

Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej
i Zarządzania

KANAŁ ZIARNISTY MODELE MATEMATYCZNE

dr inż. Janusz DUDCZYK

ZAGADNIENIA

- Wprowadzenie, kompatybilność elektromagnetyczna;
 - Definicja sygnału radiokomunikacyjnego;
 - Współczesne ujęcie definicji zasięgowych;
 - Modele propagacyjne;
 - Ocena jakości sygnału użytecznego.
-

Cechy współczesnych emisji „elm”

Charakterystyka współczesnych systemów emisji radioelektronicznych:

- rozpraszanie sygnałów t , f ;
- wybór dogodnego kanału łączności / częstotliwości sondowania;
- automatyczna regulacja mocy nadajnika;
- adaptacyjne kształtowanie charakterystyki anten oraz elastyczne i bezinercyjne algorytmy skanowania przestrzeni;
- adaptacyjna filtracja zakłóceń;
- optymalne techniki odbiorcze;
- efektywne kodowanie informacji;
- utajnianie informacji.

Kompatybilność elektromagnetyczna

Ziemskie środowisko elektromagnetyczne:

1. Stałe pole magnetyczne na powierzchni Ziemi;
2. Magnetosfera Ziemi;
3. Pole elektryczne nad powierzchnią Ziemi;
4. Prąd elektryczny w atmosferze Ziemi;
5. Naturalne zjawiska elektromagnetyczne pochodzące z przestrzeni kosmicznej;
6. Promieniowanie elektromagnetyczne.

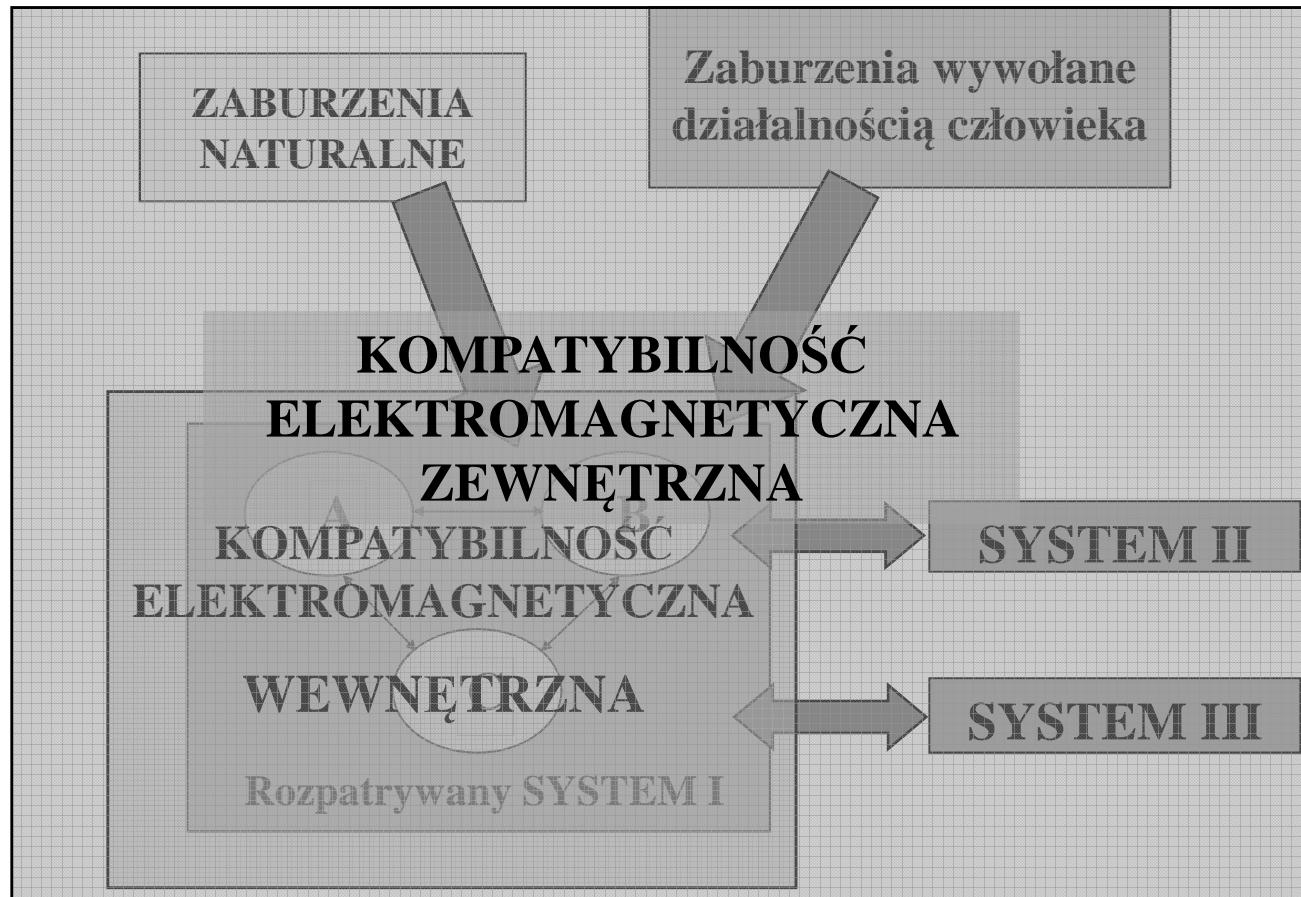
FLUKTUACJA POLA
TYCZNEGO

OKNA PROPAGACYJNE

Wzajemne oddziaływanie środowiska elektromagnetycznego i urządzenia

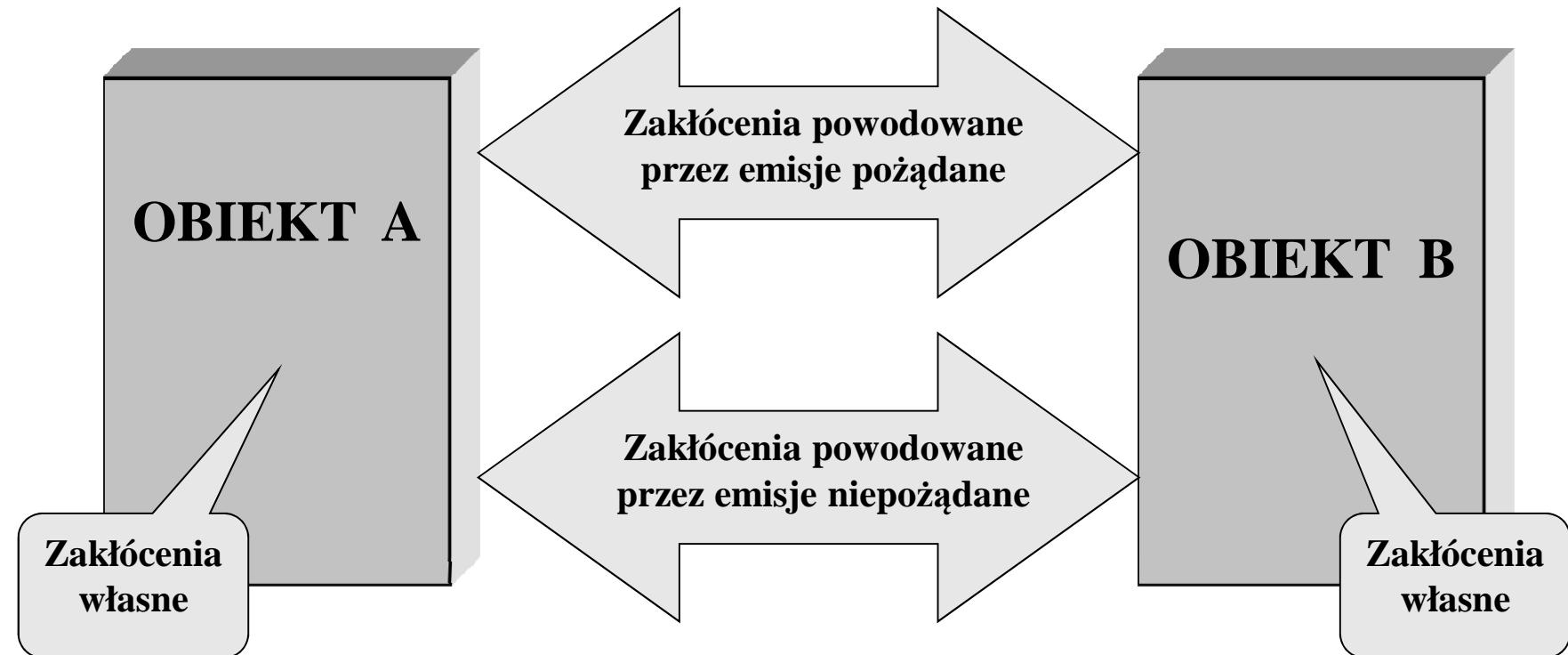
Wzajemne oddziaływanie urządzeń i systemów na siebie

Kompatybilność elektromagnetyczna



Relacje kompatybilnościowe pomiędzy urządzeniami pracującymi w obrębie pojedynczego systemu i pomiędzy niezależnymi systemami.

Kompatybilność elektromagnetyczna



Kompatybilność elektromagnetyczna

Współczesne środowisko charakteryzuje się dużym nasyceniem różnego rodzaju i przeznaczenia źródeł emisji elektromagnetycznej (ZE). Szacuje się, że na obszarze 1000 km^2 może znajdować się około 614 aktywnych urządzeń radioelektronicznych, z czego 495 pracuje w paśmie do 500 MHz, 6 w paśmie $0,5\text{÷}2 \text{ GHz}$, 14 w paśmie $2\text{÷}4 \text{ GHz}$, 42 w paśmie $8\text{÷}10 \text{ GHz}$ i 57 w paśmie $10\text{÷}40 \text{ GHz}$.

WZAJEMNE ODDZIAŁYWANIE

PRZENIAKNIE ENERGII - MECHANIZMY

CELE I ZADANIA EMC (ElectroMagnetic
Compatibility)

ZARZĄDZANIE WIDMEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Definicja sygnału radiokomunikacyjnego

Pojęcie sygnału (w szerokim sensie) – oznacza przebieg elektryczny niosący informację.

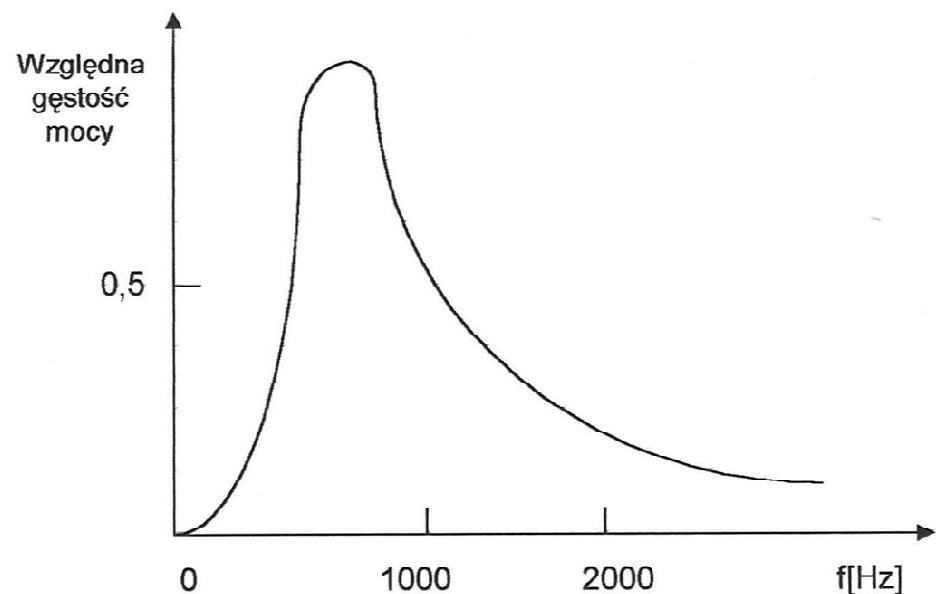
Przekształcenia w kanale radiowym:

1. Kodowanie;
2. Modulacja;
3. Transmisja w łączu radiokomunikacyjnym;
4. Demodulacja;
5. Dekodowanie.

Rezultatem ww. przekształceń są pewne sygnały, a każdy z nich będąc nośnikiem informacji może być traktowany jako sygnał radiokomunikacyjny.

