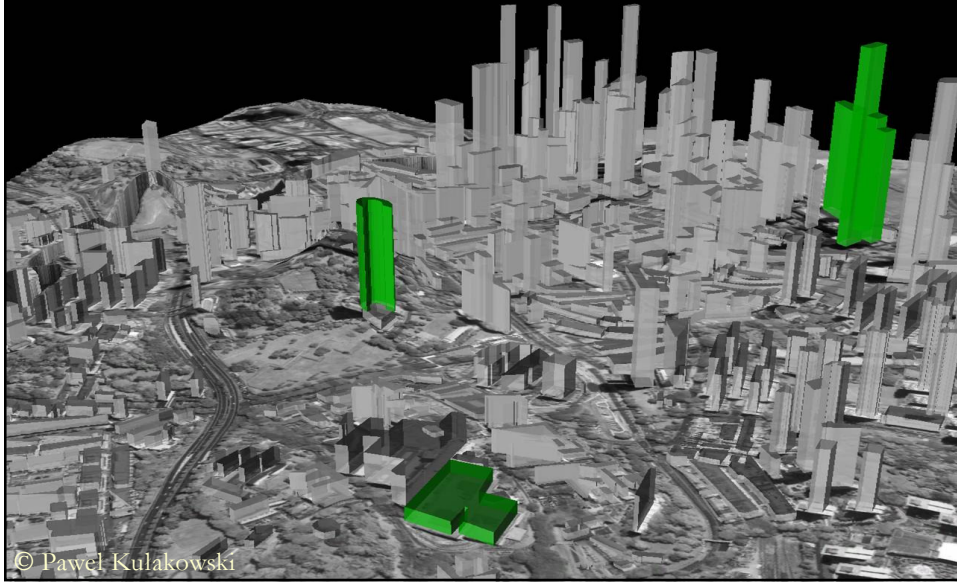
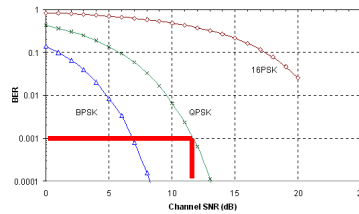


# Planowanie sieci bezprzewodowych - bilans łącza radiowego



## Bilans energetyczny łącza radiowego

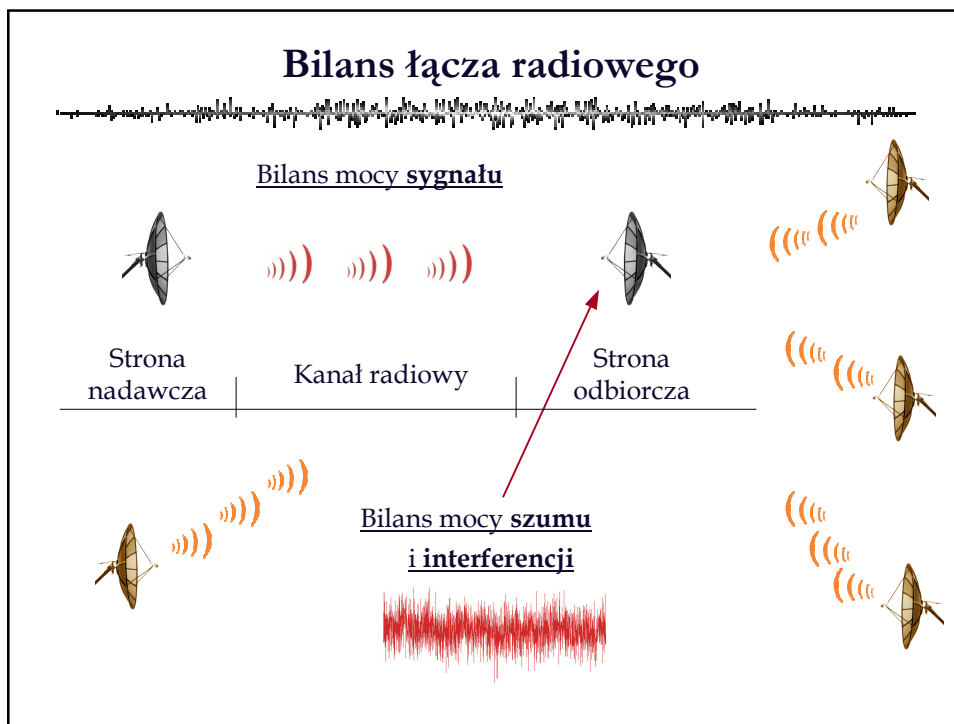
Zapewnienie wystarczającej wartości  
**SNR (SINR, SIR) :**



