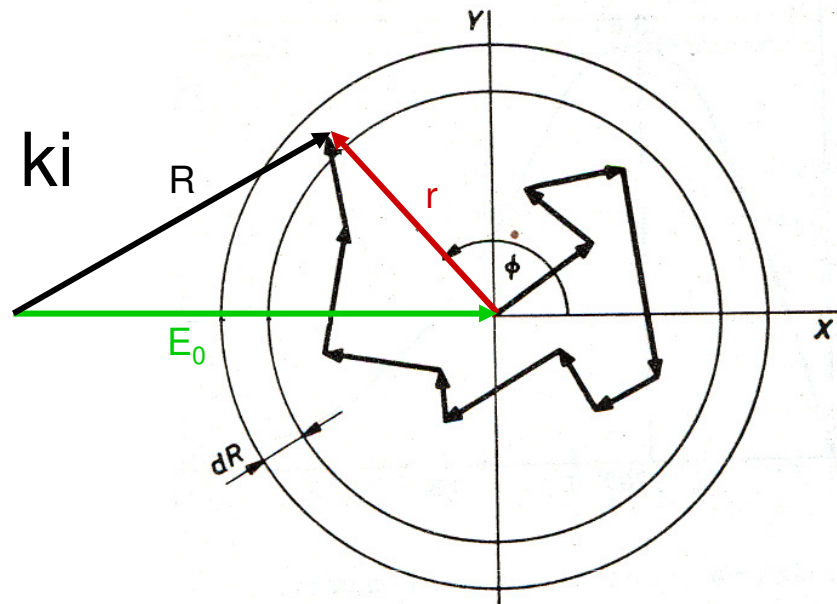
- LOS – Line Of Sight radio link
  - NLOS – Non Line of Sight radio link
- LOS** – radijska vidljivost med oddajnim in sprejemnim mestom (relief urbanega področja ne sega v 1. Fresnelov elipsoid).
- NLOS** - radijska zakritost med oddajnim in sprejemnim mestom (relief urbanega področja sega v 1. Fresnelov elipsoid in zakriva zveznico med antenama).

# NLOS

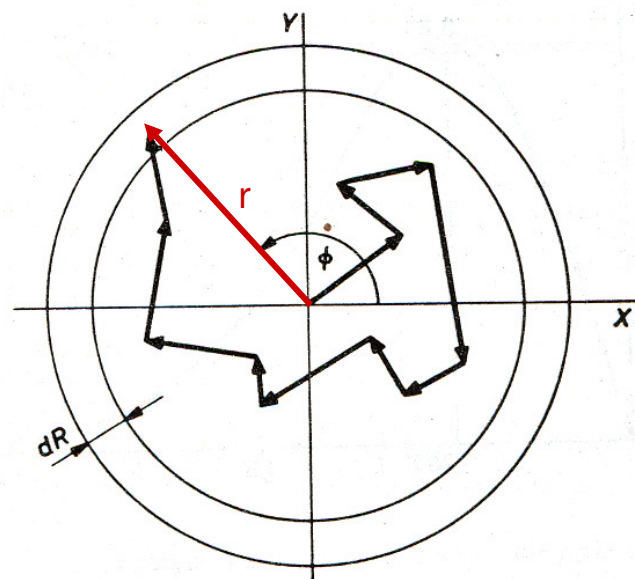
- Odbiti valovi od objektov prevladujejo nad direktnim valom.
- Selektivni presih (fading) zaradi širjenja po različnih poteh v širšem prostoru (izravnava moči kanalov po sistemu OFDM).
- Intersimbolna interferenca (ISI) zaradi odbojev v lokalnem prostoru (mnogonosilniški sistem OFDM in mnogoantenski sistem MIMO).

# Statistika polja

- **LOS:**
- Prevladujoč direktni val, ki ga spremlja množica amplitudno izenačenih odbitih valov: Riceova statistika.



- **NLOS:**
- Množica amplitudno izenačenih odbitih valov v odsotnosti prevladujočega vala: Rayleighova statistika.