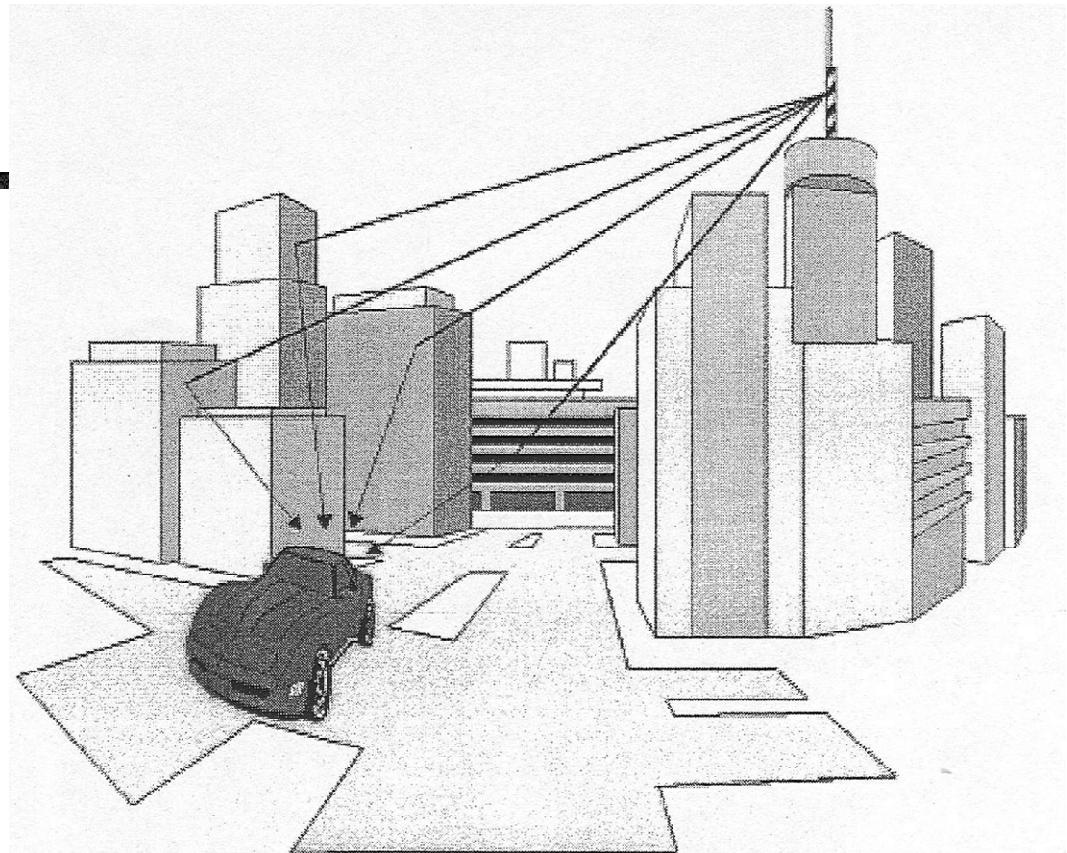
Definicja sygnału radiokomunikacyjnego

Najczęściej spotykanym w radiokomunikacji ruchomej lądowej rodzajem informacji pierwotnej jest mowa ludzka. Rozkład widmowy procesu losowego, stanowiącego zbiór typowych przebiegów mowy przedstawia poniższy rysunek.



1. Główna część energii zawarta w przedziale do 0,5 kHz;
2. Pasmo foniczne (ze względu na zrozumiałość) zawiera składowe do 3 kHz.

Propagacja



Fala radiowa dociera do odbiornika różnymi drogami co utrudnia odbiór informacji; podstawowe utrudnienia:

- zaniki sygnału
- nakładanie się sygnałów - tzw. interferencje międzysymbolowe
- radiotelefon jest w ruchu - efekt Dopplera; szczególnie w samochodzie.

Rodzaje zakłóceń

Efekty towarzyszące propagacji:

1. Szумy;
 2. Wielodrogowość;
 3. Dyfrakcja i rozproszenie;
 4. Efekt Dopplera;
 5. Refrakcja i interferencja.
-

Zakłócenia szumowe

Zakłócenia addytywne – w wyniku zamierzonych i niezamierzonych działań człowieka.

Zakłócenia addytywne:

1. Przemysłowe (w zakresie częstotliwości 0 Hz – kilkanaście MHz, poziom ich maleje ze wzrostem częstotliwości);
 2. Interferencyjne (urządzenia nadawcze innych systemów telekomunikacyjnych, wąskie widmo częstotliwości często ograniczone do jednego prążka);
-

Zakłócenia interferencyjne

Zakłócenia interferencyjne (sygnałowe) – ograniczone zasoby widmowe – zagadnienia EMC (ang. *ElectroMagnetic Compatibility*);

Analiza zakłóceń interferencyjnych:

- współczynnik ochronny „p” na wejściu odbiornika;
 - miara energetyczna odpowiadająca ilorazowi mocy.

$$\frac{P_0^{(S)}[W]}{P_0^{(I)}[W]} \Leftrightarrow P_0^{(S)}[dBW] - P_0^{(I)}[dBW]$$

Zakłócenia intermodulacyjne

Zakłócenia intermodulacyjne – tworzą dwa sygnały dodające się do siebie, których suma może znajdować się w paśmie sygnału użytecznego.

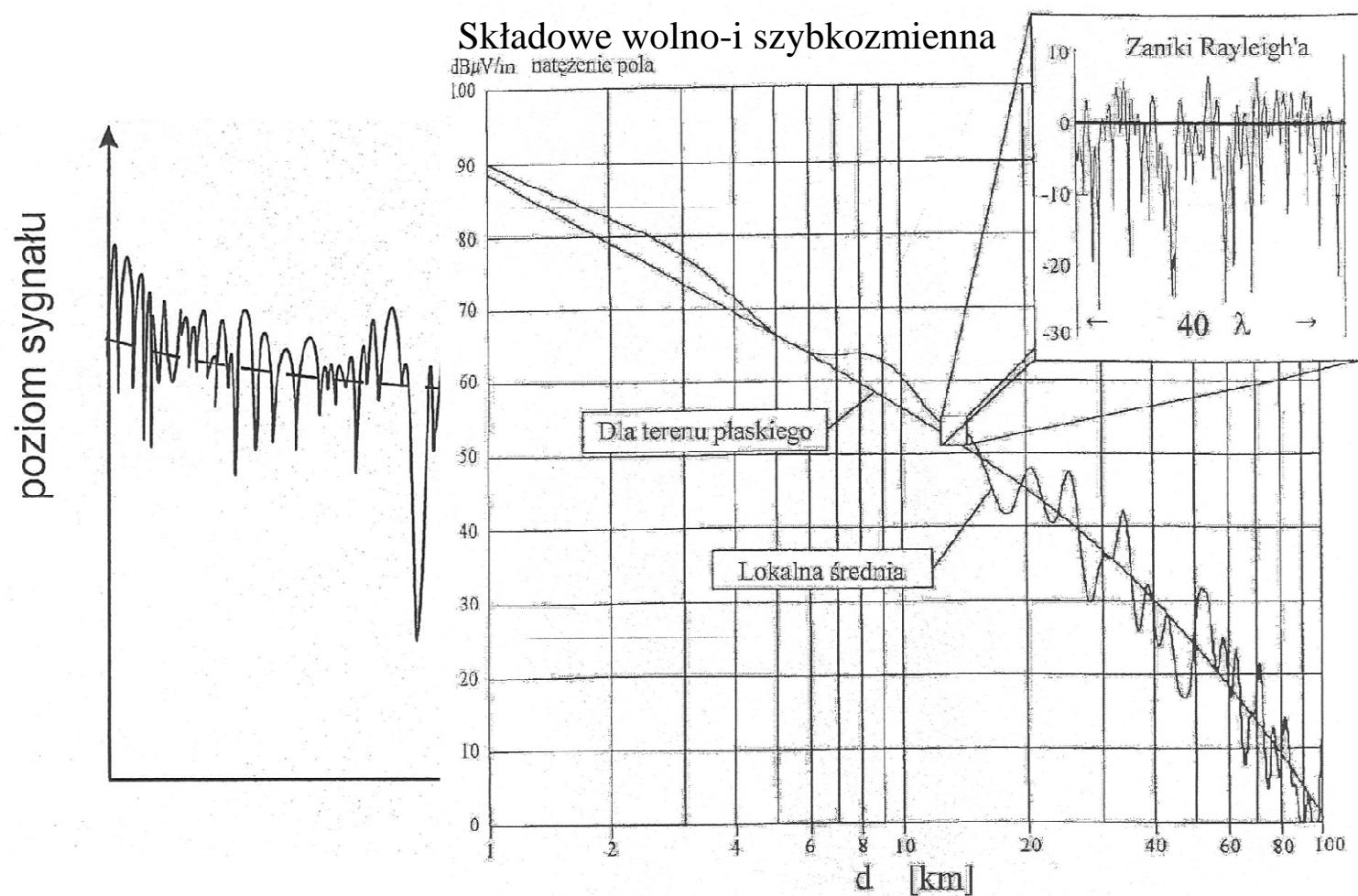
Przypadek trzeciej harmonicznej;

$$F_z = 2f_1 - f_2$$

Częstotliwość powstała z nałożenia dwóch sygnałów, współkanalowego z użytecznym

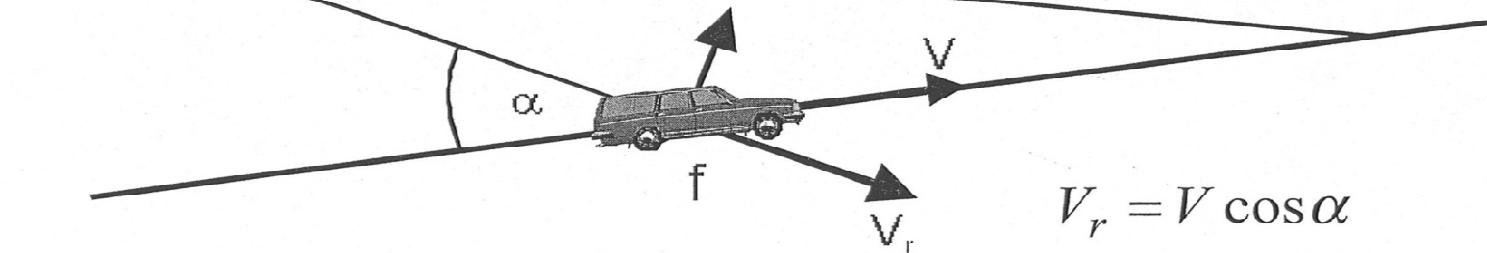
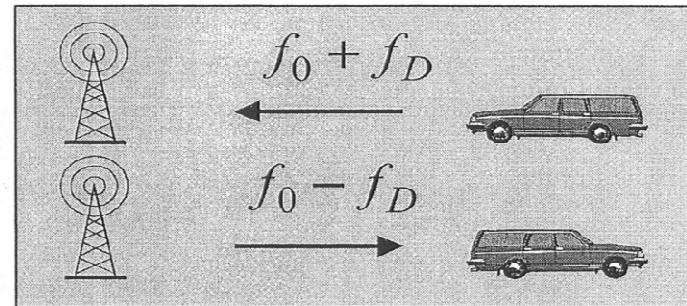
Częstotliwości sygnału zakłócającego