lub wystarczającej wartości  $E_b/N_0$  :

$$\frac{S [\text{W}]}{N [\text{W}]} = \frac{C [\text{W}]}{N [\text{W}]} = \frac{E_b \left[ \frac{\text{J}}{\text{bit}} \right] \cdot R_b \left[ \frac{\text{bit}}{\text{s}} \right]}{N_0 \left[ \frac{\text{W}}{\text{Hz}} \right] \cdot B [\text{Hz}]}$$

$$\frac{R_b}{B} = \eta [\text{bit/s/Hz}]$$



### Bilans łączy radiowego

Strona nadawcza:  $EIRP \text{ [dBW]} = P_T \text{ [dBW]} - L_{FT} \text{ [dB]} + G_T \text{ [dBi]}$

Kanał radiowy:  $PL \text{ [dB]}$  ← odpowiedni model kanału radiowego

Strona odbiorcza:  $G_{R\ ALL} \text{ [dB]} = G_R \text{ [dBi]} - L_{FR} \text{ [dB]} - L_{POL} \text{ [dB]}$

Szum termiczny:  $N \text{ [dBW]} = -204 \text{ [dBW/Hz]} + 10\log B \text{ [dBHz]} + F \text{ [dB]}$

$SNR \text{ [dB]} = EIRP \text{ [dBW]} - PL \text{ [dB]} + G_{R\ ALL} \text{ [dB]} - N \text{ [dBW]}$

$(E_b/N_0) \text{ [dB]} = EIRP \text{ [dBW]} - PL \text{ [dB]} + G_{R\ ALL} \text{ [dB]} - (N \cdot \eta) \text{ [dBW]}$

↳ obliczenia wymaganej mocy nadajnika, średnicy anteny odbiorczej, maksymalnej długości trasy radiowej, etc.

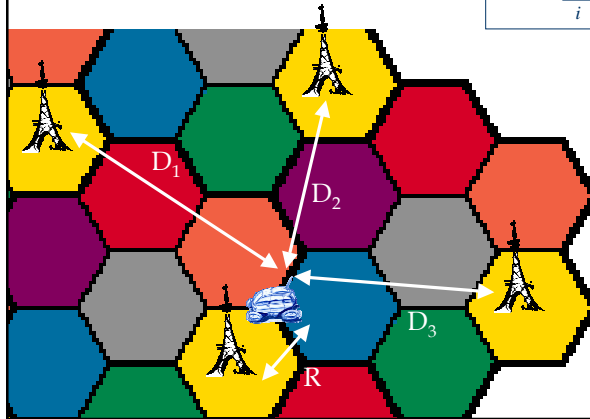
## Uproszczony bilans SIR w sieciach GSM

Założenia:

- moce nadawcze stacji bazowych są takie same
- wszystkie anteny są dookólne

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{PL(D_i) \cdot FM}}$$

FM (*fading margin*)  
– margines mocy przyjęty ze względu na zaniki sygnału



R – promień komórki  
D<sub>i</sub> – odległość i-tej stacji generującej interferencję od terminala ruchomego

## Bilans SINR w sieciach UMTS/CDMA

$$(E_b/N_0) \text{ [dB]} = \text{EIRP [dBW]} - \text{PL [dB]} + G_{R \text{ ALL}} \text{ [dB]} - (N \cdot \eta) \text{ [dBW]}$$

Strona nadawcza

Kanał radiowy

Strona odbiorcza

- Moc terminala ruchomego : P<sub>T</sub>
- Zysk anteny terminala : G<sub>T</sub>

- Zysk anteny BTS : G<sub>R</sub>
- Straty fidera : L<sub>FR</sub>

- *Body loss*, np. 3 dB
- *In-car loss*, np. 10 dB
- *Indoor loss*, np. 15 dB

?