# Modeli upadanja daljnega polja v odbojno-izgubnem okolju

## 1. Model upadanja polja in moči pri sprejemu v praznem prostoru (Friis)

$$E(r) = E(r_0) \left( \frac{r}{r_0} \right)$$

$$P_s(r) = P_s(r_0) \left( \frac{r_0}{r} \right)^2$$

upadanje moči s kvadratom razdalje  
 $r_0$  – referenčna razdalja (npr. 1 m)

## 2. Model upadanja moči pri širjenju v realnem prostoru

$$P_s(r) = P_s(r_0) \left( \frac{r_0}{r} \right)^n$$

$$P_{sdB}(r) = P_{sdB} + 10n \log \left( \frac{r}{r_0} \right)$$

$n < 2$  ugoden učinek valovodnega širjenja

$n = 2$  širjenje v praznem prostoru

$n > 2$  neugoden učinek na širjenje v realnem prostoru

## 3. Model upadanja moči z upoštevanjem prostorske fluktuacije (median in naključni del moči)

$$P_{sdB}(r) = P_{sdB} + 10n \log \left( \frac{r}{r_0} \right) \pm x_\sigma$$

$x_\sigma$  Gaussov (normalni) naključni prispevek pri standardni deviaciji  $\sigma$

Prostorska variabilnost je posledica večstevne interference v refleksnem okolju. Referenčna razdalja  $r_0$  je poljubna, ponavadi izbiramo  $r_0 = 1$  meter za notranji prostor ali  $r_0 = 0,1$  do 1 km za zunanji prostor.



# Potencia upadanja polja za različna okolja

5 GHz

<b>Overall</b>	<b>2.8-2.9</b>	
<b>Urban environment</b>	LOS	1.4
	NLOS	2.8
<b>Suburban environment</b>	LOS	2.5
	NLOS	3.4
<b>Rural environment</b>	LOS	3.3
	NLOS	5.9

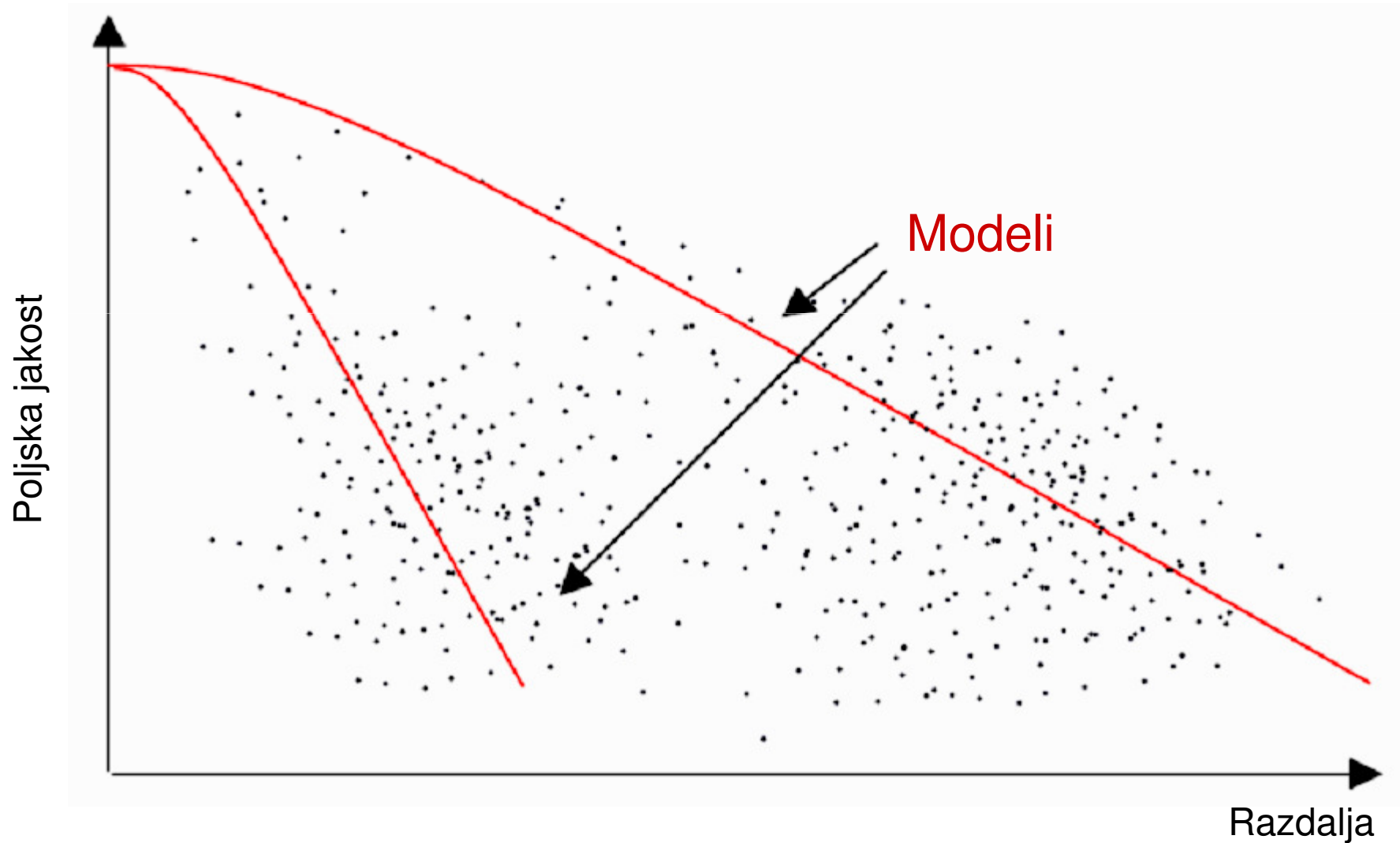
## Potenca upadanja polja za različna okolja