Efekt Dopplera, zakłócenia



Efekt Dopplera, zakłócenia

Efekt Dopplera



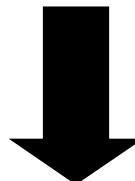
$$f = \frac{c - V_r}{\lambda} = \frac{c}{\lambda} - \frac{V \cos \alpha}{\lambda} = f_0 - \frac{V}{\lambda} \cos \alpha$$

Przesunięcie Dopplera:

$$f_D = \frac{V}{\lambda} \cos \alpha \quad \omega_D = 2\pi f_D = \beta V \cos \alpha$$

Definicja zasięgu

Obszar pracy systemu – stanowi obszar na którym transmisja danych odbywa się z jakością zgodną z wymaganiami, **zasięg użyteczny** stanowi zaś granicę obszaru gwarantowanej jakości sygnału.



Czułość odbiornika, zasięg nadajnika.

Czułość odbiornika – zdolność do odbioru słabych sygnałów w obecności zakłóceń, tzn. odtwarzanie na wyjściu odbiornika, przy odpowiednim poziomie sygnału na wejściu przebiegu informacyjnego o zadawalającej jakości.

Medianowy zasięg użytkowy

Definiowany elementarnie względem czułości szumowej odbiornika.

Zasięg użytkowy d_u jest równy odległości od nadajnika, przy której mediana mocy sygnału odebranego wynosi $P_{R\min}$.

$$L_p = \frac{d^4}{h_T^2 \cdot h_R^2} \quad d_U = \frac{P_R G_T G_R}{P_{R\min}} \cdot \frac{h_T^2 h_R^2}{\Delta L}$$

Najmniejsza moc sygnału odebranego,
dla uzyskania zadawalającego odbioru
w obecności zakłóceń szumowych.

d – odległość między anteną nadawczą i odbiorczą [m];

h_T, h_R – skorygowanie wzniesień anten nadawczej i odbiorczej [m];

$\Delta L \geq 1$ – współczynnik korekcji tłumienności trasy pozahoryzontalnej

P_R – moc sygnału na wyjściu odbiornika [W];

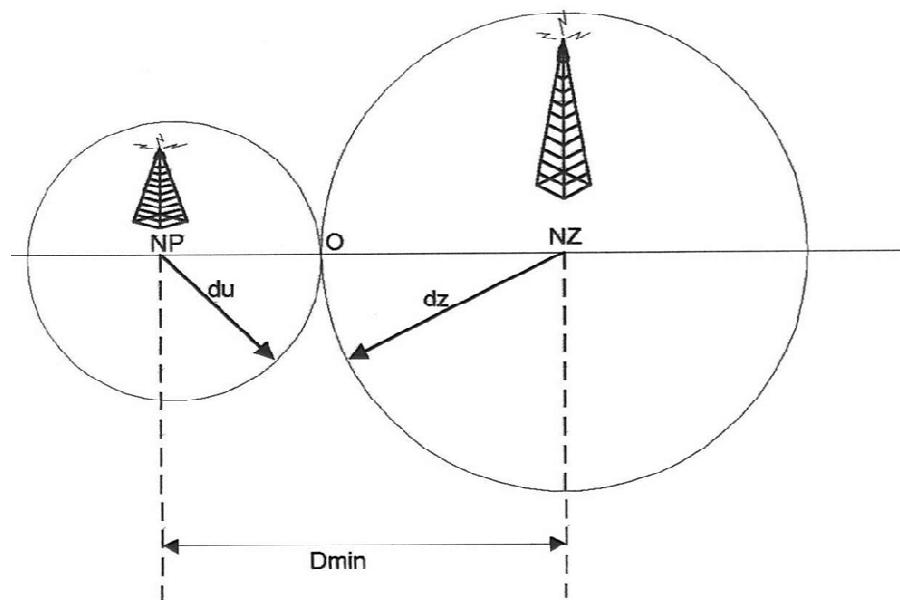
G_T – zysk anteny nadawczej względem anteny izotropowej [dB];

G_R – zysk anteny odbiorczej względem anteny izotropowej [dB];

Definicja zasięgu zakłóciennego

Zasięg zakłócienny nadajnika radiowego - jest definiowany jako największa odległość od nadajnika zakłócającego, poza którą odbiór najsłabszego sygnału pożądanej na poziomie P_{Rmin} jest prawie zawsze zadawalający.

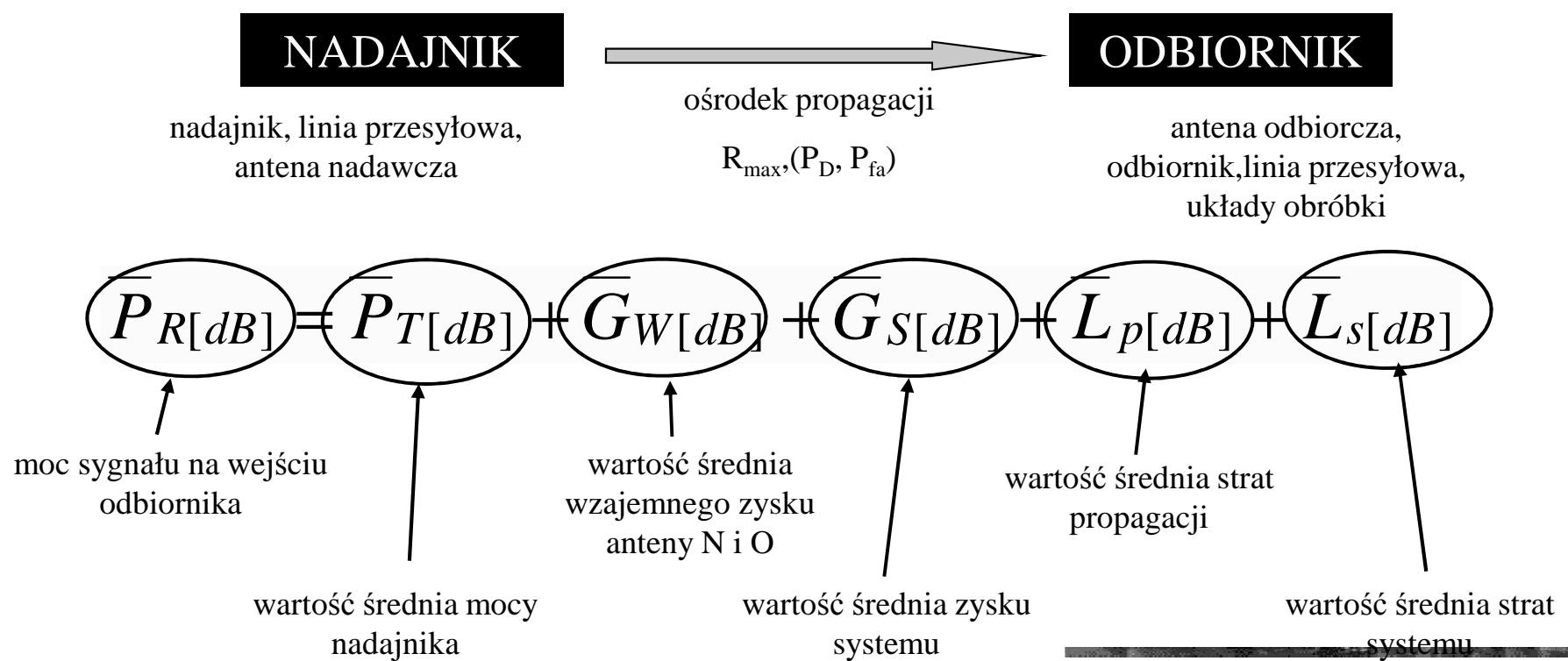
Zasięg zakłóciowy
to odległość od
nadajnika do punktu,
w którym zakłócający
sygnał odbierany ma
w ciągu ustalonego
procentu czasu
poziom co najmniej
 $P[dB]$ niższy od
poziomu
czułościowego danego
odbiornika.



Rys.2.3 Zasięg współkanałowy zakłóciennego. Nadajnik NP.(sygnału pożądanej) i NZ (sygnału zakłócającego), dopuszczalna odległość Dmin.

Jakość sygnału w miejscu odbioru

W zależności od zastosowanego modelu propagacyjnego uzyskuje się różny poziom sygnału użytecznego w miejscu odbioru.



Jakość sygnału w miejscu odbioru

Odległość między urządzeniami dla zadanego p-stwa detekcji P_D , oblicza się dla określenia max. zasięgu urządzenia, bądź dla dopuszczalnej (minimalnej) odległości powyżej której ich wzajemne zakłócenia są dopuszczone.

W obu przypadkach zakłada się:

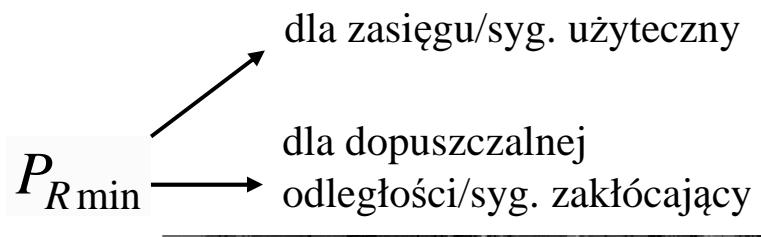
- wartość progową sygnału ($P_{R\min}$);
- p-stwo (p_x) przekroczenia progu przez sygnał użyteczny oraz zakłócający:

Dla zasięgu użytecznego: $p_x \geq 0,5$

$$p_x = P(P_R > P_{R\min})$$

Dla zasięgu zakłócającego: $p_x \in \langle 0,05 \div 0,95 \rangle$

$$p_x = \begin{cases} P(P_R^{(S)} > P_{R\min}^{(S)}) \geq 0,5 \\ P(P_R^{(I)} > P_{R\min}^{(I)}) \in (0,05 \div 0,95) \end{cases}$$



Procedura obliczania zasięgu

1. Założenie wstępne:

$$\text{ne: } \bar{P}_{R[dB]} = P_{R\min[dB]}$$

wartość średnia mocy
sygnału

wartość minimalnego,
wykrywalnego sygnału

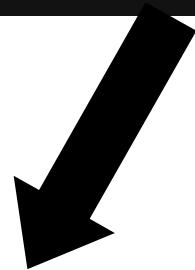
2. Obliczanie średniej wartości strat propagacji:

$$\bar{L}_{p[dB]} = -\bar{P}_T - \bar{G}_W - \bar{G}_S - \bar{L}_s + P_{R\min}$$

3. Z obliczoną wartością średnią strat propagacji związana jest odległość R_0 dla której jest określone (p_x) tego, że moc sygnału $P_{R[\text{dB}]}$ przekroczy wykrywalny sygnał $P_{R\min}$.

