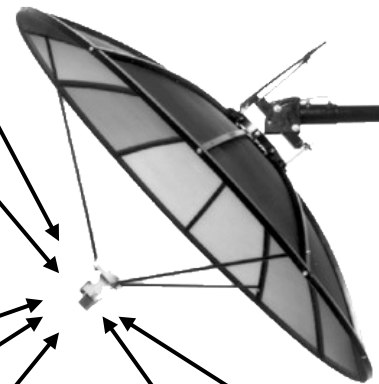


Propagacja wielodrogowa



Plan wykładu

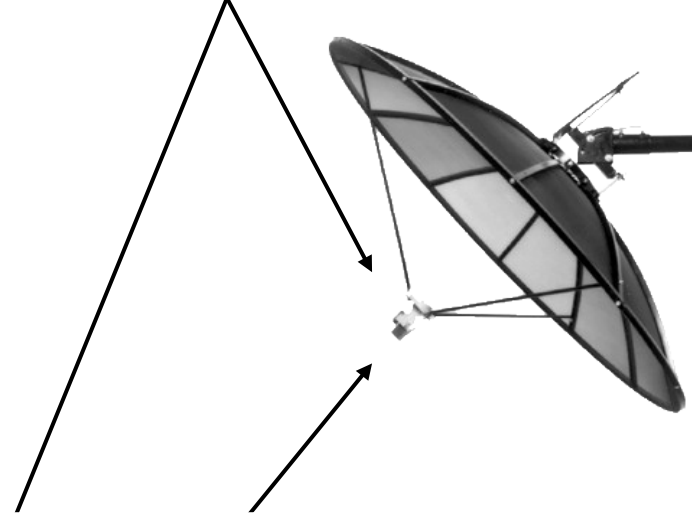
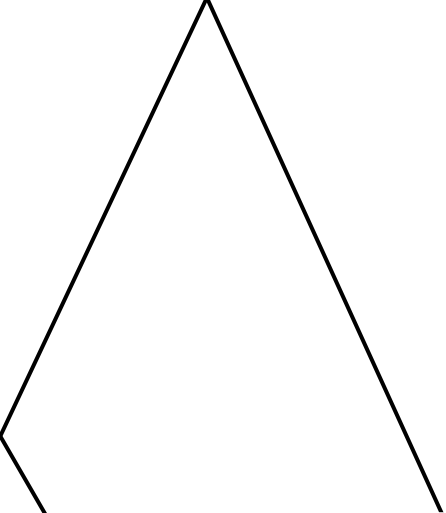


1. Propagacja wielodrogowa

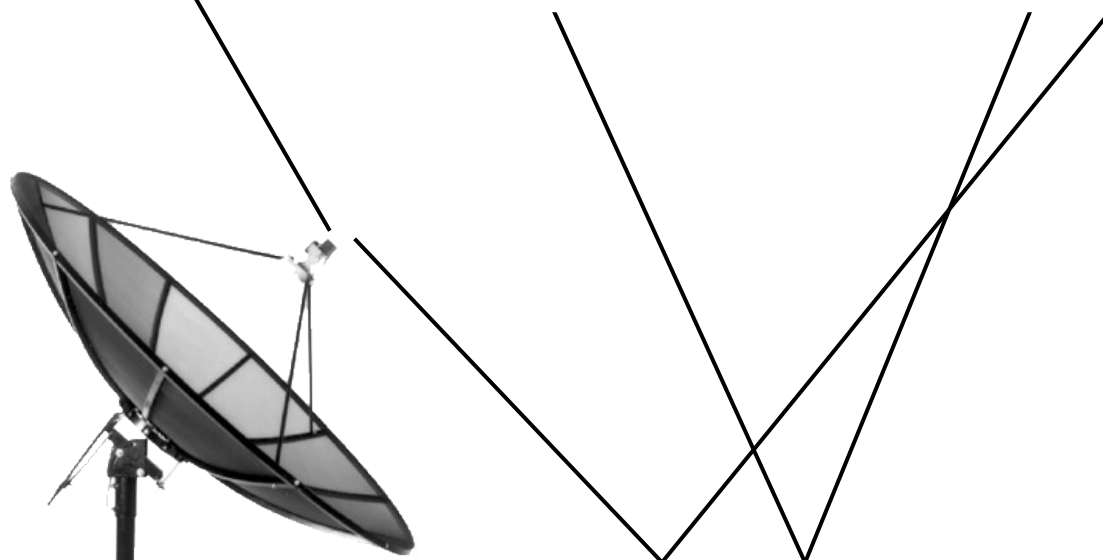
- opis zjawiska w dziedzinie czasu i częstotliwości
- przypadek propagacji przyziemnej