Environment	Path loss exponent, $n$
Free space	2
Urban area	2.7 to 3.5
Shadowed urban	3 to 5
In building LOS	1.6 to 1.8
Obstructed in building	4 to 6
Obstructed in factories	2 to 3

## Potencia upadanja polja za različna okolja

Environment	Exponent $\beta$
Free Space	2
Urban area	2.7-3.5
Shadowed urban area	3-5
Indoor LOS	1.6-1.8
Indoor no LOS	4-6

# Umerjanje potence upadanja za različne modele



# Model dveh strmin upadanja polja

V začetnem delu ( $r < R$ ) in končnem delu ( $r > R$ ) so pogoji širjenja lahko različni in jih karakteriziramo z različnima potencama upadanja  $n_1$  in  $n_2$ .  $R$  je “lomna” razdalja. Model se uporablja v urbanem in notranjem okolju.

$$P_{sdB} = P_{sdB}(r) = 10n_1 \log\left(\frac{r}{r_0}\right), \quad r \leq R$$

$$P_{sdB} = P_{sdB}(r) = 10n_1 \log r_0 + 10n_2 \log\left(\frac{r}{r_0}\right), \quad r > R$$

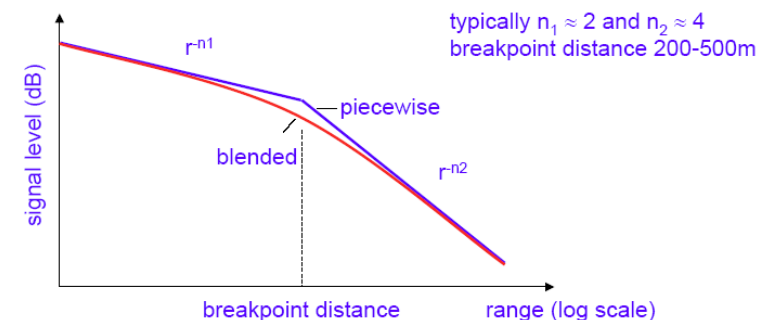
Če so v prvem delu izpolnjeni pogoji za širjenje v praznem prostoru ( $n_1 = 2$ ), je