Współczesna definicja zasięgu – ujęcie probabilistyczne

Zasięg jest określony jako granica obszaru, na której określone kryterium jakości odbioru (w obecności określonych czynników) jest spełnione z określonym prawdopodobieństwem.



Zasięg bezinterferencyjny

(czynnik ograniczający – szумy, zakłócenia ze środowiska propagacji)



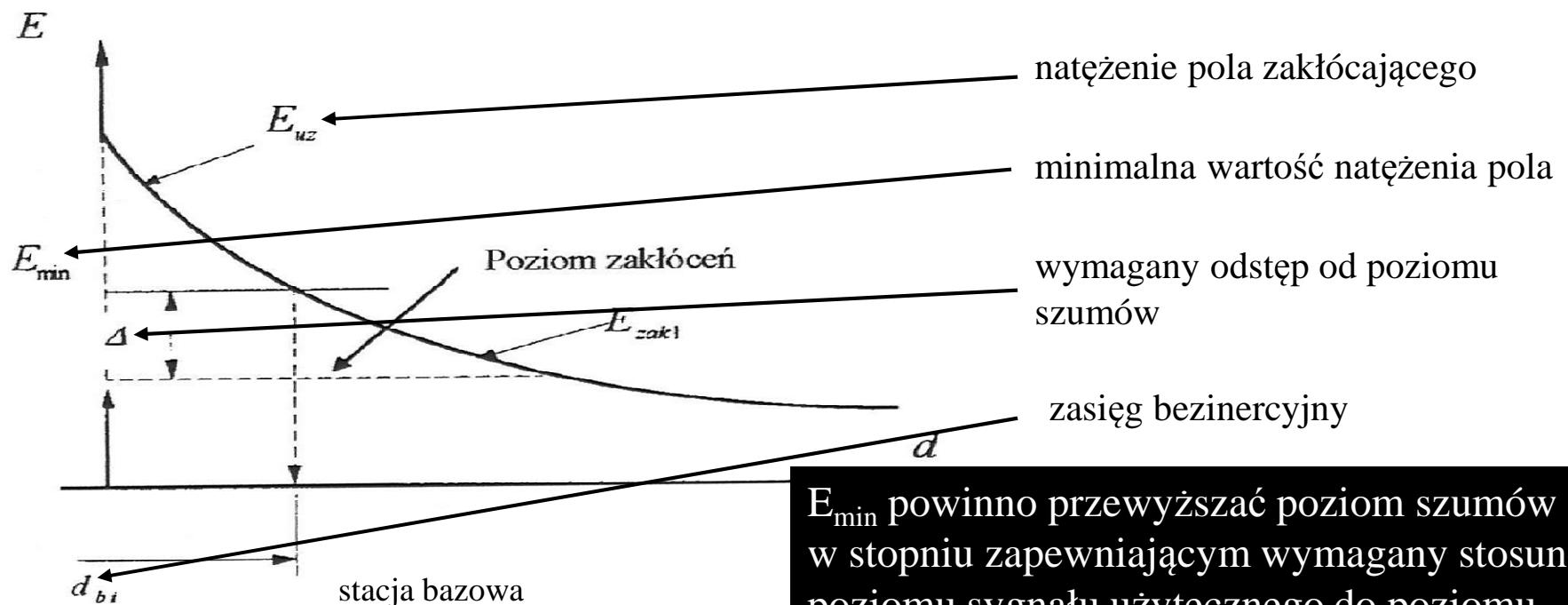
Zasięg interferencyjny

(czynnik ograniczający – interferencje sygnałów innych stacji)

Zasięg bezinterferencyjny

Czynnikiem ograniczającym są szумy i różnego rodzaju zakłócenia pochodzące ze środowiska propagacji, za wyjątkiem stacji innych systemów emitujących sygnały zakłócające.

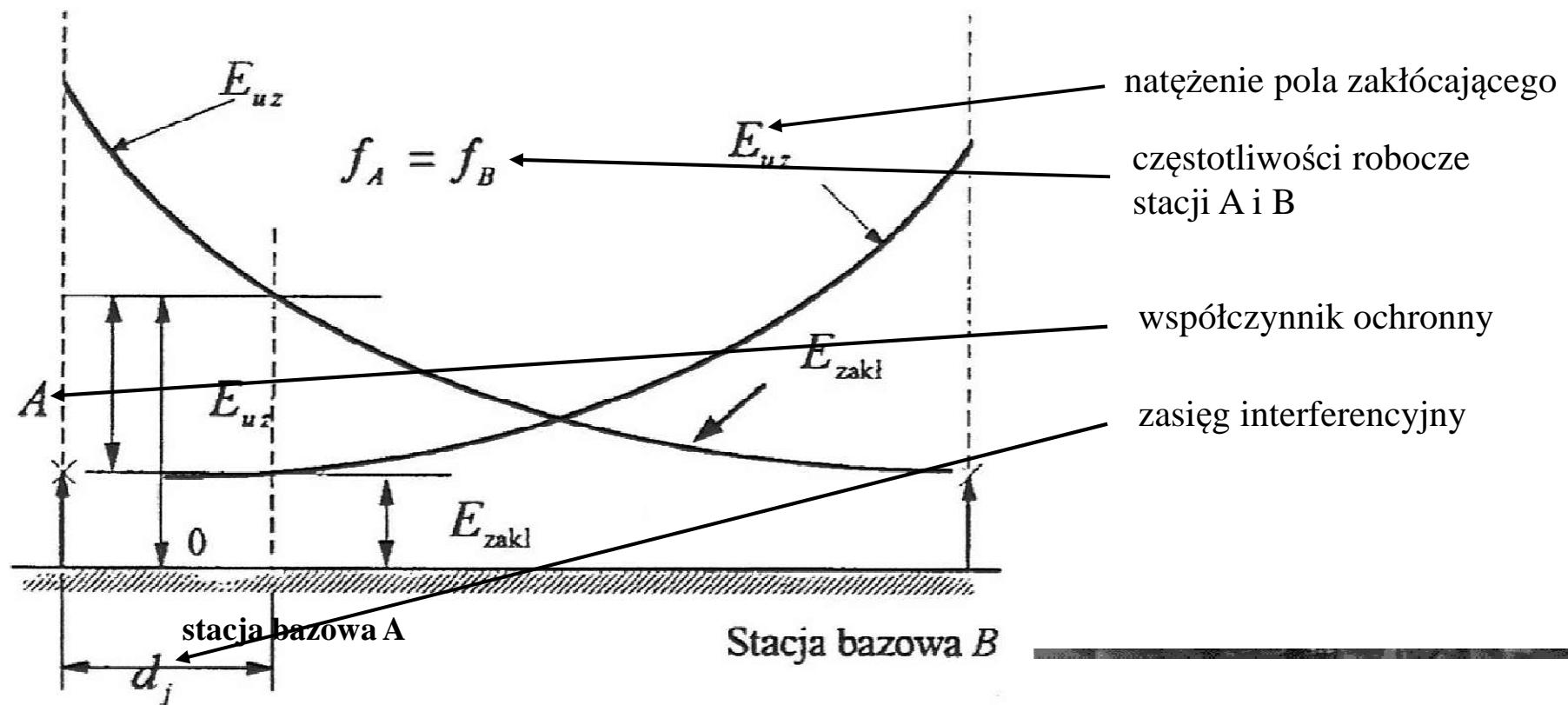
Zasięg stacji uzależniony jest od minimalnej wartości natężenia pola E_{\min} .



E_{\min} powinno przewyższać poziom szumów w stopniu zapewniającym wymagany stosunek poziomu sygnału użytecznego do poziomu szumów i zakłóceń.

Zasięg interferencyjny

Czynnikiem ograniczającym są interferencje spowodowane sygnałami innych stacji; (stacje własnego systemu, stacje innych systemów).



Zasięg interferencyjny

Współczynnik ochronny – stanowi minimalną wartość stosunku wartości natężenia pola użytecznego do natężenia pola zakłócającego, która zapewnia wymaganą w systemie jakość transmisji.

Wypadkowe prawdopodobieństwo przestrzenne dobrego odbioru, przy uwzględnieniu jednoczesnego oddziaływania wszystkich stacji zakłócających, określa zależność:

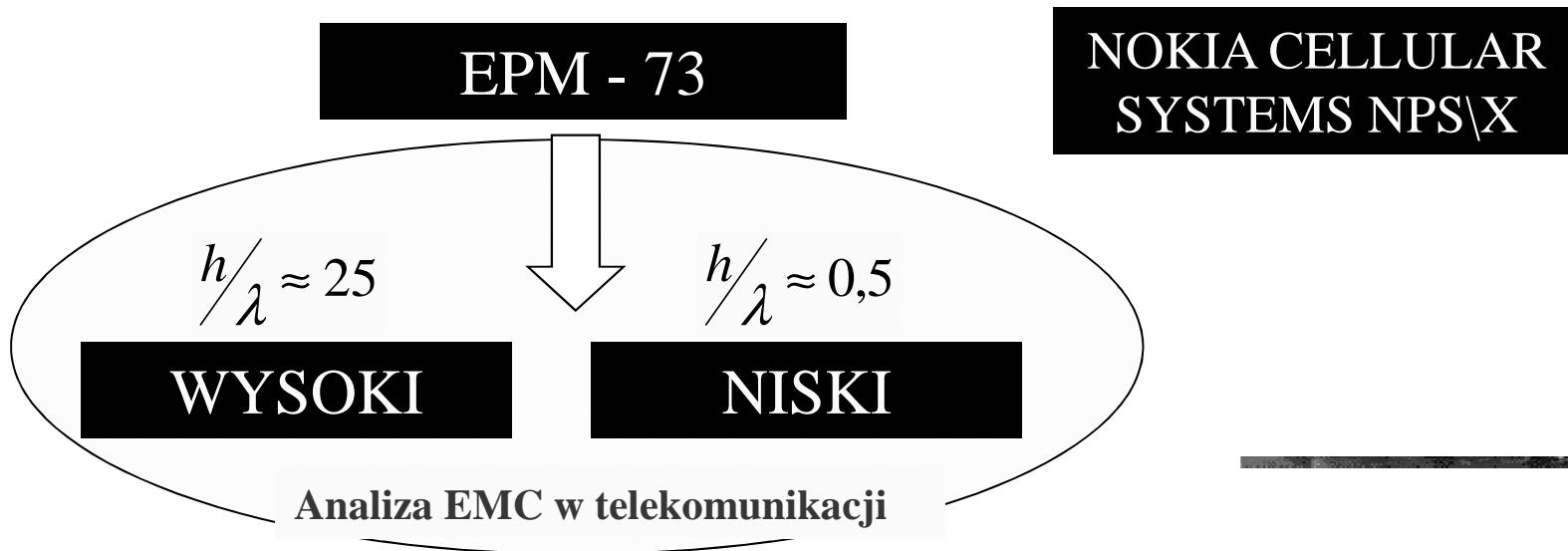
$$P_{\text{wyp}} = \prod_i P_i$$

Wartość prawdopodobieństwa przestrzennego (kolejno dla wszystkich sygnałów zakłócających).