## Bilans SINR w sieciach UMTS/CDMA - szумы, interferencje, zaniki sygnału

$$(N \cdot \eta) \text{ [dBW]} = -204 \text{ [dBW/Hz]} + 10 \log R_b \text{ [dB]} + F \text{ [dB]}$$

często jeden parametr dla całej strony odbiorczej systemu

- *Fast fading margin*, np. -4 dB
- *Log-normal (slow) fading margin*, np. -7 dB
- *Interference margin*, np. -3 dB
- *Soft handover gain*, np. +3 dB
- *Processing gain* =  $10 \log (R_c / R_b)$  dB, np. +20 dB

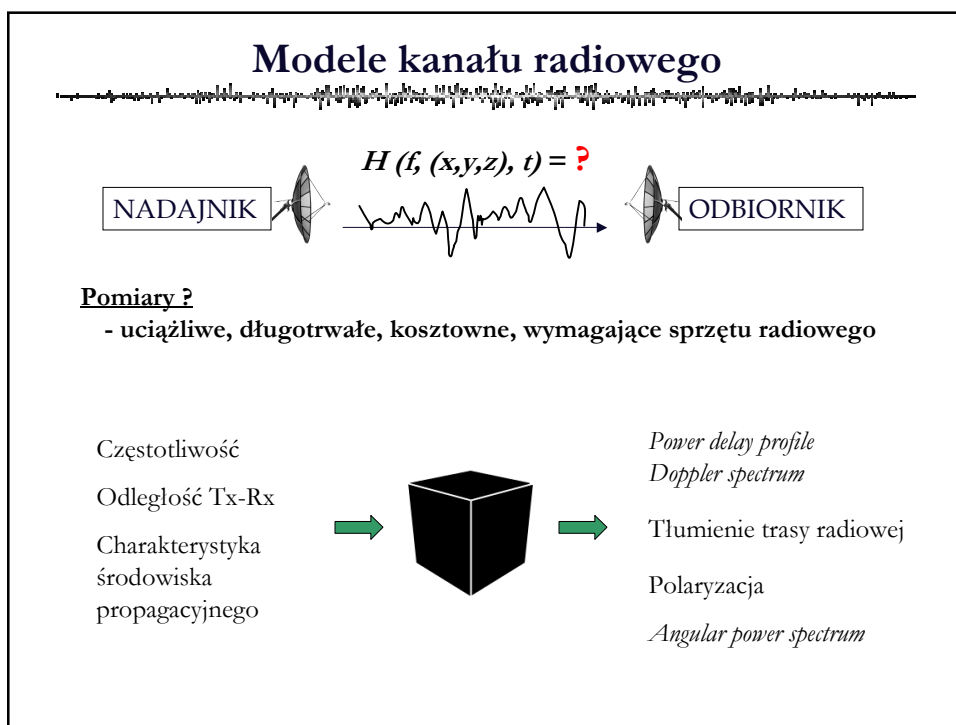
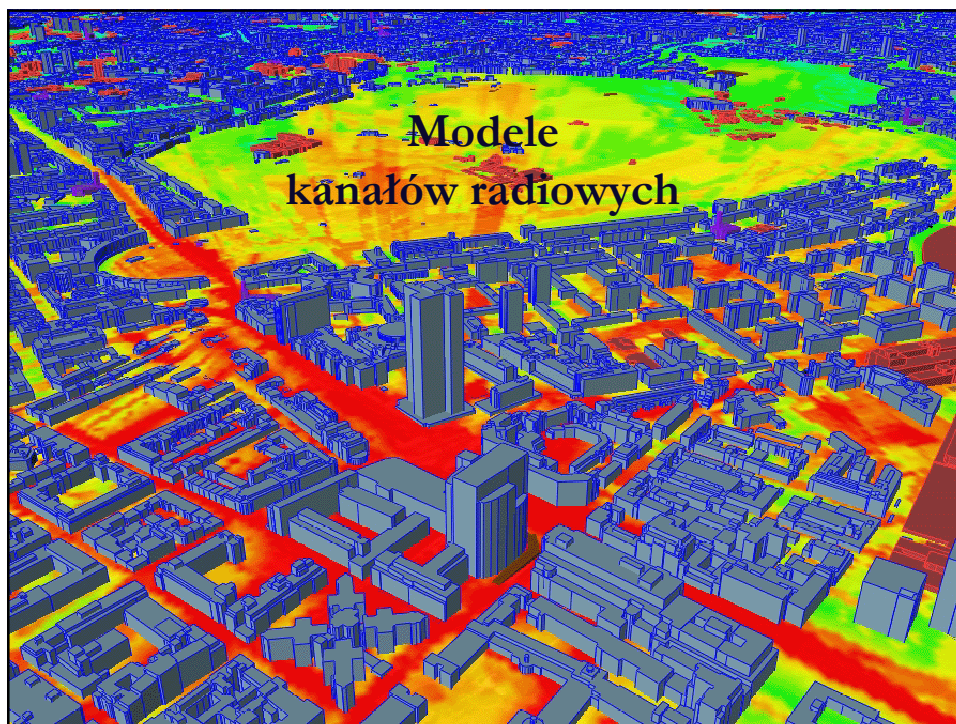
$R_c$  -> szybkość chipowa,  $R_b$  -> szybkość bitowa