$$P_{sdB} = P_{sdB}(r) = 20 \log r_0 + 10n_2 \log\left(\frac{r}{r_0}\right)$$

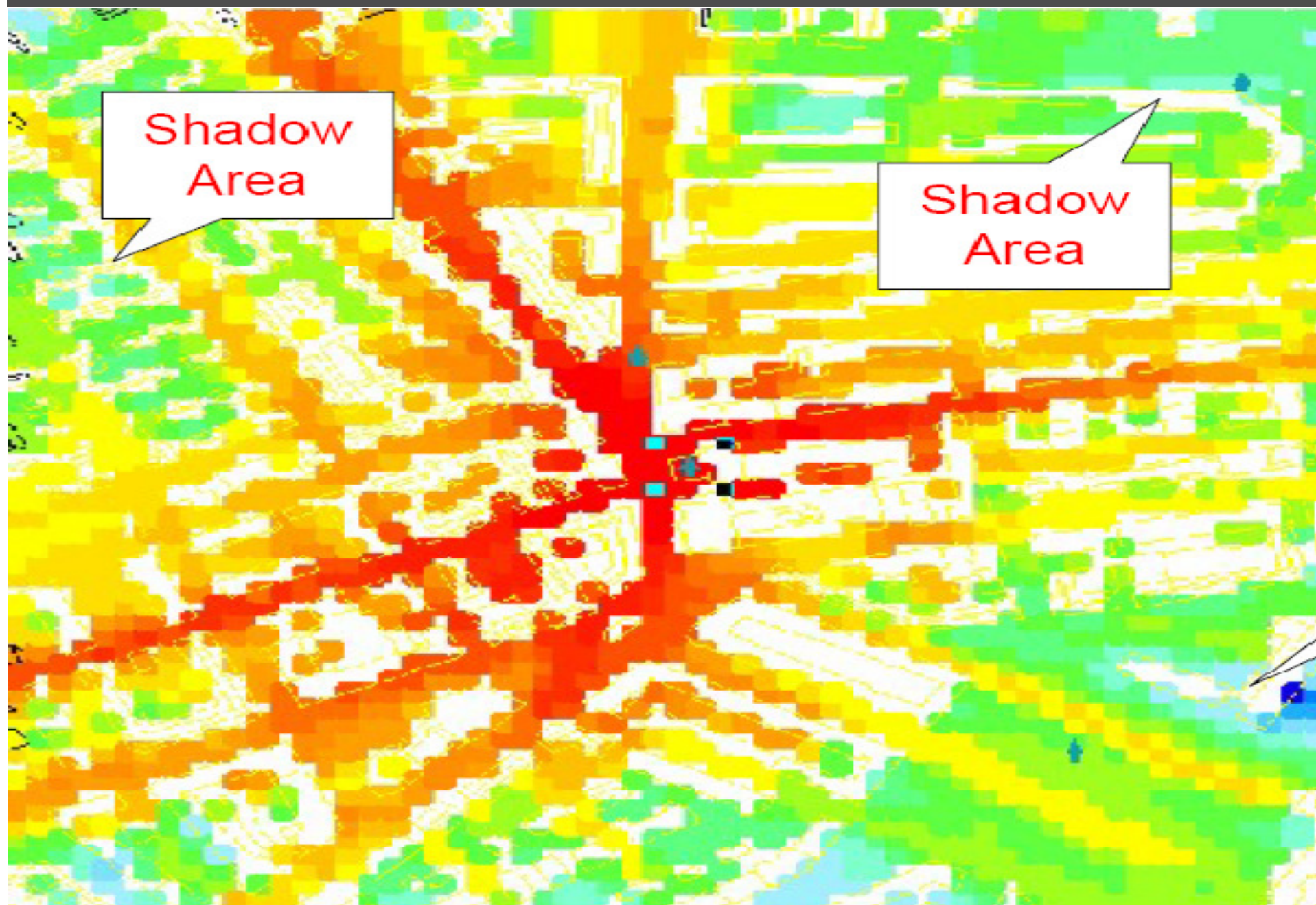
Slabljenje  $10 \log(P_2/P_1)$  izražamo pri  $r > R$  v lomljeni ali zglajeni obliki:

$$L_{dB} = 20 \log\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) + 20 \log R + 10n_2 \log\left(\frac{r}{R}\right)$$

$$L_{dB} = 20 \log\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) + 20 \log R + 10(n_2 - 2) \log\left(1 + \frac{r}{R}\right)$$