Modele propagacyjne

Model propagacyjny – narzędzie w projektowaniu sieci radiokomunikacji ruchomej lądowej, przy analizie warunków propagacji w celu optymalizacji obszarów pracy źródeł emisji elektromagnetycznej, spełnienia warunków jakości transmisji i kompatybilności elektromagnetycznej.

MODELE PROPAGACYJNE



EMP - 73

Empiryczny model propagacyjny:

1. Dla terenu otwartego o powierzchni lekko pofałdowanej;
2. Zakres stosowalności 1MHz ÷ 10 GHz;
3. Odległość – kilkaset [m], wysokość zawieszenia anten 3000 [m];



ZEMP

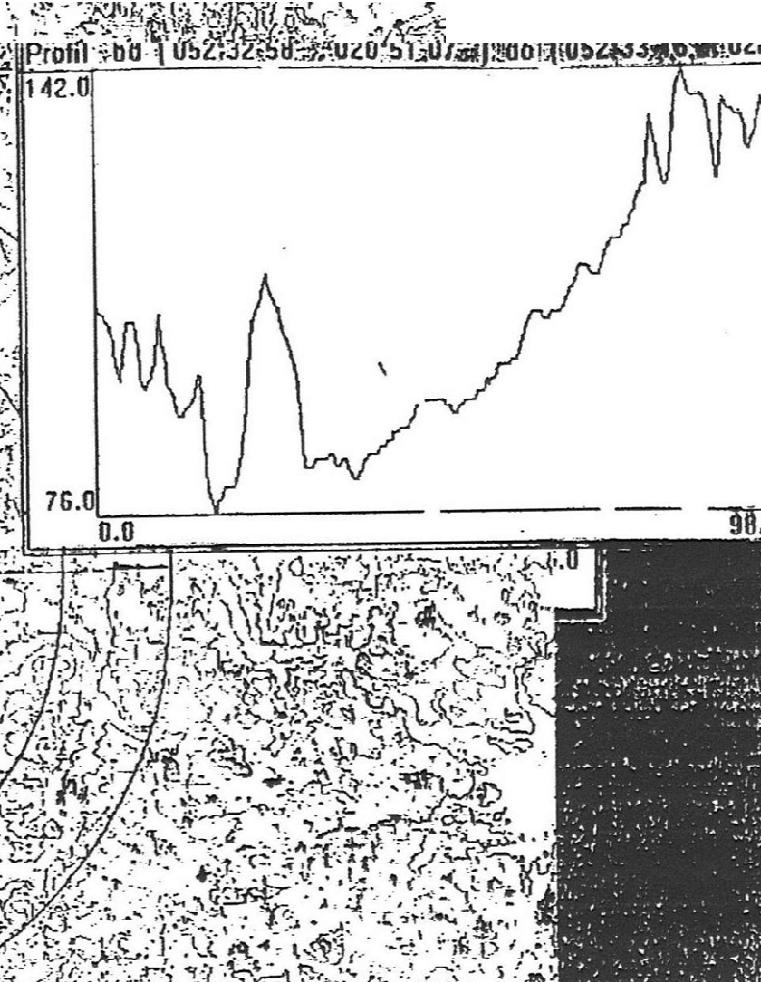
(Zmodyfikowany Empiryczny Model Propagacyjny)

- wprowadzenie parametru „ Δh ” – informacja o rzeźbie terenu wokół anteny nadawczej i odbiorczej.

EMP-73 / ZEMP

„rozkład strat propagacji „

Współrzędne topograficzne stacji
szczokość = Współrzędne topograficzne stacji
długość = szerokość = 58245450
Poziomy mo długosc = 1496.600
Poziom 1 = Poziomy mocy [dB] prawdopodobieństwo Px = 0.0500
Poziom 2 = Poziom 1 + 10.0
Poziom 3 = Poziom 1 + 20.0
Poziom 4 = Poziom 1 + 30.0
Poziom 5 = Poziom 1 + 40.0
Poziom 5 = 180.0



Rozkład strat propagacji bez uwzględnienia profilu terenu.

ZEMP

Przewyższenie terenu w stosunku do anteny:
Stosowany dla terenu otwartego.

$$h_T = \begin{cases} h_T + \Delta h_T \\ h_T - \Delta h_T \end{cases}$$

Uwzględnia:

1. Straty propagacji dla obszaru interferencji;
2. Straty propagacji w obszarze dyfrakcji.

Straty propagacji – są definiowane jako straty w energii sygnału między dwoma izotropowymi antenami dla określonych ich wysokości nad ziemią i odległości. Stanowią funkcję parametrów zależnych od czasu (wilgotność, stan roślinności, temperatura, wysokość) oraz parametrów niezależnych od czasu (nierównomierność terenu, zabudowa, wysokość zawieszenia anten).

Modele miejskie

1. Okumury – Hata (makro)
2. Juul – Nyholm (makro)
3. COST 231 (Walfish – Ikegami&Bertoni), (mikro)
4. Ibrahim – Parson (londyński), (mikro).

Służą do analizy jakości w radiokomunikacji ruchomej lądowej.
Umożliwiają wyznaczanie następujących parametrów:

- pokrycie radiostacji bazowej;
 - zasięg dla poszczególnych kierunków;
 - łączność;
 - wzajemnych zakłóceń w sieci;
 - straty propagacji w radiokomunikacji ruchomej.
-

Model Okumury - Hata

Zbadany w okolicach Tokio w zakresie 200-2000 MHz, a następnie rozszerzony na zakres 100-3000 MHz.

Tłumienność trasy:

$$L_{[dB]} = L_{F[dB]} + A_{mu} - H(h_{Ne}) - H(h_{Oe}) - T$$

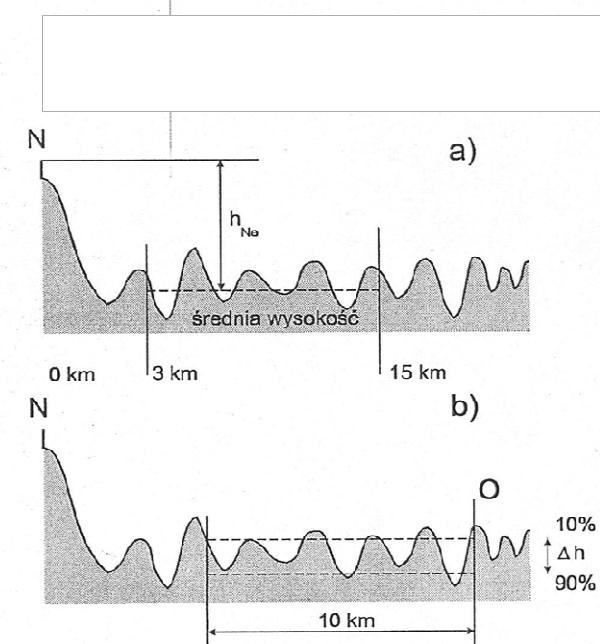
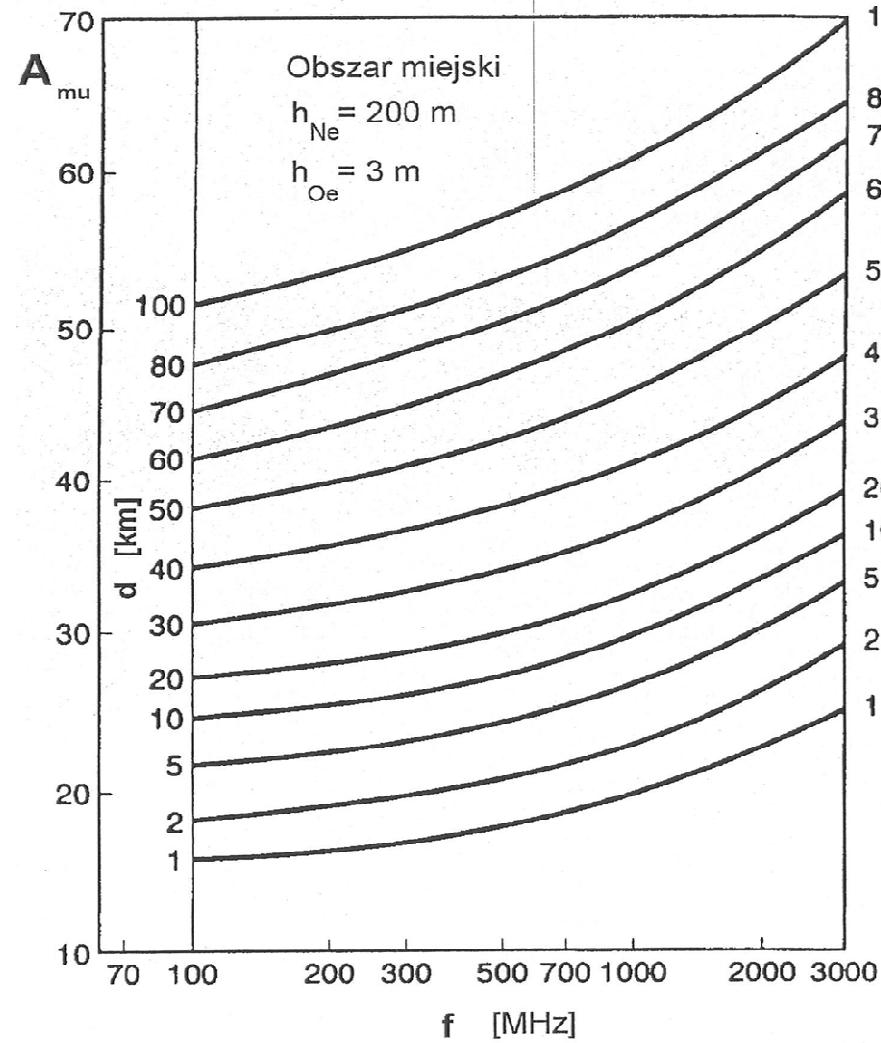
$$L_{F[db]} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad \text{Tłumienie wolnej przestrzeni}$$

A_{mu} - medianowa wartość tłumienia trasy, dla słabo pofałdowanego terenu ($\Delta h \leq 20$ m) i wysokości zamocowania anten $h_{Ne} = 200$ m, $h_{Oe} = 3$ m. **Odczytuje się z wykresu.**

Zakres stosowania:

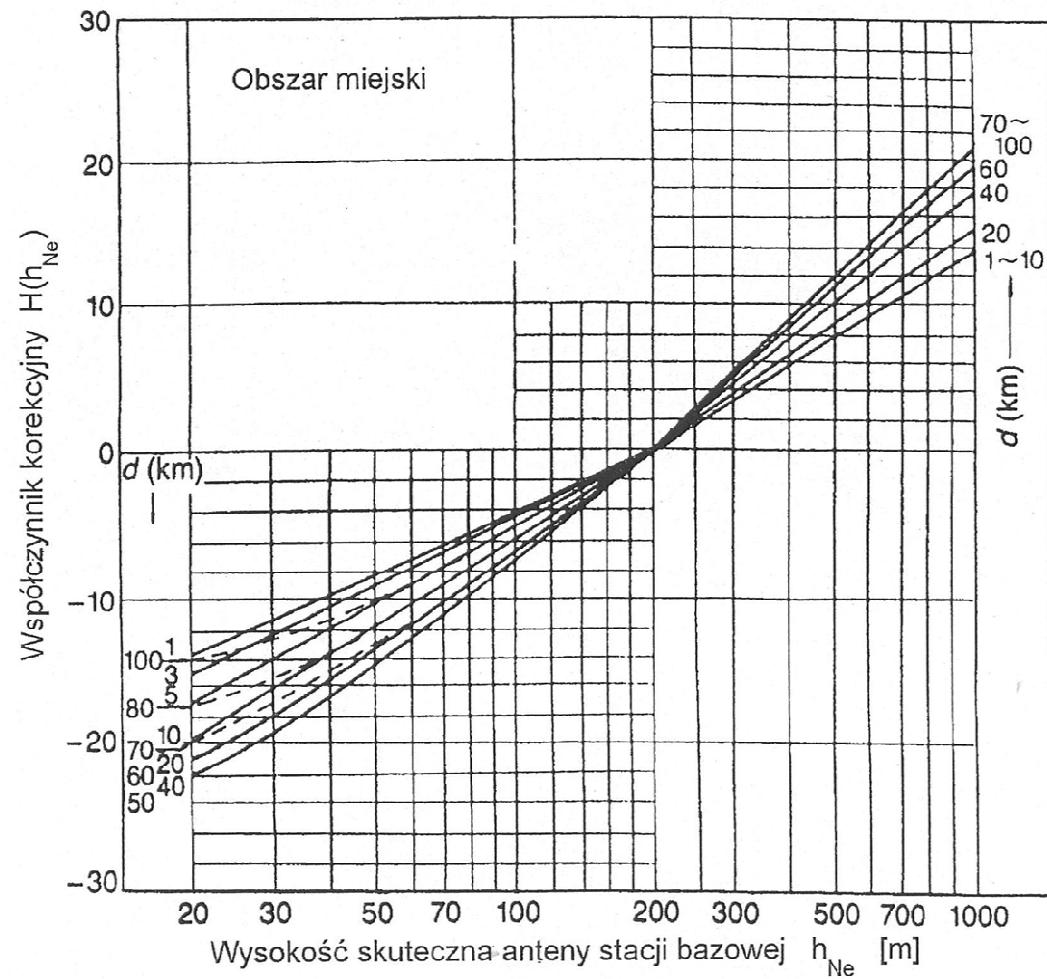
- 150 - 3000 MHz
- 1 - 100 km

Model Okumury - Hata



Współczynnik A_{μ}
i objaśnienie opisu terenu

Korekta Hata



Współczynnik korekcyjny dla
anteny stacji bazowej $H(h_{Ne})$

Wykres lub wzór przybliżony:

$$H(h_{Ne}) = 20 \log\left(\frac{h_{Ne}[m]}{200}\right)$$

$$10 < h_{Ne} < 1000 \text{ m}$$

Model Okumury - Hata

Obs

Obszary podmiejskie:

$$L_{P[dB]} = L - 2 \left(\log \frac{f_{[MHz]}}{28} \right)^2 - 5,4$$

L - tłumienie obliczone dla obszarów miejskich

dla

Obszary wiejskie (otwarte):

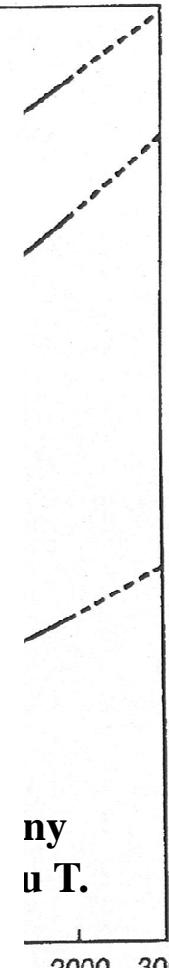
$$L_{O[dB]} = L - 4,78 \left(\log f_{[MHz]} \right)^2 + 18,33 \log f_{[MHz]} - 40,94$$

dla

Zakresy stosowalności:

f	150 - 1500	MHz
h_o	1 - 10	m
h_N	30 -200	m
d	1 - 20	km

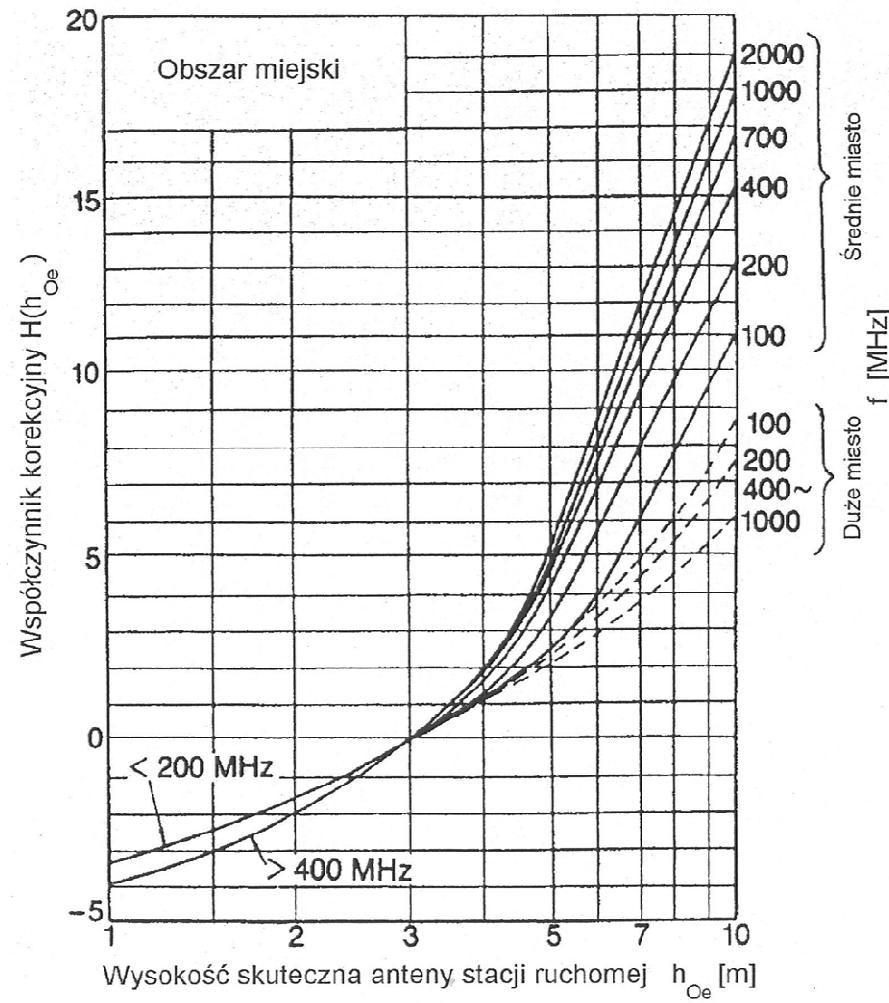
35
E



ny
u T.

2000 3000

Korekta Hata

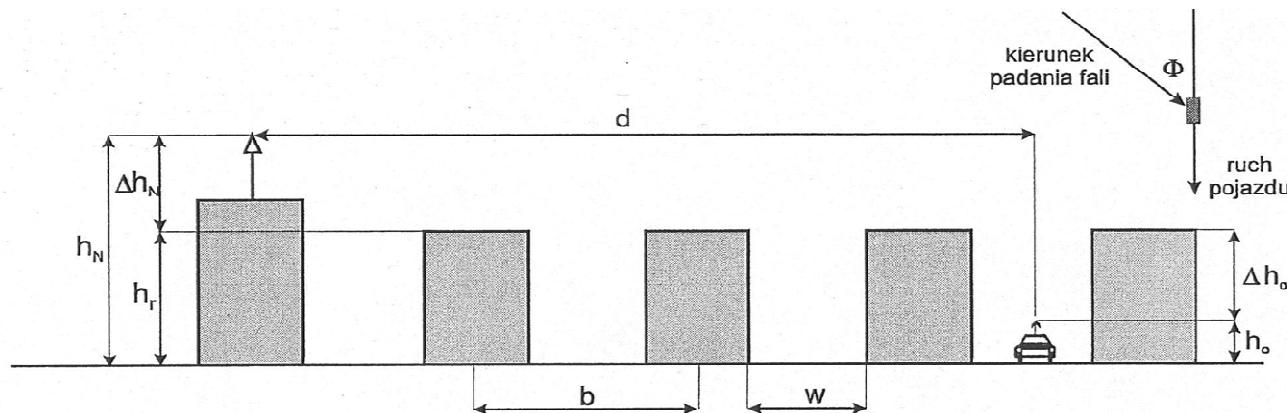


Współczynnik korekcyjny dla
anteny stacji ruchomej $H(h_{Oe})$

Wykres lub wzór przybliżony:

$$H(h_{Oe}) = \begin{cases} 10 \log\left(\frac{h_{Oe}[m]}{3}\right) & h_{Oe} \leq 3[m] \\ 20 \log\left(\frac{h_{Oe}[m]}{3}\right) & 3 < h_{Oe} < 10[m] \end{cases}$$

COST 231 (Walfish-Ikegami&Bertoni)



Tłumienność trasy przy bezpośredniej widoczności ($d \geq 20$ m):

$$L_{[dB]} = 42,6 + 26 \log d_{[km]} + 20 \log f_{[MHz]}$$

Dla tras zakrytych:

$$L_{[dB]} = \begin{cases} L_o + L_{rts} + L_{ms} & \text{dla } L_{rts} + L_{ms} \geq 0 \\ L_o & \text{dla } L_{rts} + L_{ms} < 0 \end{cases}$$

L_o

- opisuje tłumienie wolnej przestrzeni

L_{ms}

- uwzględnia wielokrotną dyfrakcję powodowaną przez budynki na trasie propagacji

L_{rts}

- uwzględnia dyfrakcję i rozpraszanie na krawędziach dachów

COST 231 (Walfish-Ikegami&Bertoni)

$$L_o = 32,4 + 20 \log d_{[km]} + 20 \log f_{[MHz]}$$

$$L_{rts} = -16,9 - 10 \log w_{[m]} + 10 \log f_{[MHz]} + 20 \log \Delta h_{o[m]} + L_{or}$$

$$L_{or} = \begin{cases} -10 + 0,354\Phi & 0 \leq \Phi \leq 35^o \\ 2,5 + 0,075(\Phi - 35) & 35 \leq \Phi \leq 55^o \\ 4,0 - 0,114(\Phi - 55) & 55 \leq \Phi \leq 90^o \end{cases} \quad \left| \quad L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log(1 + \Delta h_{N[m]}) & h_N > h_r \\ 0 & h_N \leq h_r \end{cases} \right.$$

$$L_{ms} = L_{bsh} + k_a + k_d \log d_{[km]} + k_f \log f_{[MHz]} - 9 \log b_{[m]}$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & h_N > h_r \\ 54 - 0,8\Delta h_{N[m]} & d_{[km]} > 0,5 \text{ i } h_N < h_r \\ 54 - 1,6\Delta h_{N[m]}d_{[km]} & d_{[km]} < 0,5 \text{ i } h_N \leq h_r \end{cases} \quad \left| \quad \begin{array}{ll} \Delta h_o = h_r - h_o & \\ \Delta h_N = h_N - h_r & \end{array} \right.$$

COST 231 (Walfish-Ikegami&Bertoni)

$$k_d = \begin{cases} 18 & h_N > h_r \\ 18 - 15 \frac{\Delta h_N}{h_r} & h_N \leq h_r \end{cases} \quad \left| \quad k_f = \begin{cases} -4 + 0,7 \left(\frac{f_{[MHz]}}{925} - 1 \right) & \text{małe miasta i obszary podmiejskie} \\ -4 + 1,5 \left(\frac{f_{[MHz]}}{925} - 1 \right) & \text{obszary wielkomiejskie} \end{cases} \right.$$

Jeżeli nie znane są dane dotyczące zabudowy, zaleca się przyjęcie wartości:

$$b = 20 \div 50 \text{ m}$$

$$w = b/2$$

$$\Phi = 90^\circ$$

$$h_r = 3 \times \text{liczba pięter} + \text{dach} \quad [\text{m}],$$

przy czym: dach = 3 m dla dachu stromego i 0 m dla dachu płaskiego.