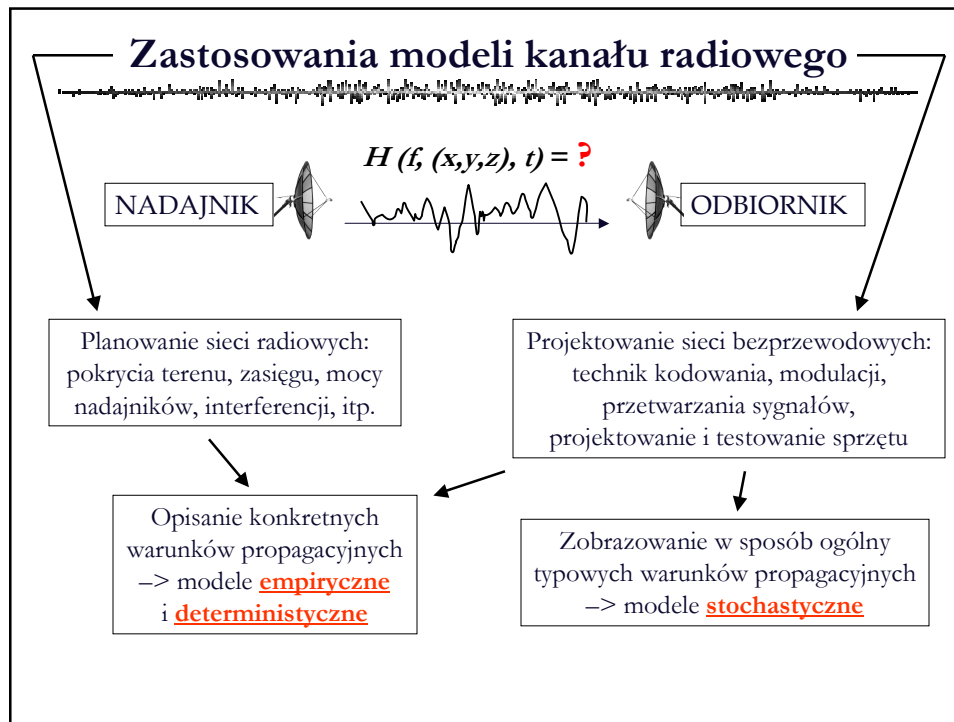


## Dodatkowe składowe bilansu w sieci UMTS

- *interference margin* -> margines mocy wymagany, aby skompensować interferencje pochodzące od innych użytkowników sieci, ściśle zależny od przewidywanego obciążenia komórki, np. dla 20% -> 1 dB, dla 50% -> 3 dB;
- *fading margin* -> kompensacja zaników wielodrogowych szybkich i wolnych;
- *body loss* -> zmniejszenie zysku energetycznego anteny terminala ruchomego wynikające ze absorpcji mocy sygnału przez ciało, a zwłaszcza głowę użytkownika, do 10 dB;
- *in-car loss* -> tłumienie w przypadku łączności z terminalem w samochodzie;
- *indoor loss* -> tłumienie w przypadku łączności z terminalem wewnątrz budynku;
- *processing gain* -> zysk wynikający z rozproszenia sygnału informacyjnego w szerokim paśmie:  $10 \log (R_c / R_b)$  dB,  
 $R_c$  -> szybkość chipowa,  $R_b$  -> szybkość bitowa;
- *soft handover gain* -> zysk wynikający z możliwości uniknięcia zaników wolnych dzięki przełączeniu się do sąsiedniej stacji bazowej;