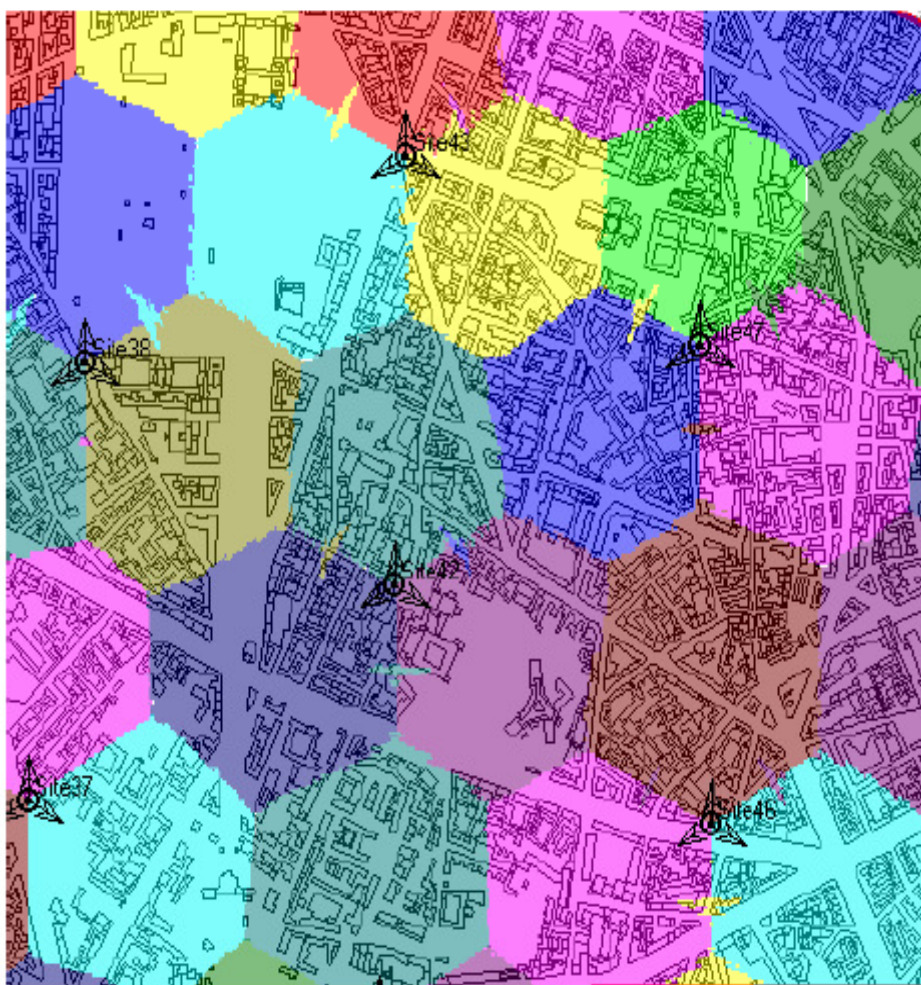


# Učinek ulic na pokritost urbanega področja

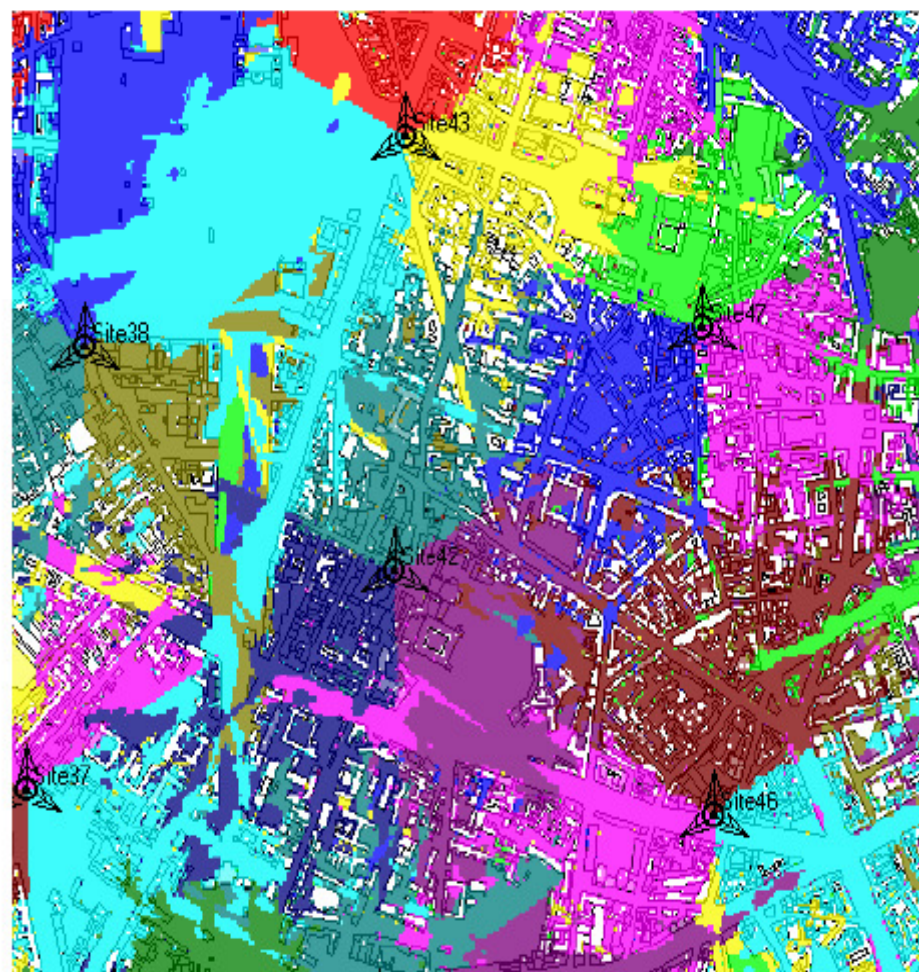