Zakres stosowalności wzorów Walfisha - Ikegamiego:

$$800 \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$$

$$4 \leq h_N \leq 50 \text{ m}$$

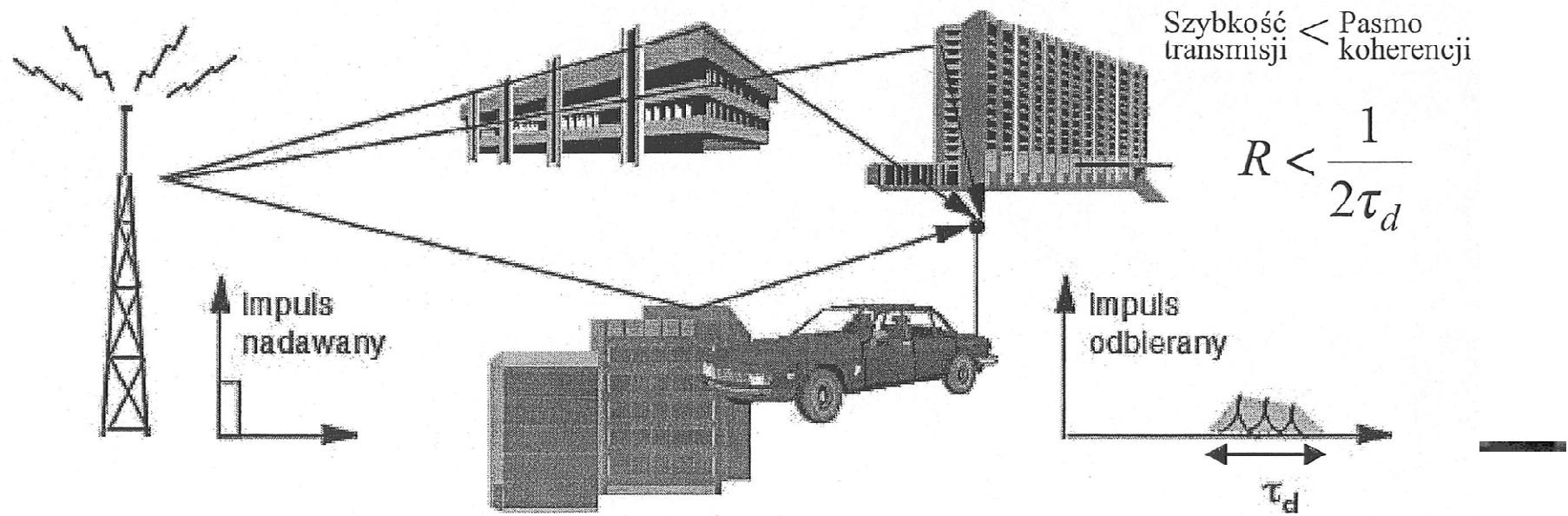
$$1 \leq h_o \leq 3 \text{ m}$$

$$0,02 \leq d \leq 5 \text{ km}$$

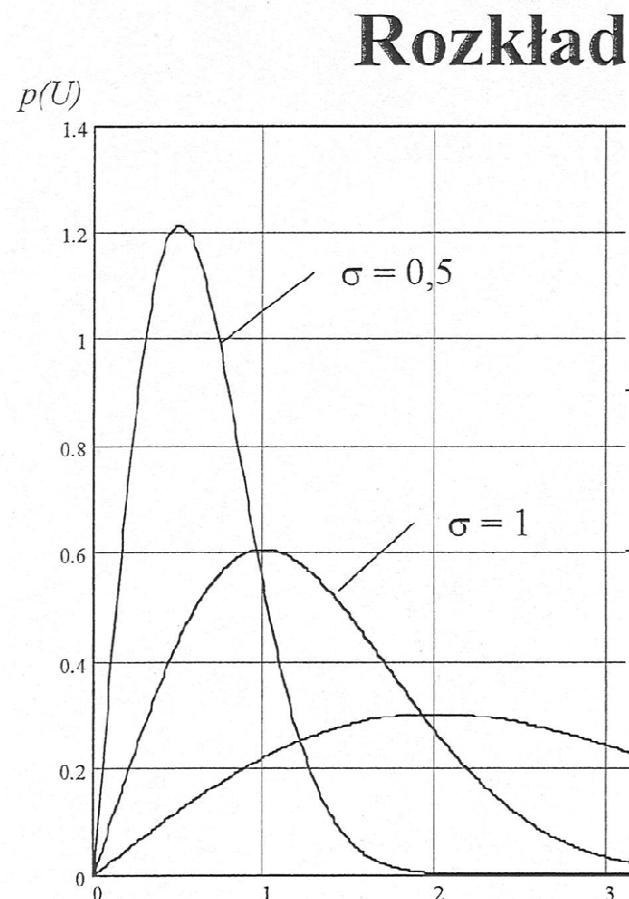
Propagacja wielodrogowa

rozkład opóźnień (*delay spread*)

- Sygnał dociera do odbiornika wieloma drogami o różnym czasie propagacji
- Rozciagnięcie/rozmycie sygnału może powodować interferencje międzysymbolowe, co ogranicza maksymalną szybkość transmisji
- Typowe wartości τ_d [μs]: teren otwarty $< 0,2$, podmiejski = 0,5, miejski = 3



Rozkład Rayleigh'a



$$p(U) = \frac{U}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{U^2}{2\sigma^2}\right) \quad U \geq 0$$

Wartość oczekiwana:

$$E[U] = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}$$

Drugi moment:

$$E[U^2] = 2\sigma^2$$

Dystrybuanta:

$$P(U \leq A) = 1 - \exp\left(-\frac{A^2}{2\sigma^2}\right)$$

Mediana U_M

$$U_M = \sigma \sqrt{2 \ln 2}$$

$$P(U \leq U_M) = 0,5$$

$\Psi - \Delta$

Kryteria jakości sygnału

Ustalenie spójnych kryteriów jakości odbieranych sygnałów i efektywne określenie zasięgów łączności ograniczonych jakością transmisji w systemach radiokomunikacyjnych jest zagadnieniem skomplikowanym. Spośród wielu stosowanych obecnie miar jakości sygnału, najbardziej użytecznymi są:

1. wskaźnik (indeks artykulacji);
 2. stosunek mocy sygnału do mocy szumów na wyjściu odbiornika;
 3. próg jakości sygnału (współczynnik ochronny);
 4. p-stwo elementowej stopy błędu dla systemów cyfrowych.
-

Wskaźnik artykulacji (ang. Articulation Score)

- miara wykorzystywana do oceny sygnału użytecznego w obecności zakłóceń w systemach radiokomunikacyjnych. Charakteryzuje stopień zrozumienia mowy i określa procent prawidłowo odebranych słów od ich ogólnej liczby w nadanym tekście. Liczba odebranych prawidłowo słów w badanym systemie zmienia się w sposób zależny od rodzaju i poziomu zakłóceń. Jest ona wyrażona w procentach, które określają wskaźnik artykulacji w danych warunkach. W wyniku eksperymentów otrzymuje się zależność między wskaźnikiem artykulacji i stosunkiem sygnału do zakłócenia (S/I) dla rozpatrywanych kombinacji sygnału użytecznego do zakłócającego.
-

Indeks artykulacji

(ang. *Articulation Index*)

- jest miarą maskującego oddziaływania szumu lub szumu i zakłócenia na zrozumiałość mowy. Procedura określenia indeksu artykulacji jest następująca:

dzieli się pasmo akustyczne na przedziały ważone w częstotliwości tak, by każdy z nich dawał jednakowy wkład do zrozumiałości mowy;

dla każdego przedziału częstotliwości określa się stosunek sygnału do sumy szumu i zakłócenia;

określa się stopień wkładu składowych każdego przedziału częstotliwości do wypadkowej wartości indeksu artykulacji z uwzględnieniem wartości w przedziale.

Indeks artykulacji

(ang. *Articulation Index*)

Przyjmuje się, że:

- jeśli w przedziale częstotliwości, $S/(I + N) > +18dB$ to wkład składowych na tych częstotliwościach do zrozumiałości mowy jest maksymalny;
- jeśli, $S/(I + N) < -12dB$ to wkład tych składowych na zrozumiałość mowy nie występuje;
- jeśli, $-12dB < S/(I + N) < +18dB$ to wkład składowych przedziałów częstotliwości do zrozumiałości mowy określa się, stosując liniową interpolację między skrajnymi punktami.

Indeks artykulacji

(ang. *Articulation Index*)

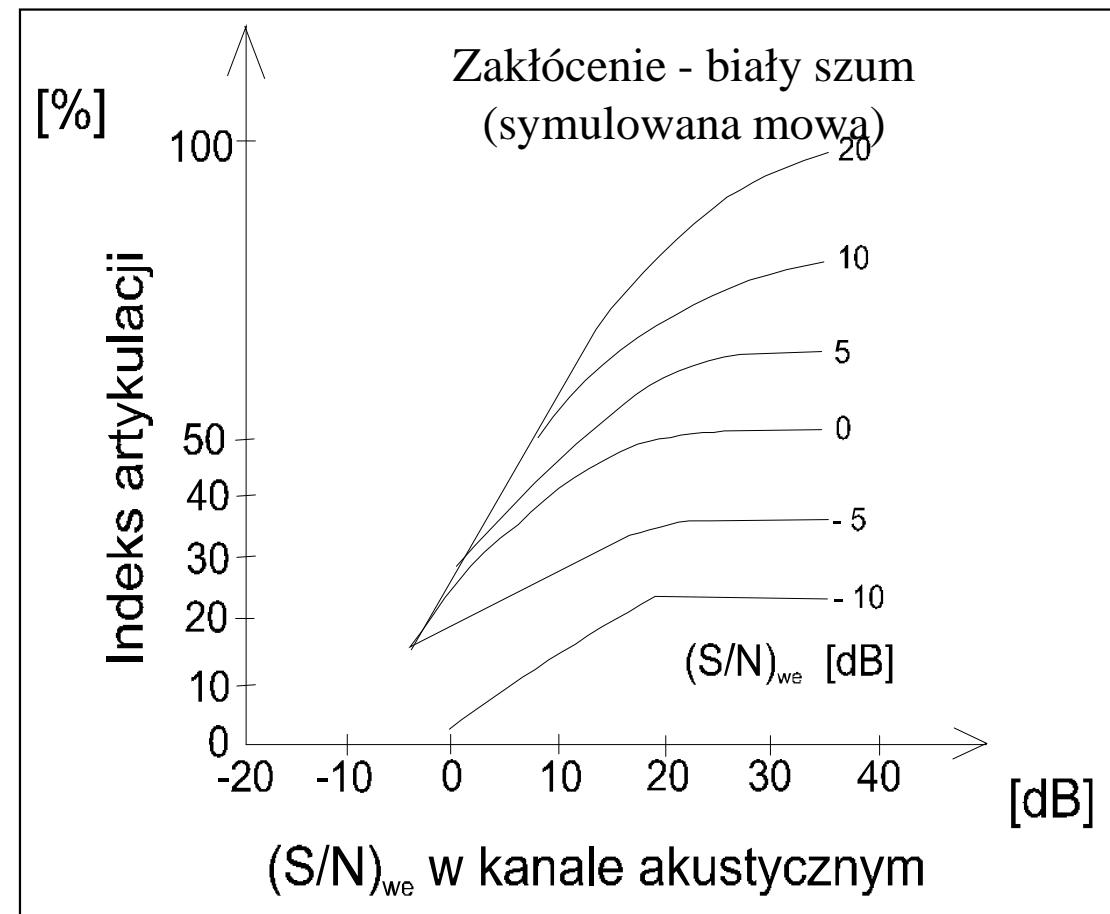
Zaletą indeksu artykulacji w odniesieniu do współczynnika artykulacji jest łatwiejsza metoda pomiaru i obliczeń. Podstawą rozważań stanowiących określenie jakości sygnału w systemach radiokomunikacyjnych pierwszej generacji, jest zależność między indeksem artykulacji, stosunkiem sygnału użytecznego do zakłócającego jak i do szumu na wyjściu odbiornika (w kanale akustycznym) dla następującego rodzaju zakłóceń:

- biały szum;
- biały szum - sinusoidalny sygnał o częstotliwości 500 Hz;
- biały szum - symulowana mowa.