2. Zaniki sygnału radiowego

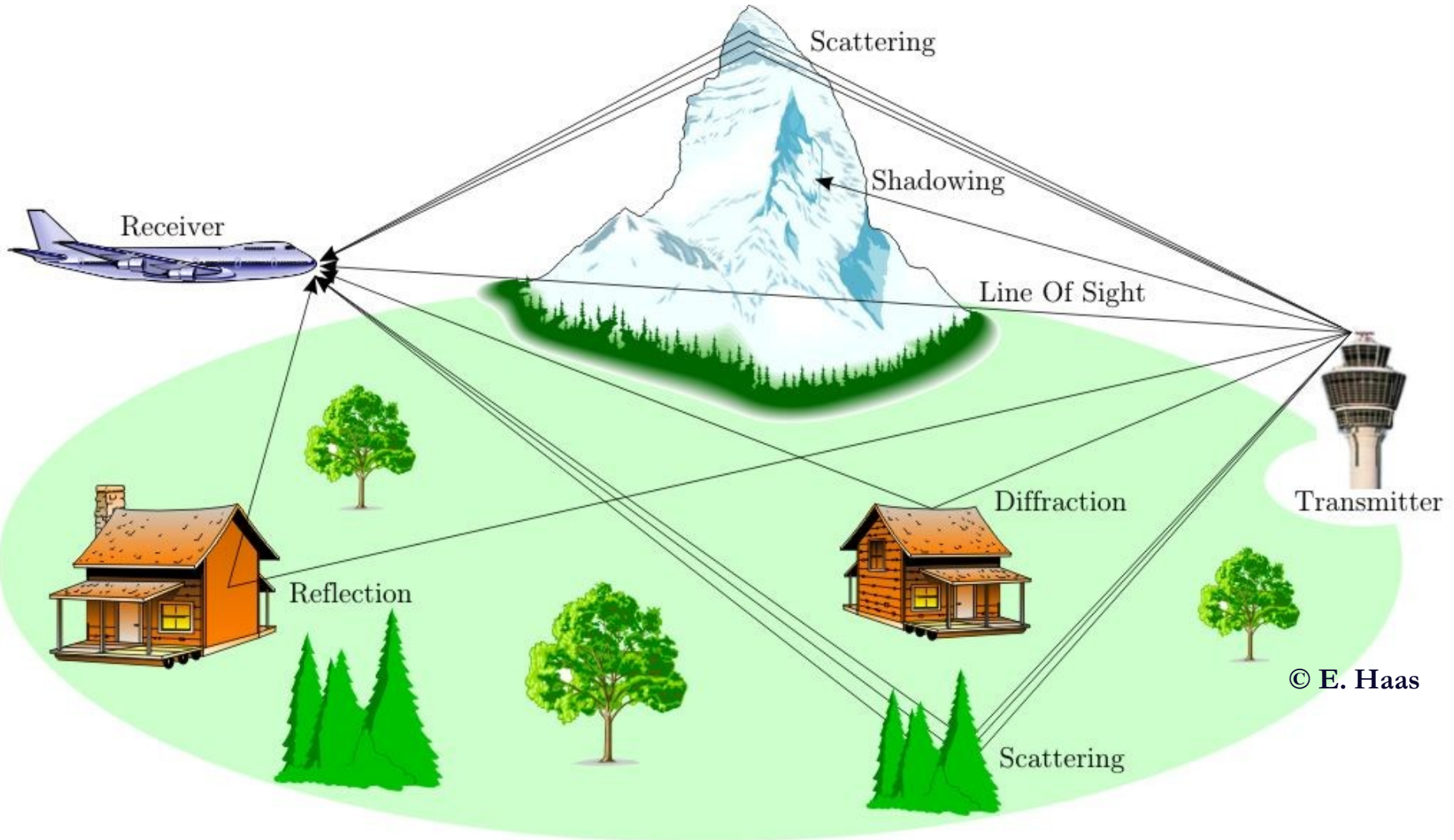
3. Interferencje międzysymbolowe



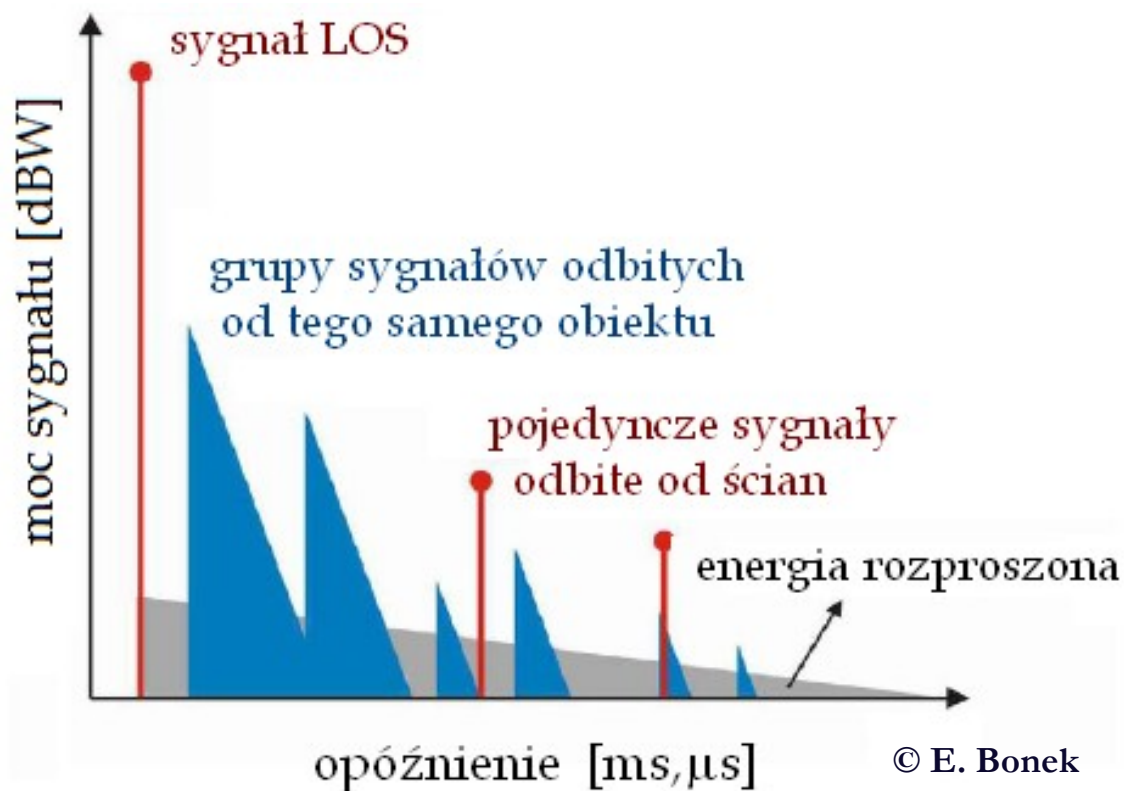
1. Propagacja wielodrogowa



Propagacja wielodrogowa



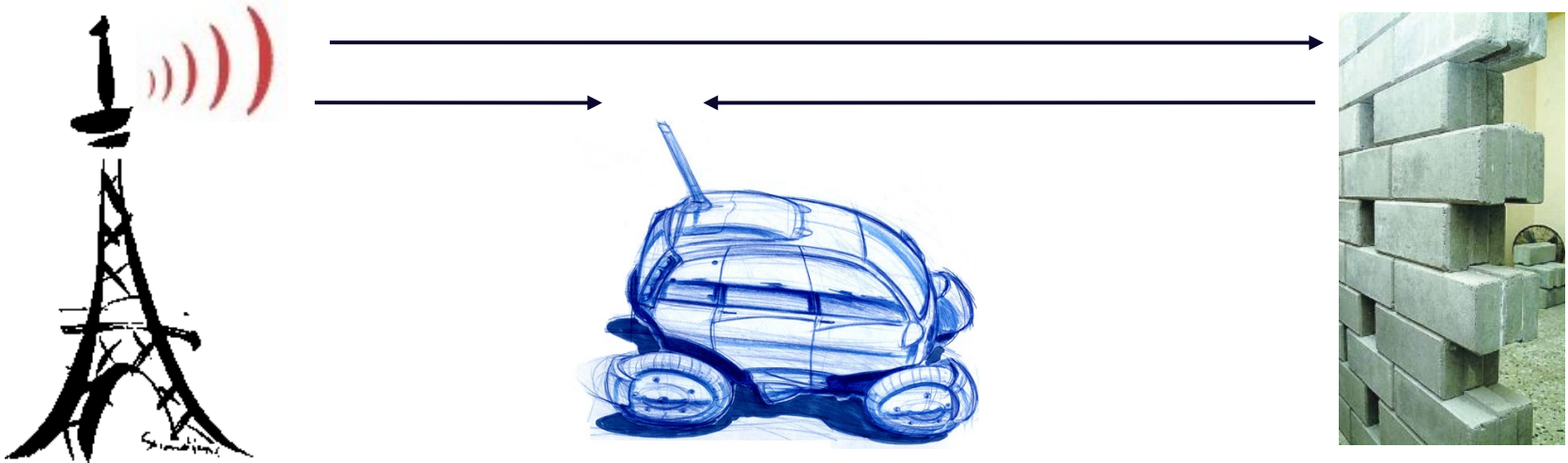
Sygnał radiowy w dziedzinie czasu



Pojęcia:

- odpowiedź impulsowa kanału radiowego (*channel impulse response*)
- profil mocy sygnału, profil opóźnień kanału (*power delay profile*)

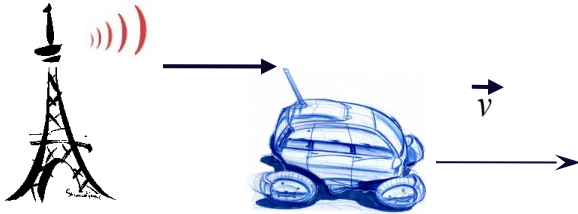
Propagacja wielodrogowa



Założmy, że fala bezpośrednia i odbita dochodzą do anteny samochodu w tej samej fazie: $|d1 - d2| = n \cdot \lambda$

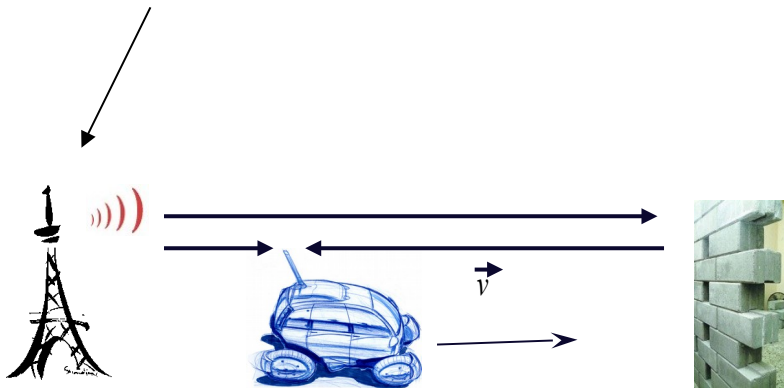
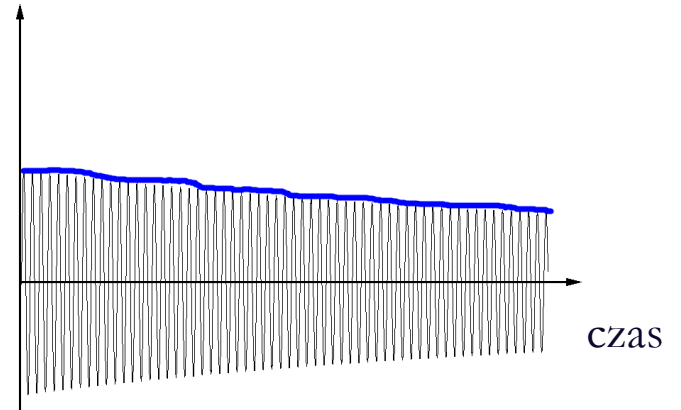
A jaki będzie efekt, gdy samochód przesunie się o $\lambda/4$?