# Načrt in resničnost

Načrtovana pokritost celic

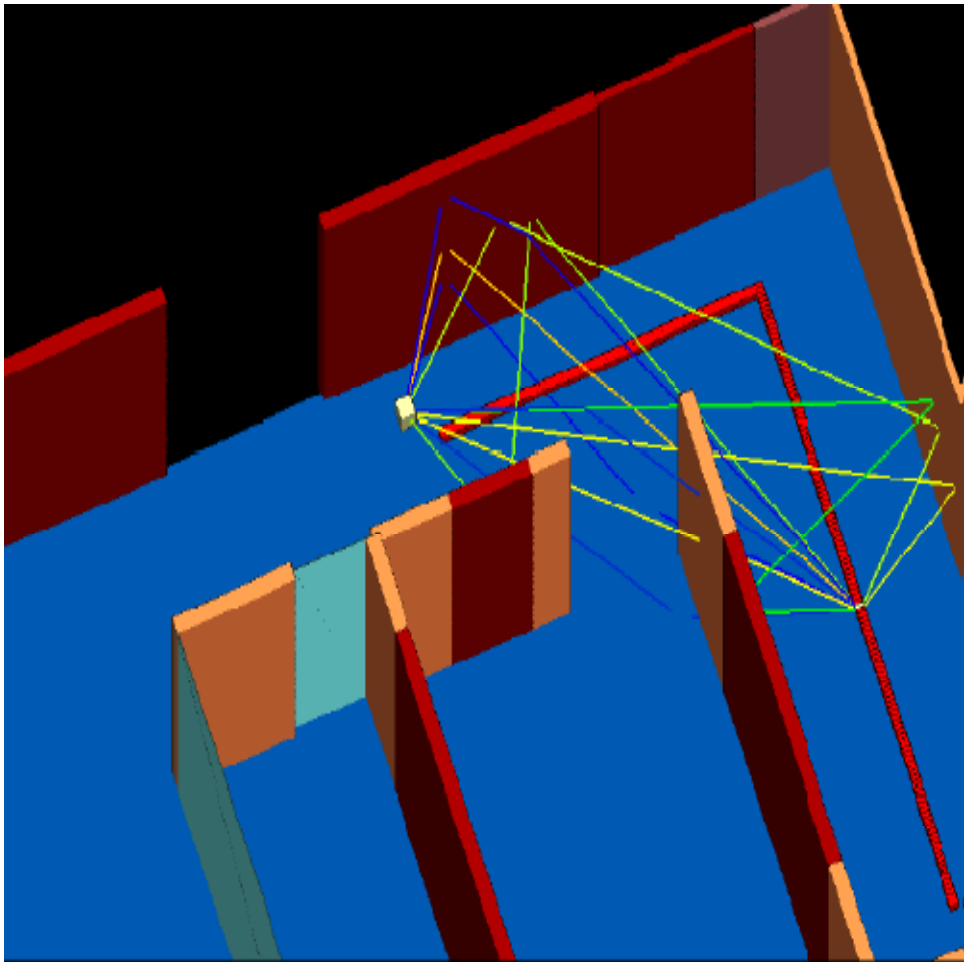


Dejanska pokritost celic, učinek uličnih koridorjev

