

RAPORT

Pilotażowe badania i analizy dotyczące dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych (PEM)

Załącznik 5

Prezentacja pt.: Problemy pomiarowe związane z wyznaczaniem
poziomów pól elektromagnetycznych (PEM) w otoczeniu stacji
telefonii komórkowej

Warszawa, grudzień 2016 r.

Problemy pomiarowe związane z wyznaczaniem poziomów pól elektromagnetycznych (PEM) w otoczeniu stacji bazowej telefonii komórkowej



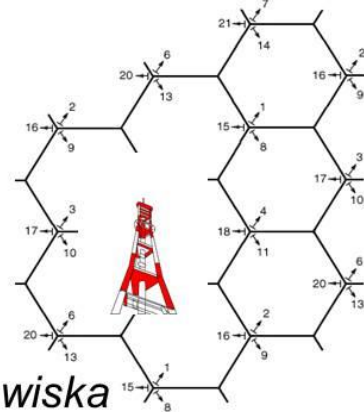
INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Badań Systemów i Urządzeń

mgr inż. Rafał Pawlak

15 grudnia 2016 r.

Zdefiniowanie zadania pomiarowego

Wyznaczenie poziomów pól elektromagnetycznych w otoczeniu stacji bazowej telefonii komórkowej



Podstawa prawna:

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (Dz. U. 2003. Nr 192, poz. 1883)

Wartość graniczna składowej E pola

Zakresy częstotliwości pól EM, dla których określono m.in. dopuszczalne poziomy pól,
Rozporządzenie MŚ, Tabela 2:

Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego		Składowa elektryczna	Składowa magnetyczna	Gęstość mocy
1	2	3	4	
1	0 Hz	10 kV/m	2 500 A/m	—
2	od 0 Hz do 0,5 Hz	—	2 500 A/m	—
3	od 0,5 Hz do 50 Hz	10 kV/m	60 A/m	—
4	od 0,05 kHz do 1 kHz	—	3/f A/m	—
5	od 0,001 MHz do 3 MHz	20 V/m	3 A/m	—
6	od 3 MHz do 300 MHz	7 V/m	—	—
7	od 300 MHz do 300 GHz	7 V/m	—	0,1 W/m ²

Promieniowanie niejonizujące, efekty termiczne

3

Warunki atmosferyczne

Wymagane warunki atmosferyczne

do wykonywania pomiarów,

Rozporządzenie MŚ, Załącznik 2, ust. 4:

Pomiary pól EM należy wykonywać przy dobrej pogodzie w temperaturze nie niższej niż 0°C, przy wilgotności względnej nie większej niż 75%, bez opadów atmosferycznych

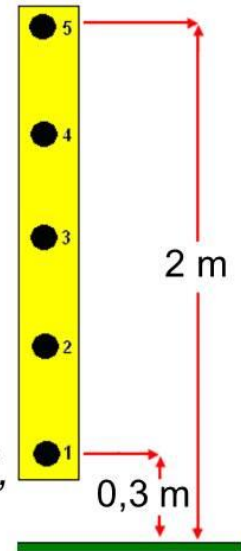
4

Punkty i piony pomiarowe

Wymagane miejsca do wykonywania pomiarów, Rozporządzenie MŚ, Załącznik 2, ust. 10 i 11:

Pomiary wykonuje się w punktach i pionach pomiarowych

Pion pomiarowy: linia pionowa, wzdłuż której przemieszczana jest sonda aparatury pomiarowej w celu znalezienia maksymalnych wartości poziomów pól EM, na wysokościach od 0,3 m do 2 m nad powierzchnią ziemi albo nad innymi powierzchniami, na których mogą przebywać ludzie



5

Punkty i piony pomiarowe

Wymagane miejsca do wykonywania pomiarów, Rozporządzenie MŚ, Załącznik 2, ust. 12, 13, 14:

Pomiary wykonuje się wzdłuż głównych oraz pomocniczych kierunków promieniowania

Główny kierunek: ustala się wzdłuż kierunku max zasięgu (**charakterystyka i pochylenie anten**)

Pomocniczy kierunek: ustala się po uwzględnieniu lokalizacji, warunków terenowych oraz parametrów technicznych zainstalowanych urządzeń