Propagacja wielodrogowa

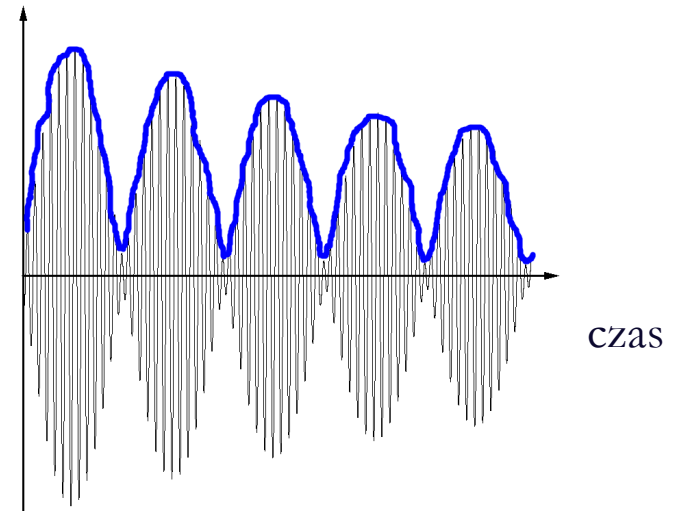


transmisja sygnału
sinusoidalnego

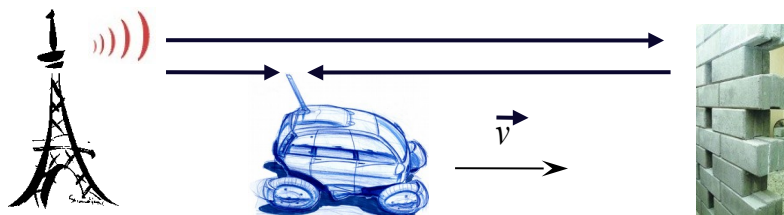
amplituda
sygnału



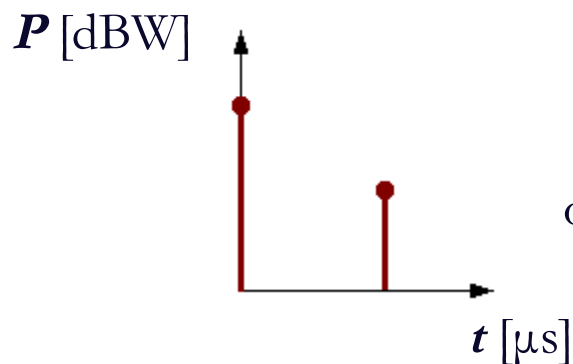
amplituda
sygnału



Czasowa charakterystyka kanału radiowego



POWER DELAY PROFILE:



średnia \rightarrow
 odchylenie std. \rightarrow

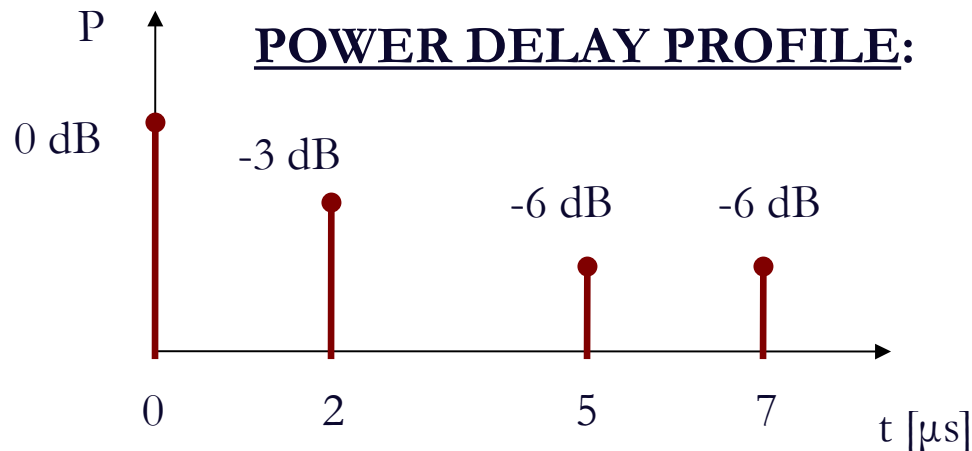
mean delay:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \tau_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

(rms) delay spread:

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot (\tau_i - \bar{\tau})^2}{\sum_{i=1}^n P_i}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \tau_i^2 - 2 \cdot \bar{\tau} \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot \tau_i + \bar{\tau}^2 \cdot \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}} \rightarrow \sigma_{\tau} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \tau_i^2}{\sum_{i=1}^n P_i} - \bar{\tau}^2}$$

Przykład obliczeń



mean delay:

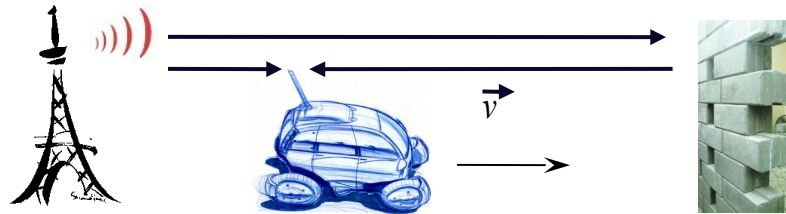
$$\bar{\tau} = \frac{1 \cdot 0 \mu s + 0.5 \cdot 2 \mu s + 0.25 \cdot 5 \mu s + 0.25 \cdot 7 \mu s}{2} = 2 \mu s$$

delay spread:

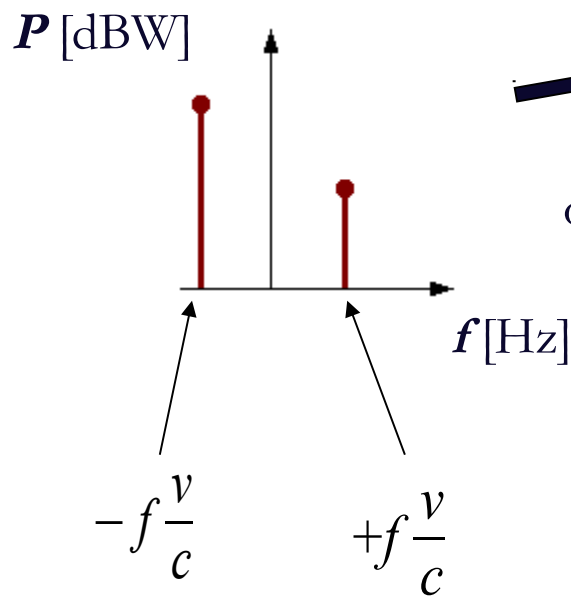
$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\frac{1 \cdot 0 (\mu s)^2 + 0.5 \cdot 4 (\mu s)^2 + 0.25 \cdot 25 (\mu s)^2 + 0.25 \cdot 49 (\mu s)^2}{2} - 4 (\mu s)^2}$$

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\frac{20.5 (\mu s)^2}{2} - 4 (\mu s)^2} = \sqrt{6.25 (\mu s)^2} = 2.5 \mu s$$

Częstotliwościowa charakterystyka kanału



DOPPLER SPECTRUM:



średnia →

odchylenie std. →

mean Doppler shift:

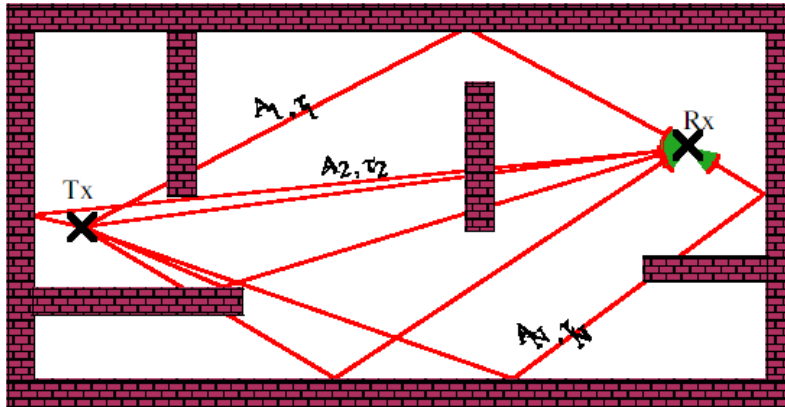
$$\bar{f}_D = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

(rms) Doppler spread:

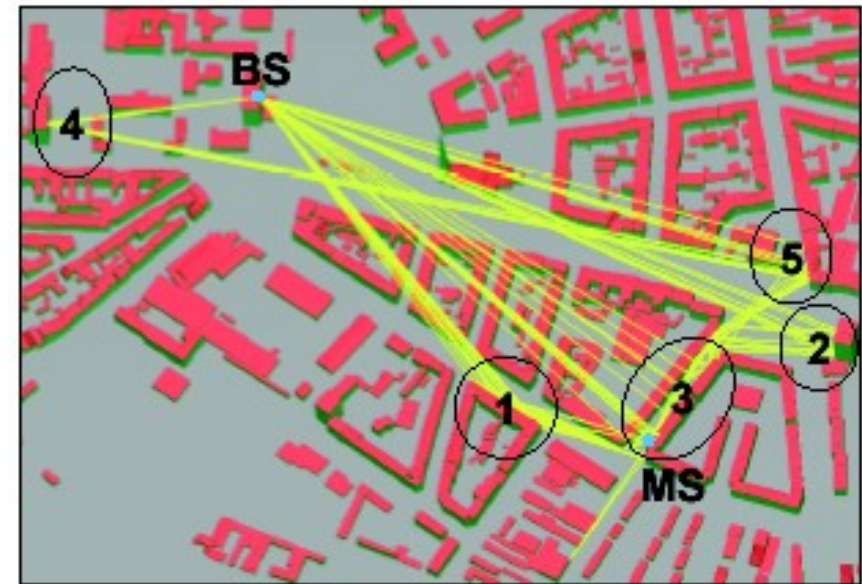
$$\sigma_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot f_i^2}{\sum_{i=1}^n P_i} - \bar{f}_D^2}$$

Propagacja wielodrogowa

środowisko wewnątrz budynków (*indoor*):

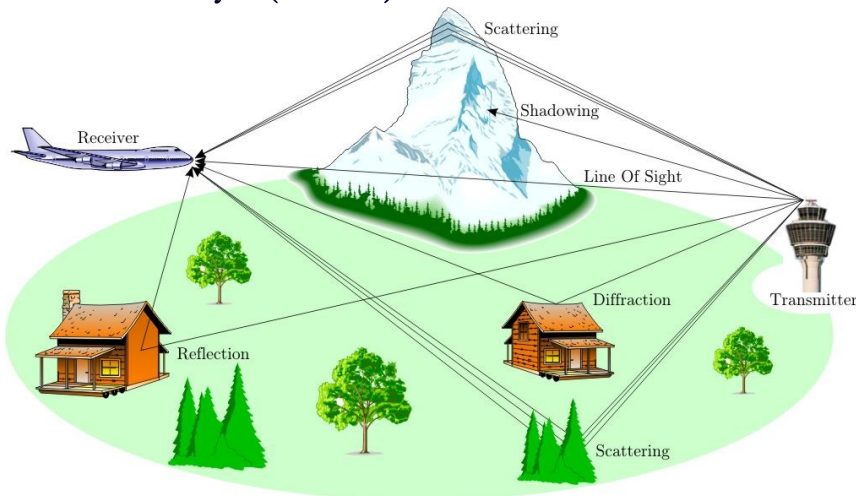


teren miejski (*urban*):



© T. Fugen

teren otwarty (*rural*):



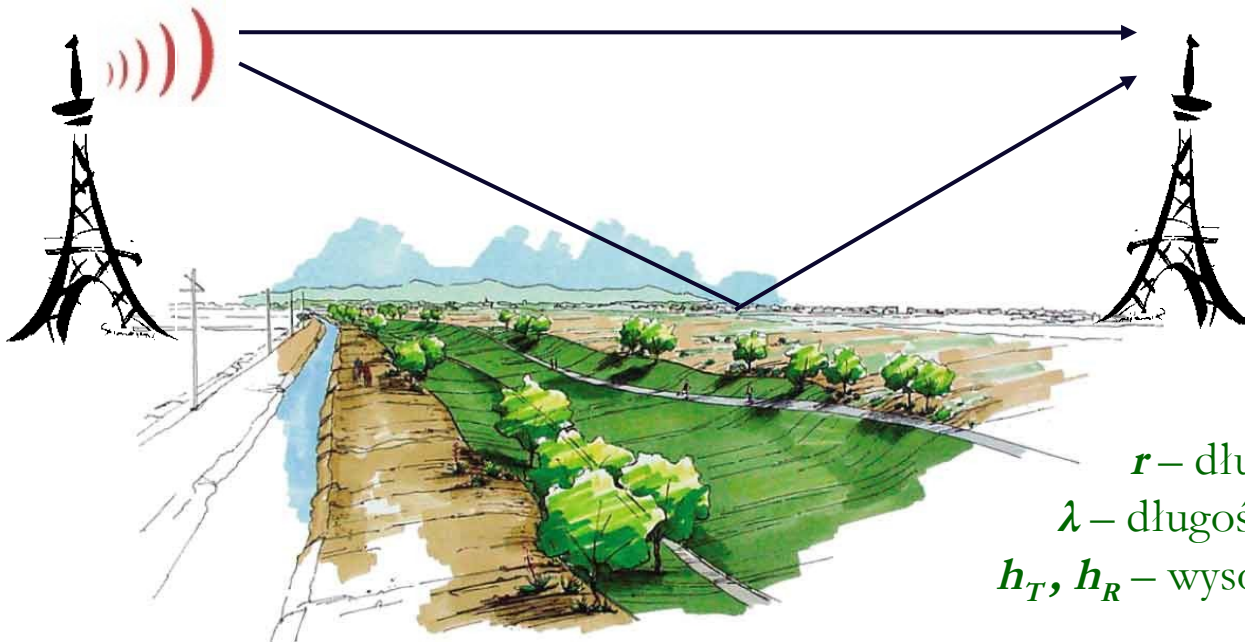
VIDEO

Propagacja przyziemna

- propagacja w przestrzeni swobodnej : $P \sim d^{-2}$
- modele propagacyjne : $P \sim d^{-1.5}$ aż do $P \sim d^{-6}$
- propagacja przyziemna : $P \sim d^{-4}$ → dlaczego ?