Indeks artykulacji

(ang. *Articulation Index*)

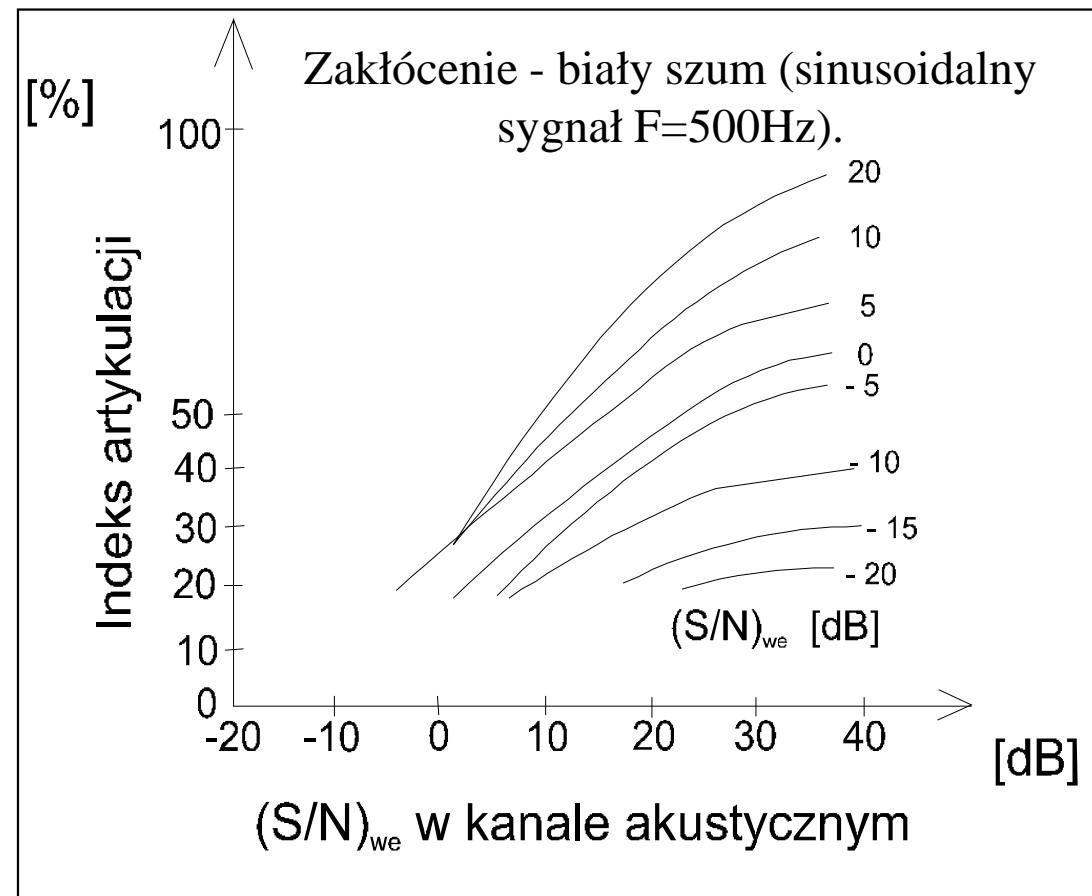
W przypadku sygnałów, które występują na wyjściu odbiornika w innych postaciach niż tony, indeks artykulacji można wyznaczyć za pomocą krzywej właściwej dla zakłócenia w postaci białego szumu przedstawionej poniżej.



Indeks artykulacji

(ang. *Articulation Index*)

W przypadku sygnałów, które występują na wyjściu odbiornika w innych postaciach niż tony, indeks artykulacji można wyznaczyć za pomocą krzywej właściwej dla zakłócenia w postaci białego szumu przedstawionej poniżej.



Identyfikacja brzmienia mowy

Ustalono arbitralnie, trzy następujące progi do identyfikacji brzmienia mowy:

- wykrywalność;
- percepcyjność;
- zrozumiałość.

Wykrywalność jest tylko progiem wykrycia. Odpowiednia wartość $(S / N) = -1 \text{ dB}$ dla sygnałów o modulacji amplitudy (AM i białego szumu).

Percepcyjność (postrzegalność) oznacza zrozumienie ogólnego kontekstu i wymaga $(S / N) = 0 \text{ dB} \div 5 \text{ dB}$

Zrozumiałość wskazuje, że prawie wszystkie słowa są zrozumiałe, przy czym $(S / N) = 10 \text{ dB} \div 15 \text{ dB}$

Stosunek sygnał/szum

- Stosunek sygnału użytecznego do szumu:

$$\frac{S}{N} [dB] = 10 \log \left(\frac{P_R^{(S)}}{P_S} \right)$$

- Stosunek sygnału zakłócającego do szumu:

$$\frac{I}{N} [dB] = 10 \log \left(\frac{P_R^{(I)}}{P_S} \right)$$

- Stosunek sygnału użytecznego do sygnału zakłócającego:

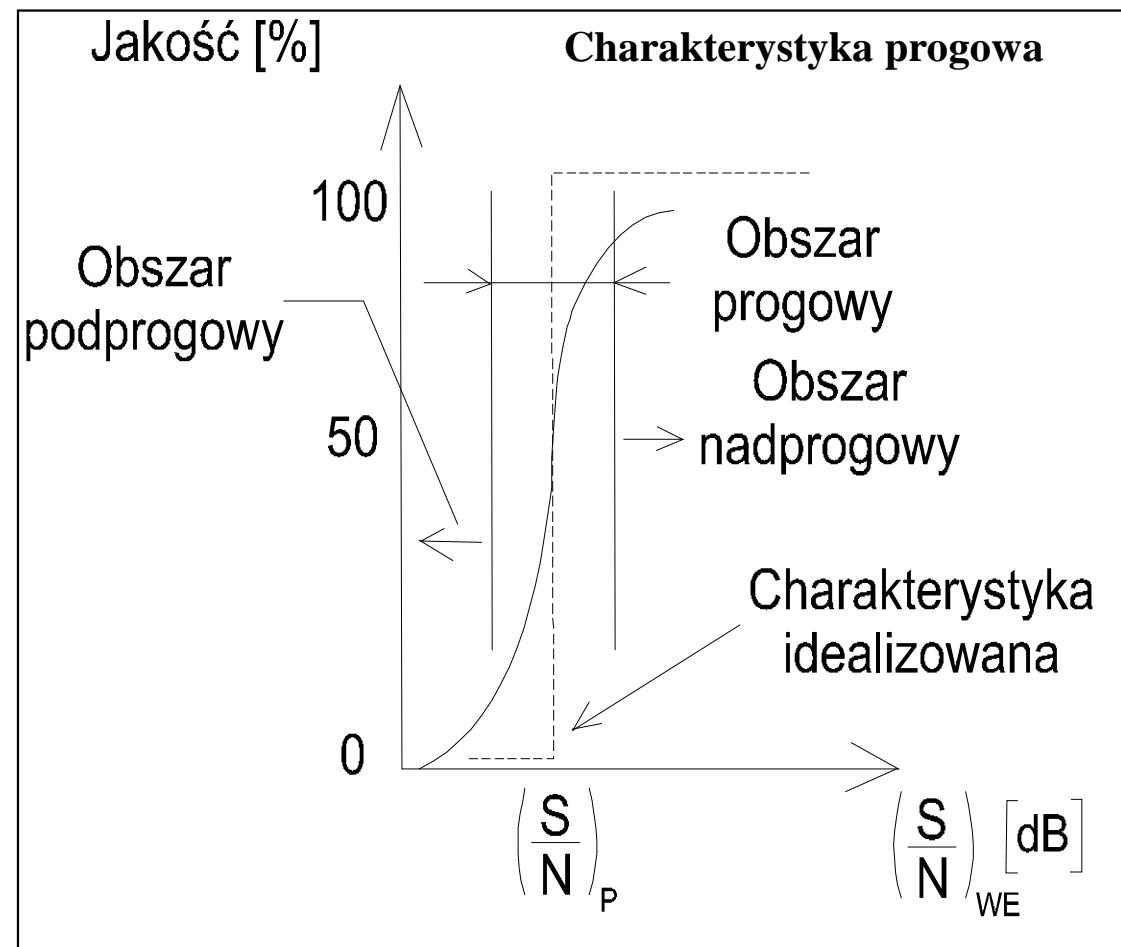
$$\frac{S}{I} [dB] = 10 \log \left(\frac{P_R^{(S)}}{P_R^{(I)}} \right)$$

- Stosunek sygnału użytecznego do sumy sygnałów zakłócających i szumu:

$$\frac{S}{\sum I + N} [dB] = 10 \log \left(\frac{P_R^{(S)}}{P_R^{(I)} + P_S} \right)$$

Próg jakości sygnału

Definicja progu - określa wartość stosunku sygnału użytecznego do sygnału zakłócającego, przy której jakość sygnału użytecznego zmienia się nagle (skokowo) od poziomu akceptowalności do poziomu nieakceptowanego.



ZAKOŃCZENIE

Problem badania emisyjności urządzeń, systemów i instalacji jest ważny nie tylko z punktu widzenia EMC, ale również, ze względu na konieczność zachowania statusu tajności przesyłanych i przetwarzanych informacji. Dostępnych jest wiele urządzeń i systemów, które umożliwiają odtworzenie przesyłanych lub przetwarzanych informacji (np. obrazu wyświetlanego na monitorze komputera, danych przesyłanych siecią komputerową, itp.) na podstawie pomiaru i analizy promieniowanych niecelowo rozproszonych pól elektromagnetycznych. Nowym zjawiskiem jest tzw. terroryzm elektromagnetyczny - nowy rodzaj broni wykorzystywany do niszczenia lub zakłócenia pracy urządzeń elektrycznych i elektronicznych poprzez emisję wysokoenergetycznych zakłóceń elektromagnetycznych.

**DZIĘKUJĘ
ZA UWAGĘ**