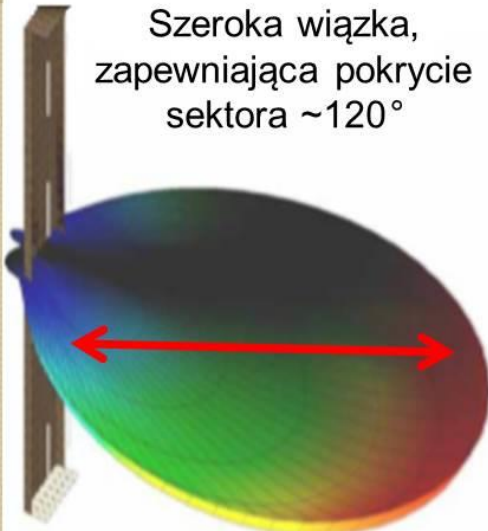
Dodatkowe wytyczne odnośnie wyboru punktów pomiarowych w pomieszczeniach (dodatkowe piony pomiarowe)

6

Charakterystyki anten

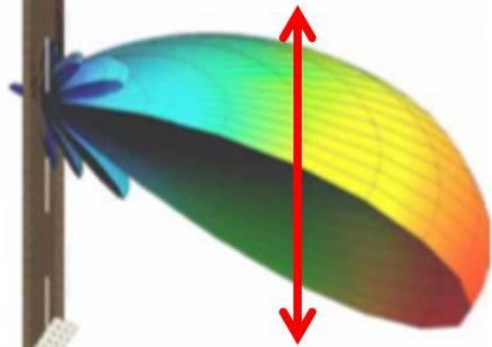
Zdecydowanie różne w płaszczyźnie poziomej i pionowej