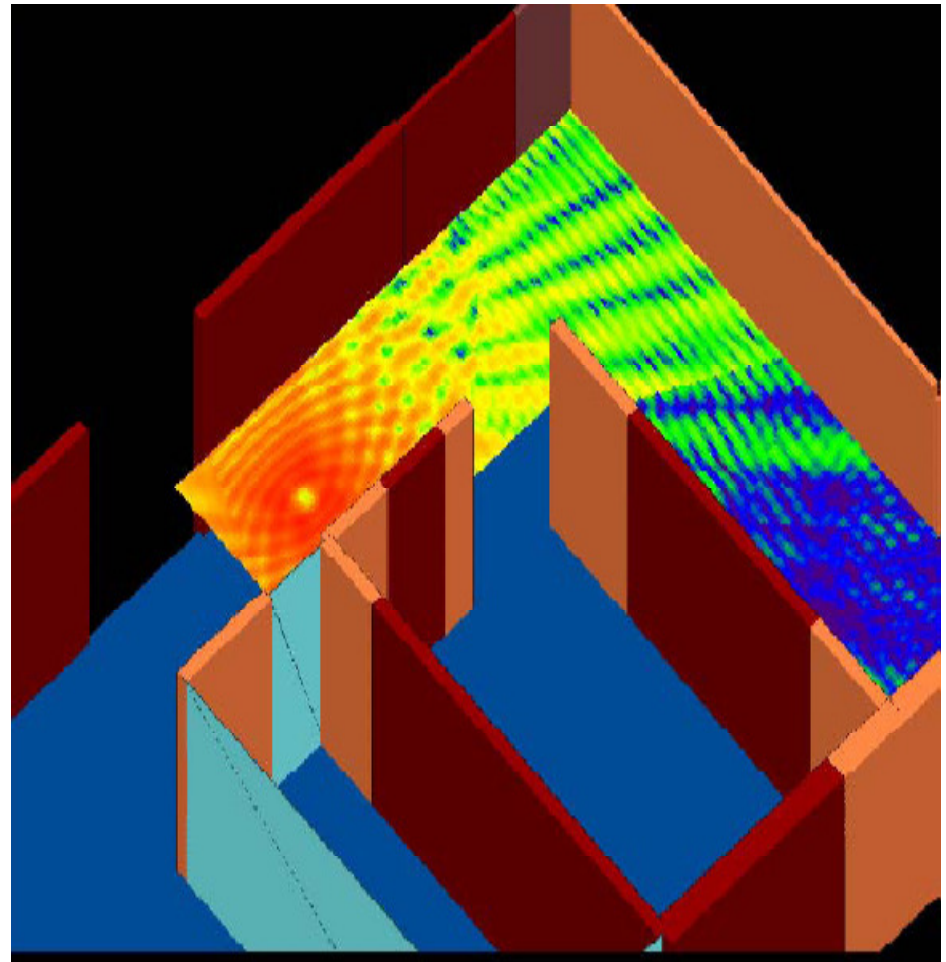


# Polje v notranjih prostorih

Žarkovni model

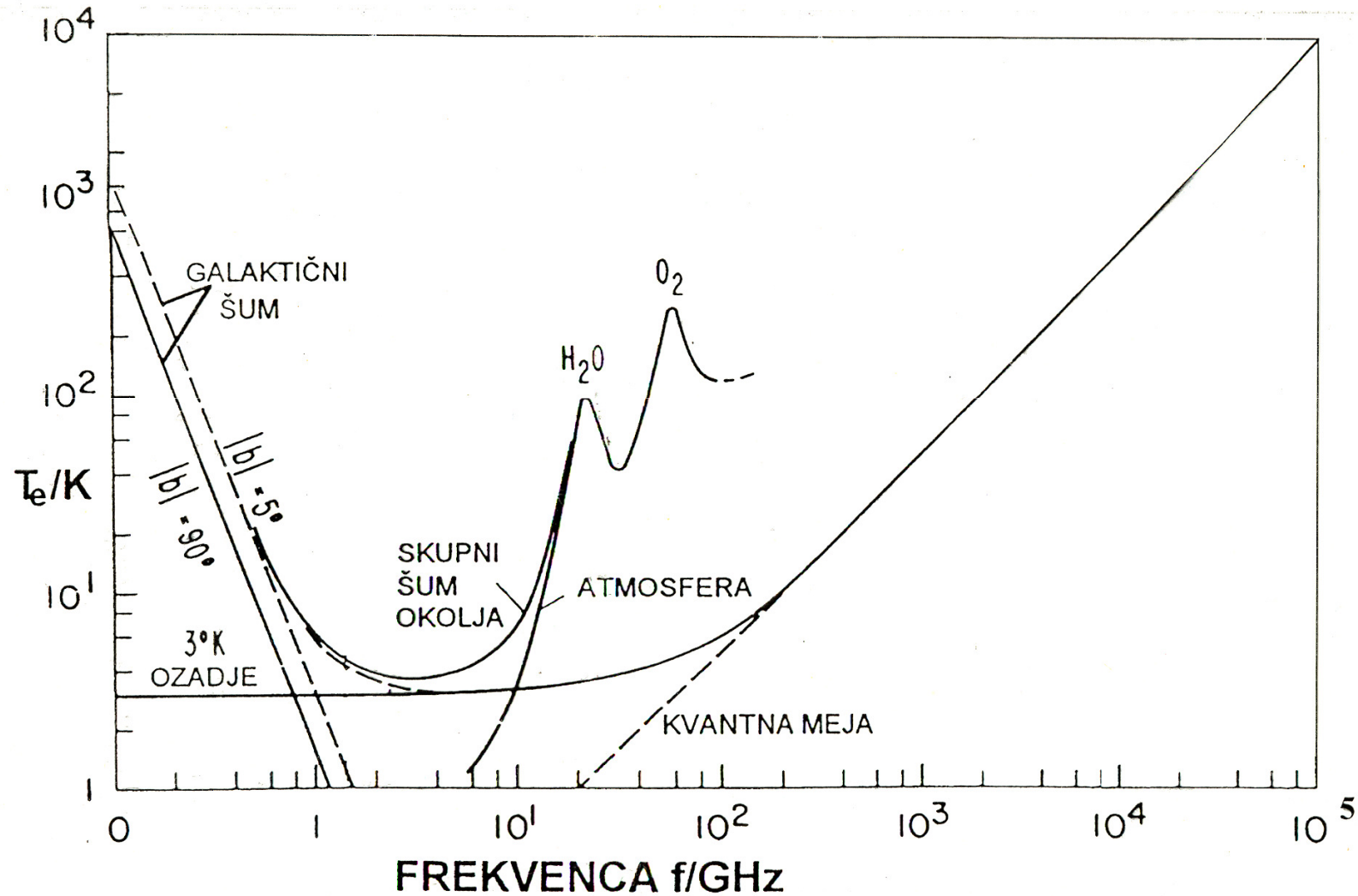


Prikazovanje polja





# Šumi v radijskem in optičnem spektru



Lastnost šumov: nekoherentnost, nepolariziranost, širok  $\Delta f$