H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications*, 2004

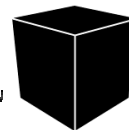




## Modele empiryczne

- oparte na pomiarach, danych eksperymentalnych
- pozwalają wyliczyć parametry kanału radiowego (np. tłumienie, *power delay profile*) na podstawie danych o środowisku propagacyjnym – długości trasy radiowej, średnich wysokościach anten, rodzaju zabudowania terenu, itp.
- przykłady modeli:
  - Okumura-Hata,
  - Walfish-Ikegami,
  - COST 231 (poprawione wersje dwóch poprzednich),
  - ITU-R M.1225

## Modele kanału radiowego dla GSM i UMTS



### Modele Okumury-Haty i COST 231-Hata

- modele empiryczne, bazujący na pomiarach wykonanych w okolicach Tokio jeszcze w latach 60-tych
- założenia: duże komórki, anteny stacji bazowych wzniesione wysoko ponad zabudowę terenu
- częstotliwości do 2 GHz

$$\text{Path Loss [dB]} = A + B \cdot \log(d) + C$$

$d$  -> odległość [w kilometrach]

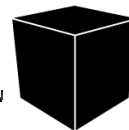
$A, B, C$  -> czynniki zależne od częstotliwości, wysokości, na której znajdują się anteny stacji bazowej i terminala ruchomego oraz środowiska propagacji (metropolitan areas, small and medium-size cities, suburban, rural environments)

### Przykład (dla niedużego miasta, $f < 1500$ MHz) :

$$\text{Path Loss [dB]} = 68.75 + 27.72 \cdot \log(f) - 13.82 \cdot \log(h_b) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \cdot \log(d) - [1.1 \log(f) - 0.7] \cdot h_m$$

$h_b, h_m$  -> wysokości anten stacji bazowej i terminala ruchomego [w metrach]

## Modele kanału radiowego dla GSM i UMTS



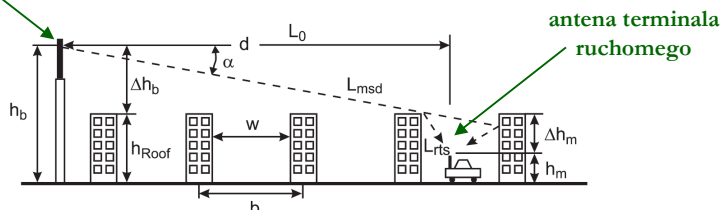
### Model COST 231-Walfish-Ikegami

- model empiryczny, odpowiedni dla małych komórek ( $d < 1$  km) w środowisku miejskim
- uwzględnienie rodzaju zabudowy: wysokości budynków i szerokości ulic
- analizowane zjawiska: propagacja w kanionach ulicznych, rozproszenie i załamanie fali radiowej na dachach budynków
- uwzględnienie wpływu częstotliwości (do 2 GHz) i wysokości anten

$$\text{Path Loss [dB]} = \text{funkcja}(f, d, h_b, h_m, w, b, \alpha, h_{\text{Roof}} \dots)$$

antena stacji bazowej

### Typowy scenariusz propagacyjny:



## Szerokopasmowy model ITU-R M.1225

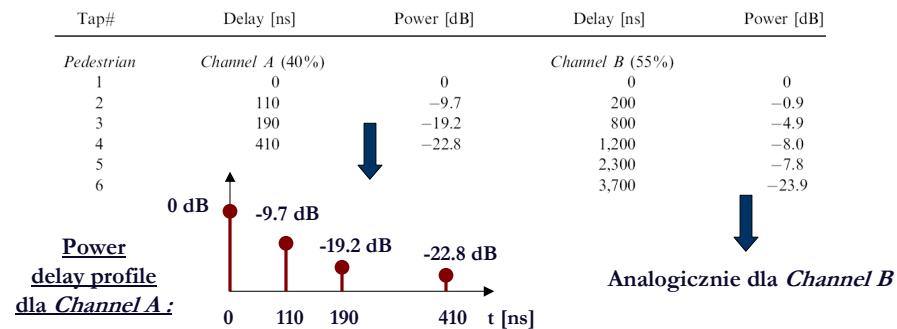


-> model empiryczny dla 3 środowisk propagacyjnych:

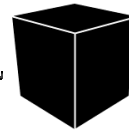
- **Indoor** (wewnątrz budynków)
- **Pedestrian** (abonenci piesi)
- **Vehicular** (abonenci w samochodach)