TWO-PATH MODEL:

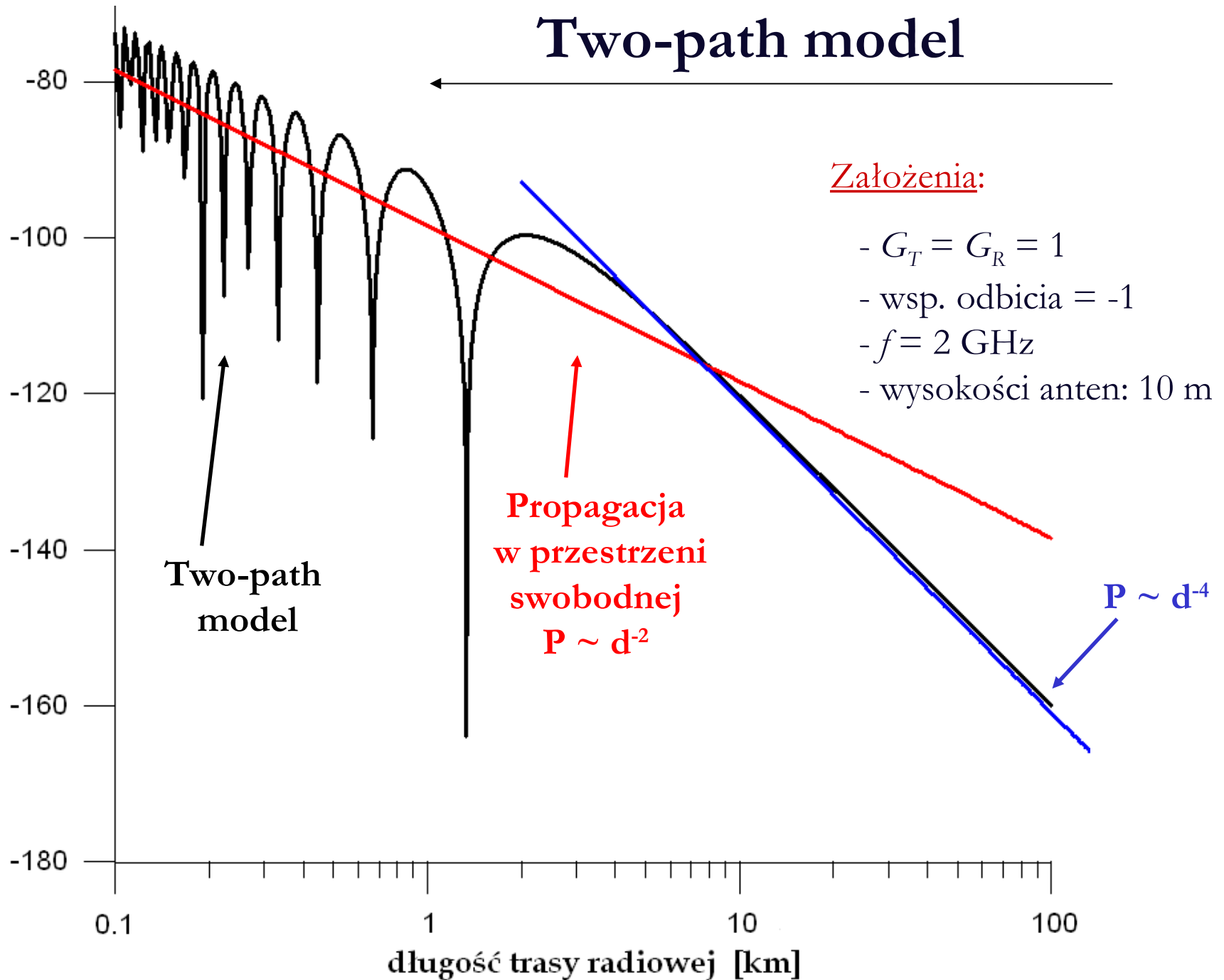
Zysk trasy ($G_T = G_R = 1$) :
$$10 \log \left[\left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot r} \right)^2 \cdot 4 \cdot \sin^2 \frac{2\pi \cdot h_T \cdot h_R}{\lambda \cdot r} \right]$$

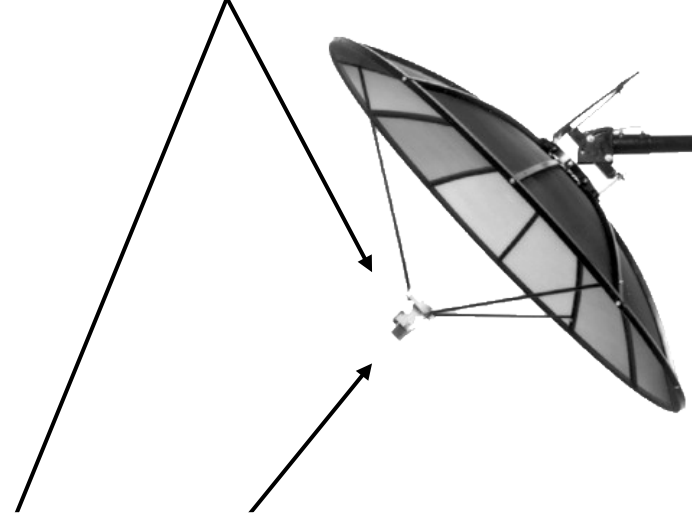
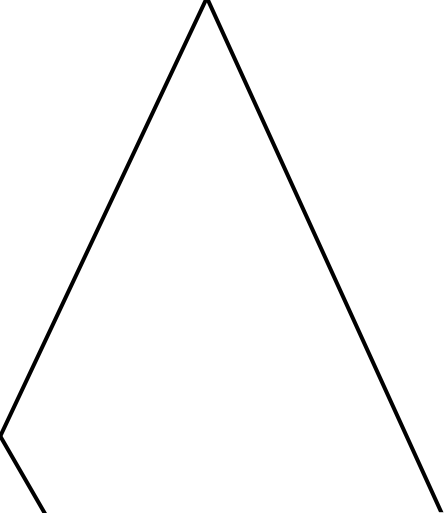


r – długość trasy radiowej
 λ – długość fali radiowej
 h_T, h_R – wysokości zawieszenia anten

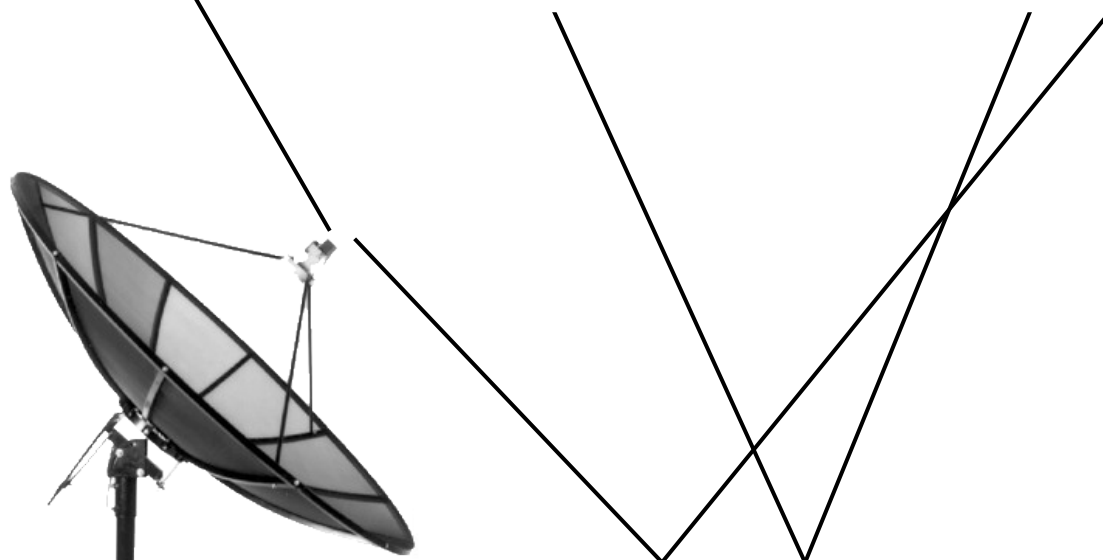
Two-path model

zysk trasy radiowej [dB]

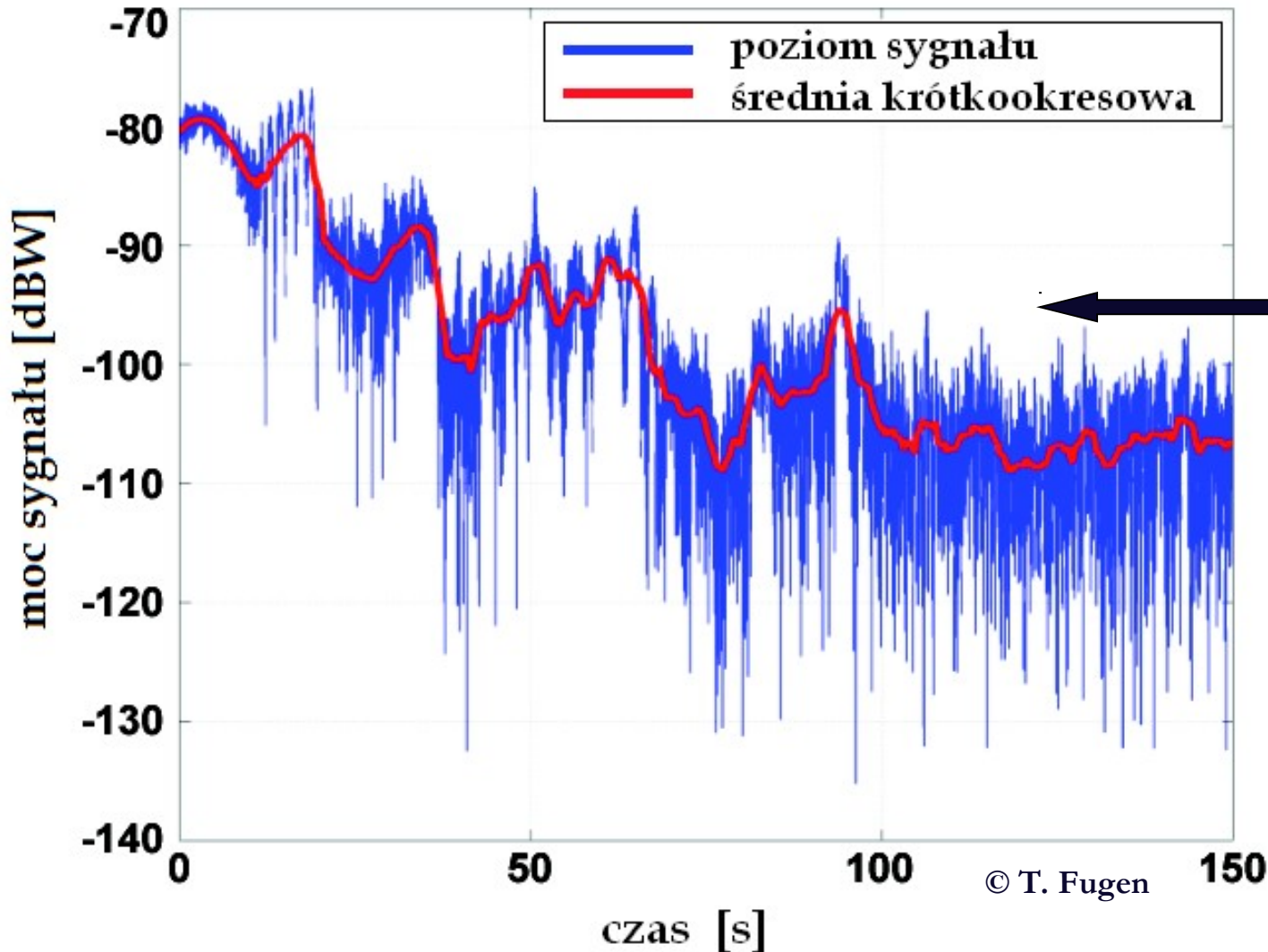
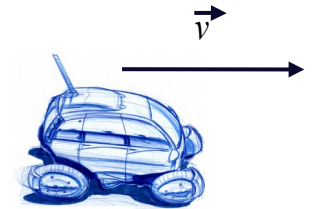




2. Zaniki sygnału radiowego



Zaniki wielodrogowe



Trzy zjawiska:

- wpływ odległości
- zaniki wolne
- zaniki szybkie

Zaniki wielodrogowe

1. Wpływ odległości:

- od $P \sim d^{-1.5}$ do $P \sim d^{-6}$ w zależności od środowiska propagacyjnego

2. Zaniki wolne (*slow fading, large-scale fading, long-term fading*):

- zmiany w otoczeniu anten nadawczych i odbiorczych, pojawianie się i znikanie możliwych dróg propagacji, *shadowing*
- fluktuacje jonosfery i zmienne warunki atmosferyczne

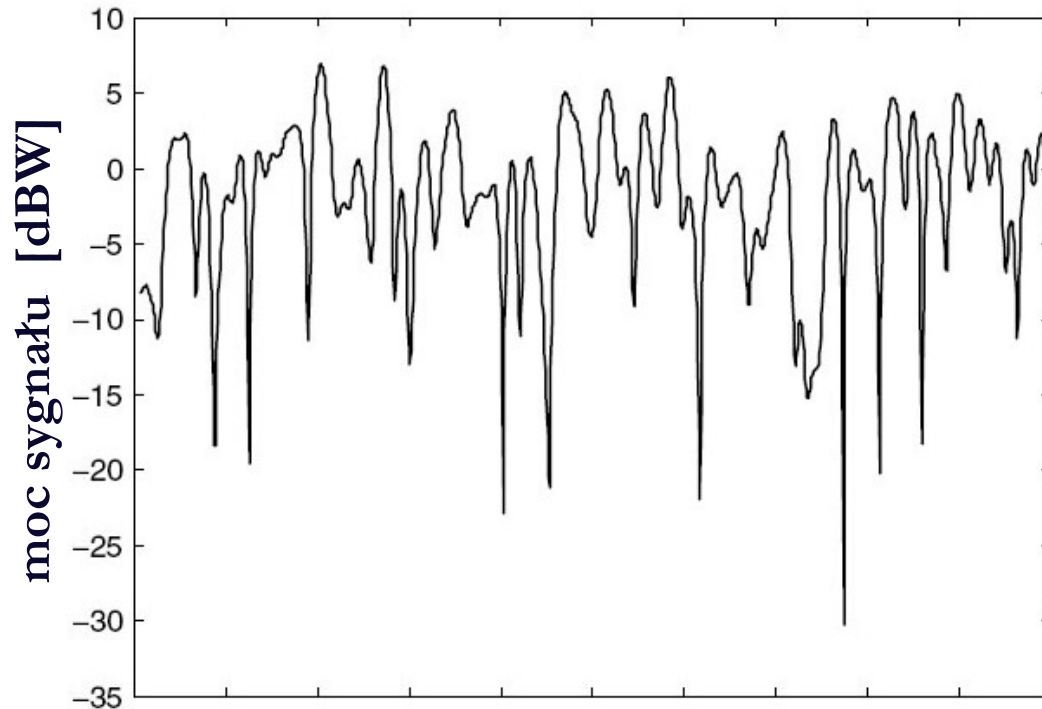
3. Zaniki szybkie (*fast fading, small-scale fading, short-term fading*):

- superpozycja sygnałów dochodzących wieloma drogami do anteny odbiorczej
-> interferencje konstruktywne i destruktywne

Dodatkowe pojęcia:

- kanał radiowy z zanikiem płaskim (*flat fading*)
- kanał radiowy z zanikami selektywnymi (*selective fading*)