-> tłumienie trasy zależne od częstotliwości, długości trasy i wysokości anten

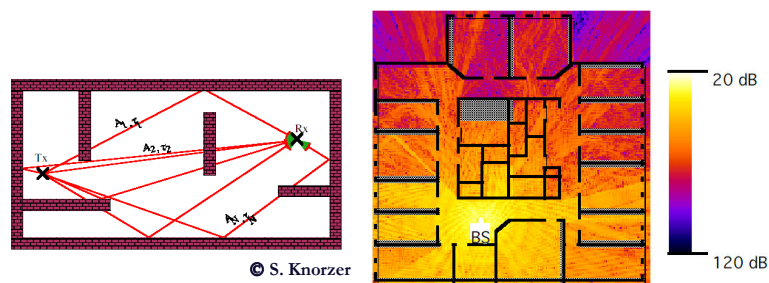
-> model szerokopasmowy, np. dla środowiska typu *Pedestrian*:



## Modele deterministyczne

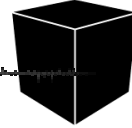


- powstałe na bazie symulacji i obliczeń numerycznych
- parametry kanału radiowego są obliczane na podstawie bardzo dokładnych danych geometrycznych o obiektach znajdujących się w otoczeniu nadajnika i odbiornika
- przykłady : *ray tracing*, *ray launching*, numeryczne rozwiązywanie równań Maxwella,



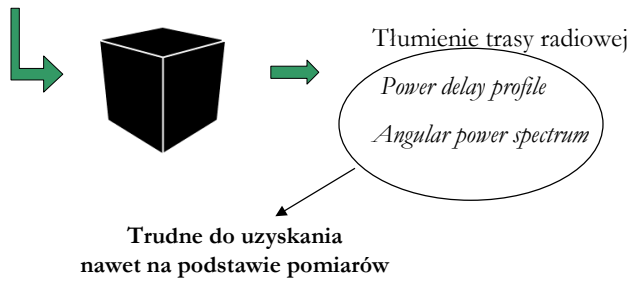


# Ray tracing

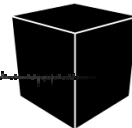


## Modele kanału radiowego ray tracing:

1. Obliczenia bazujące na zasadach optyki geometrycznej:
  - analiza możliwych dróg propagacji
  - uwzględnienie zjawisk odbicia, interferencji, dyfrakcji, załamania, przejścia fali radiowej przez różne media transmisyjne (powietrze, ściany i dachy budynków ...)
2. Bardzo szczegółowe mapy terenu



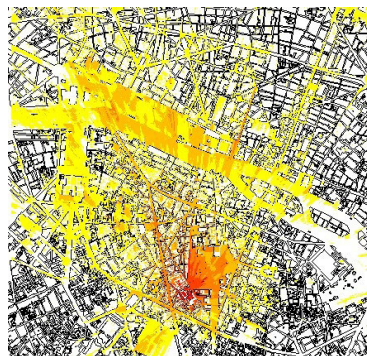
# Ray tracing - przykłady



## Zasięg stacji BTS :



Model Cost 231-Hata



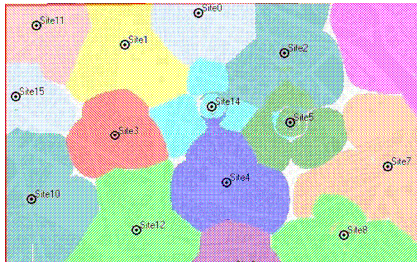
Obliczenia ray tracing

© Y. Lostanlen

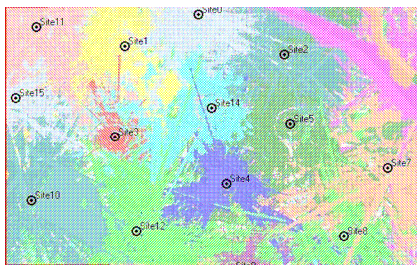
## Ray tracing - przykłady



Mapy wskazujące stację BTS o największej mocy :