Sygnał radiowy w dziedzinie częstotliwości - zaniki selektywne

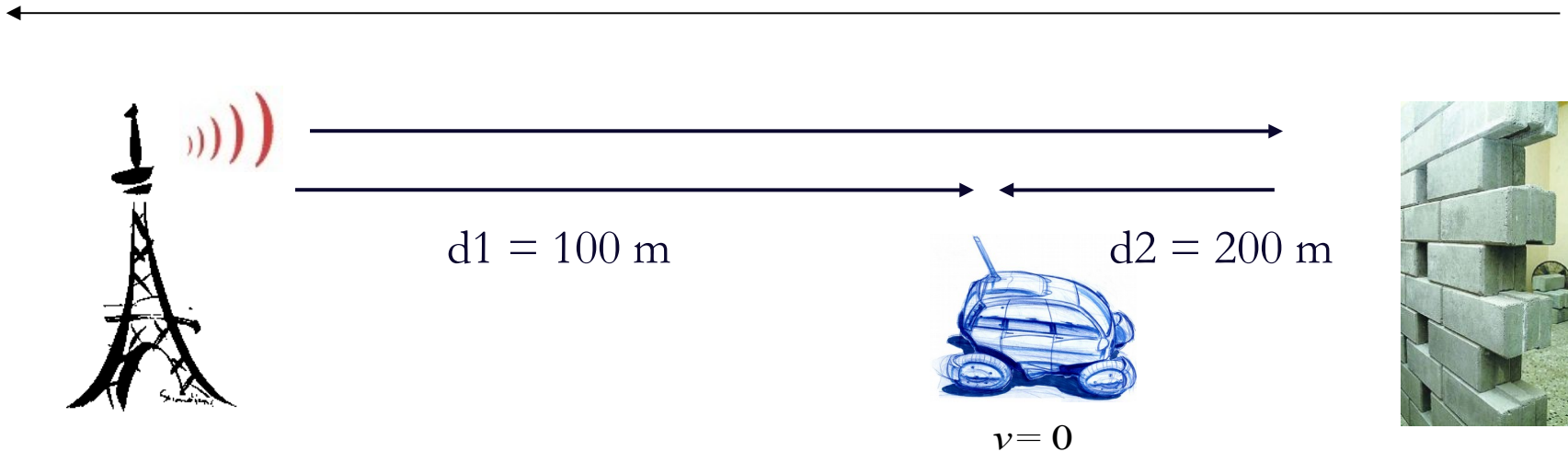


wybrane pasmo częstotliwości

Pojęcia:

- charakterystyka, funkcja przenoszenia lub transmitancja kanału radiowego (*channel characteristics, channel transfer function*)

Sygnal radiowy w dziedzinie częstotliwości - zaniki selektywne



Przypadek I

$$f = 3\text{ GHz:} \quad |d_1 - d_2| = 100\text{ m} = 1000\lambda$$

=> wzmocnienie odbieranego sygnału

Przypadek II -> zmiana częstotliwości o 0.05 %

$$f = 2.9985\text{ GHz:} \quad |d_1 - d_2| = 100\text{ m} = 999.5\lambda$$

=> stłumienie odbieranego sygnału

Charakterystyka kanału radiowego

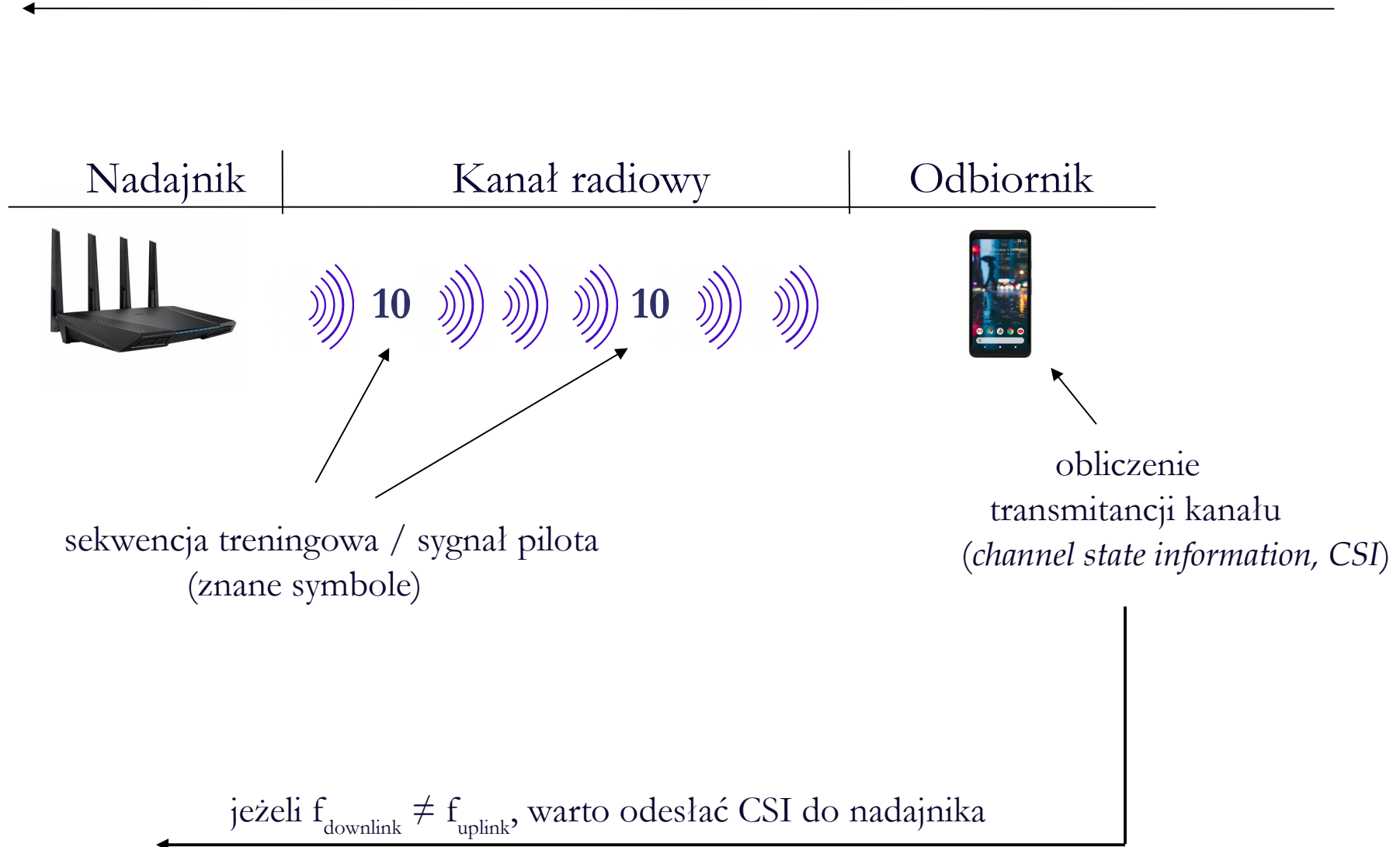


$$H(f, (x, y, z), t)$$



1. Zaniki selektywne (wpływ częstotliwości)
2. Wpływ miejsca – lokalizacji odbiornika
3. Niestacjonarność (wpływ czasu) – zmiany w otoczeniu nadajnika i odbiornika skutkujące zmianami transmitancji kanału radiowego

Estymacja kanału radiowego

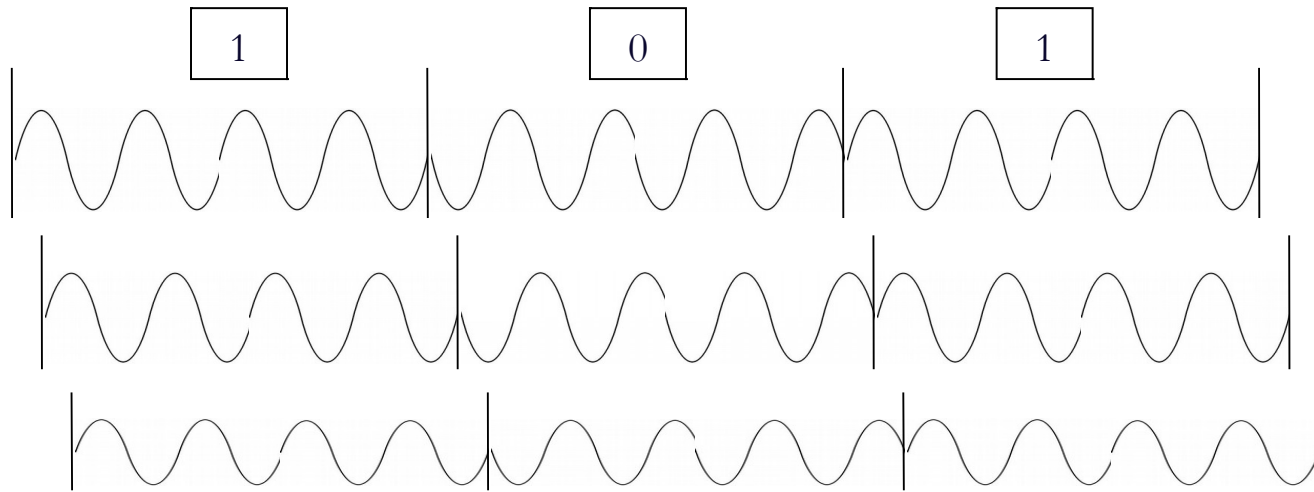
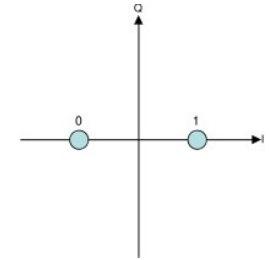