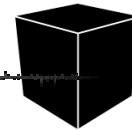
<- według modelu Okumury-Haty



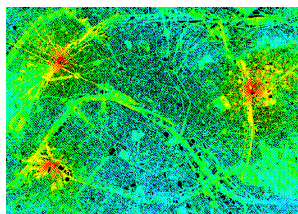
<- na bazie obliczeń ray tracing

© Y. Lostanlen

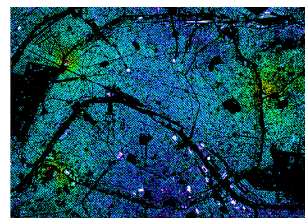
## Ray tracing - przykłady



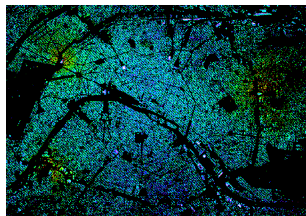
Poziom mocy odbieranego sygnału w sieci komórkowej  
uzyskany z obliczeń ray tracing :



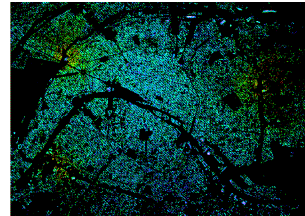
Na zewnątrz budynków



I piętro



III piętro



V piętro



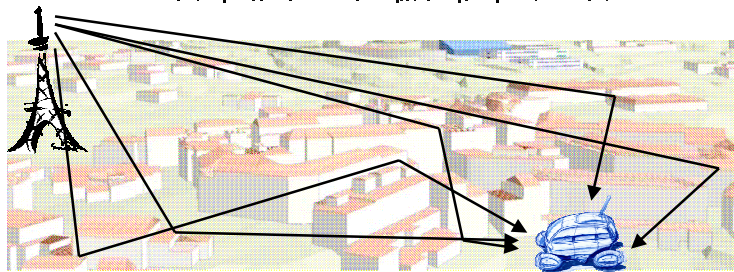
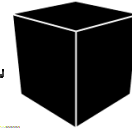
© Y. Lostanlen

## Modele stochastyczne



- parametry kanału radiowego są zmiennymi losowymi opisanymi przez rozkłady prawdopodobieństwa
- modele wykorzystywane przy analizie, projektowaniu i optymalizacji części składowych systemów telekomunikacyjnych
- powszechnie stosowane w symulacjach Monte-Carlo
- przykłady : modele Rayleigha, Rice'a

## Model Rayleigha

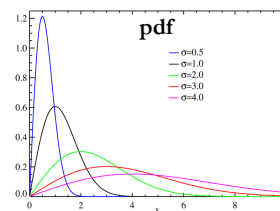


- propagacja wielodrogowa, duża liczba składowych transmitancji kanału radiowego
- warunki NLoS (brak składowej dominującej)
- amplituda:

$$R(x, \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \quad x > 0$$

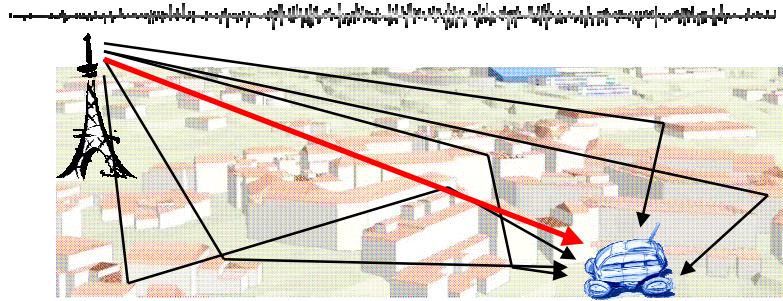
- przesunięcie fazowe dane rozkładem jednostajnym  $\varphi \in \langle 0^\circ, 360^\circ \rangle$
- zmienna losowa o rozkładzie Rayleigha powstaje z dwóch zmiennych o rozkładach normalnych:

$$R(x, \sigma) = \sqrt{N^2(0, \sigma) + N^2(0, \sigma)}$$



$$E(x) = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \quad D^2(x) = \sigma^2 \left(2 - \frac{\pi}{2}\right)$$

## Model Rice'a



- model Rayleigha + składowa dominująca, np. propagacja bezpośrednia LoS
- amplituda:

$$R(x, \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} \cdot \exp\left(-\frac{x^2 + A^2}{2\sigma^2}\right) \cdot I_0\left(\frac{Ax}{\sigma^2}\right), \quad x > 0, A > 0$$

- $A$  -> amplituda składowej dominującej
- $I_0$  -> zmodyfikowana funkcja Bessela pierwszego rodzaju, zerowego rzędu
- parametr  $K$  informuje o sile składowej dominującej:

$$K(\text{dB}) = 10 \log \frac{A^2}{2\sigma^2}$$

Dziękuję za uwagę