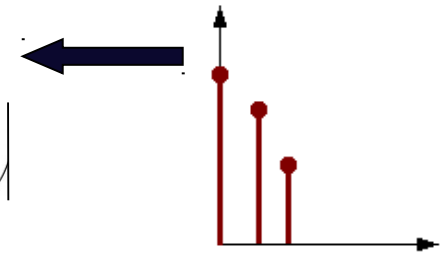
3. Interferencje międzysymbolowe
Intersymbol Interference (ISI)

Transmisja w wielodrogowym kanale radiowym

Przykład #1: Modulacja BPSK



Profil mocy sygnału:



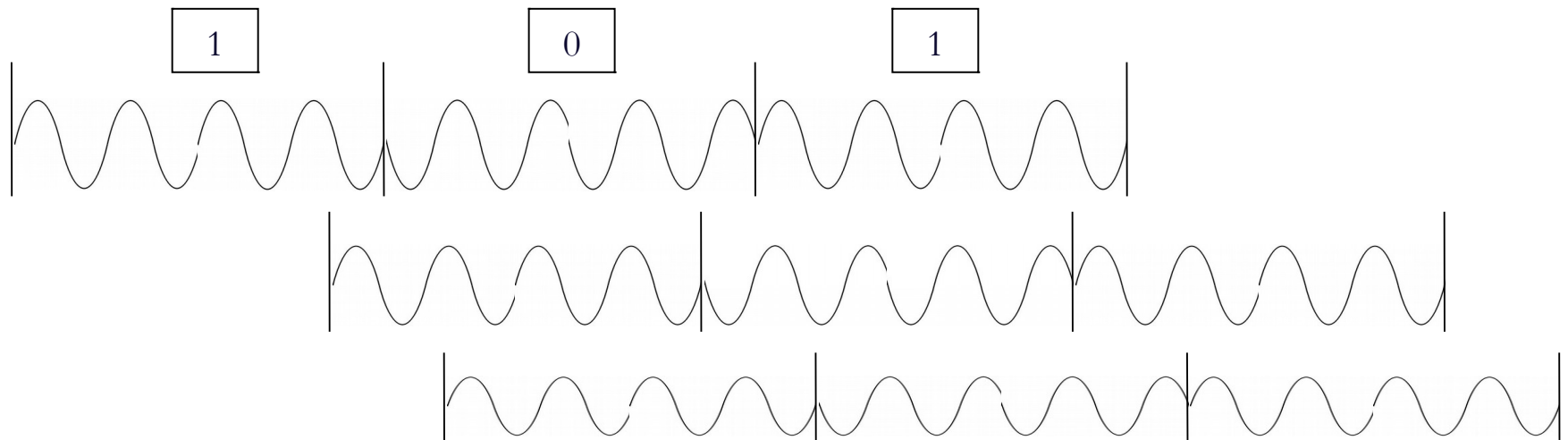
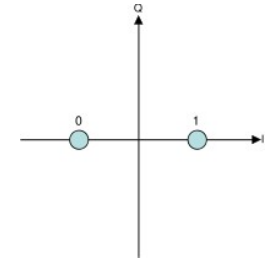
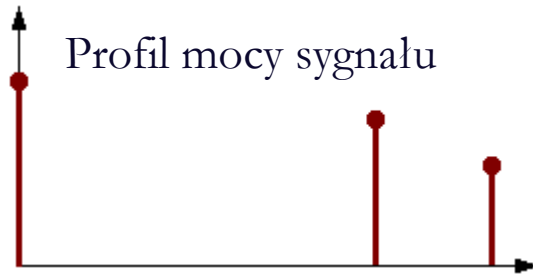
Okresy zaburzeń

Okresy stabilnego sygnału

$$A_1 \cdot \sin(2\pi \cdot f + \phi_1) + A_2 \cdot \sin(2\pi \cdot f + \phi_2) + A_3 \cdot \sin(2\pi \cdot f + \phi_3) = A \cdot \sin(2\pi \cdot f + \phi)$$

Interferencje międzysymbolowe ISI

Przykład #2: Modulacja BPSK

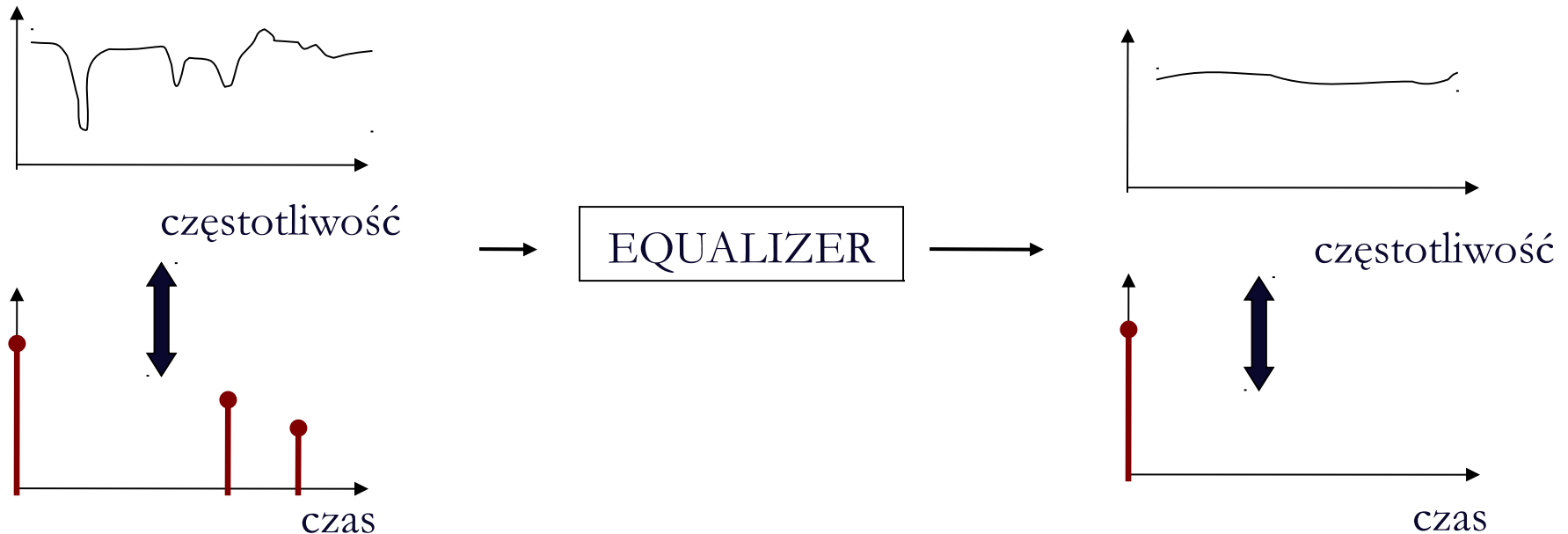


Okres zaburzeń

Energia danego symbolu odbierana jest w czasie trwania następnego symbolu => interferencje międzysymbolowe ISI (*inter-symbol interference*)

Unikanie interferencji międzysymbolowych ISI

1. Wydłużenie czasu trwania pojedynczego symbolu
 - okresy ochronne, podczas których sygnał nie jest dekodowany
 - transmisja z niską przepustowością
 - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)
2. Zastosowanie korekcji adaptacyjnej (*equalization*) sygnału w odbiorniku:



Dziękuję za uwagę