Szeroka wiązka, zapewniająca pokrycie sektora $\sim 120^\circ$



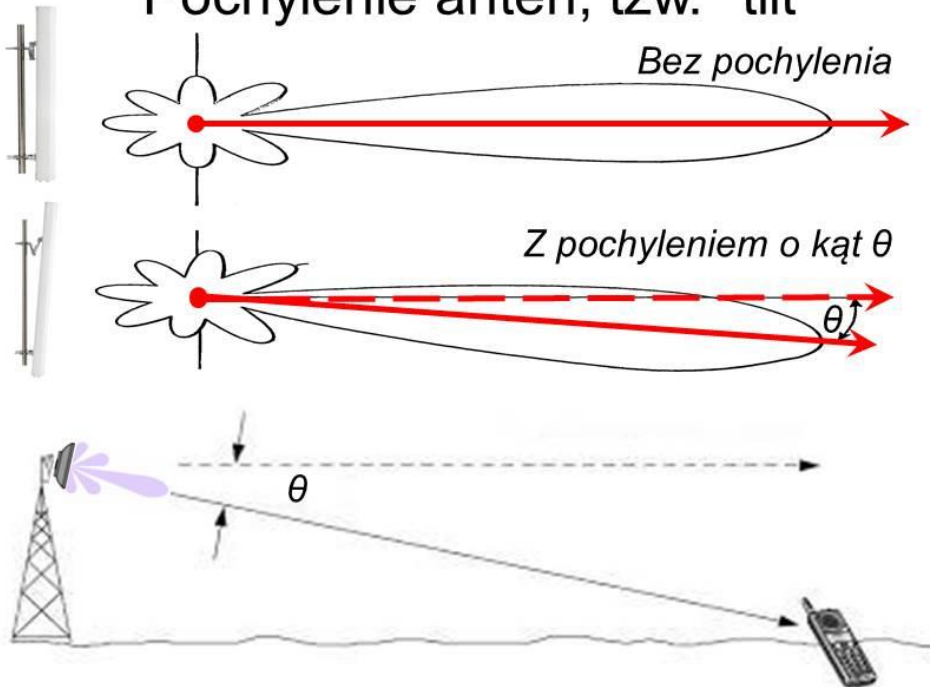
Płaszczyzna pozioma

Wąska wiązka, charakter kierunkowy, pochylenie do ziemi



Płaszczyzna pionowa

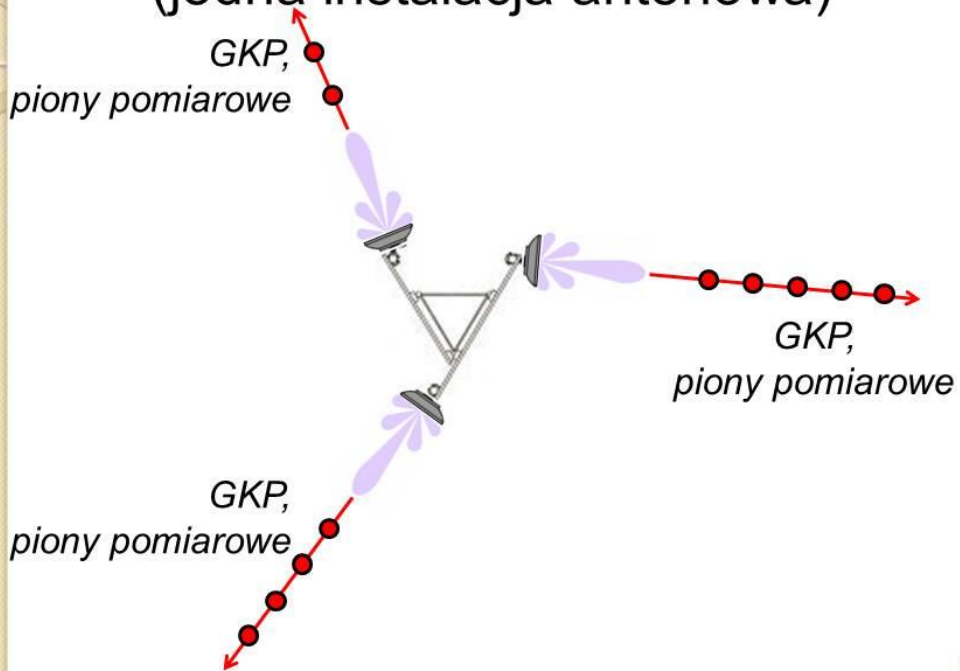
Pochylenie anten, tzw. "tilt"



Pochylenie mechaniczne lub elektroniczne

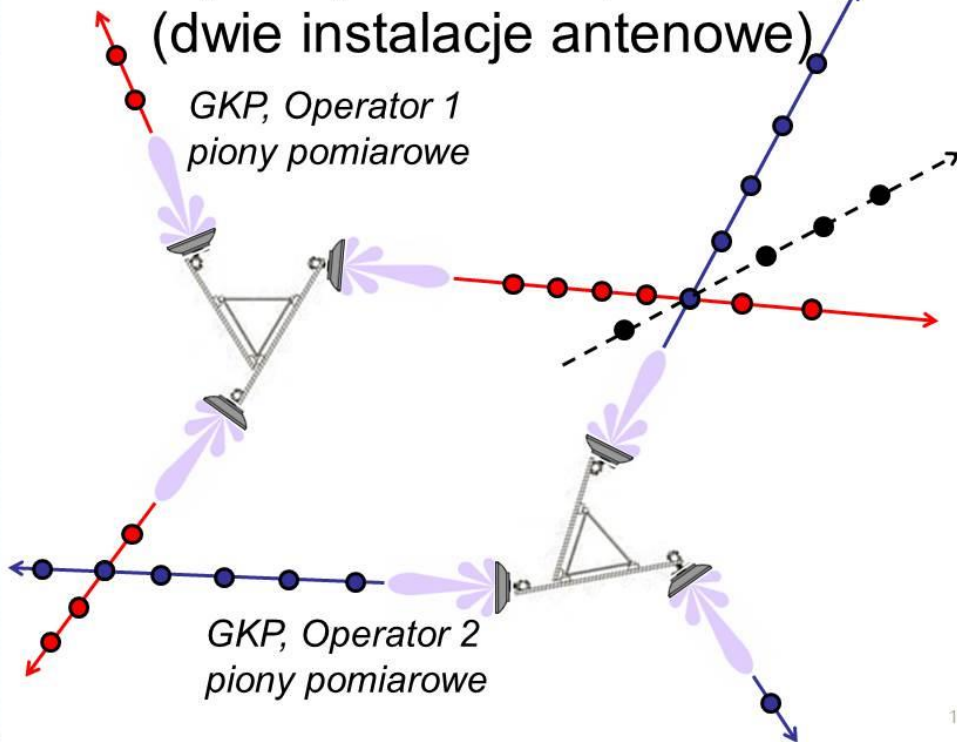
8

Przykłady: jeden operator (jedna instalacja antenowa)

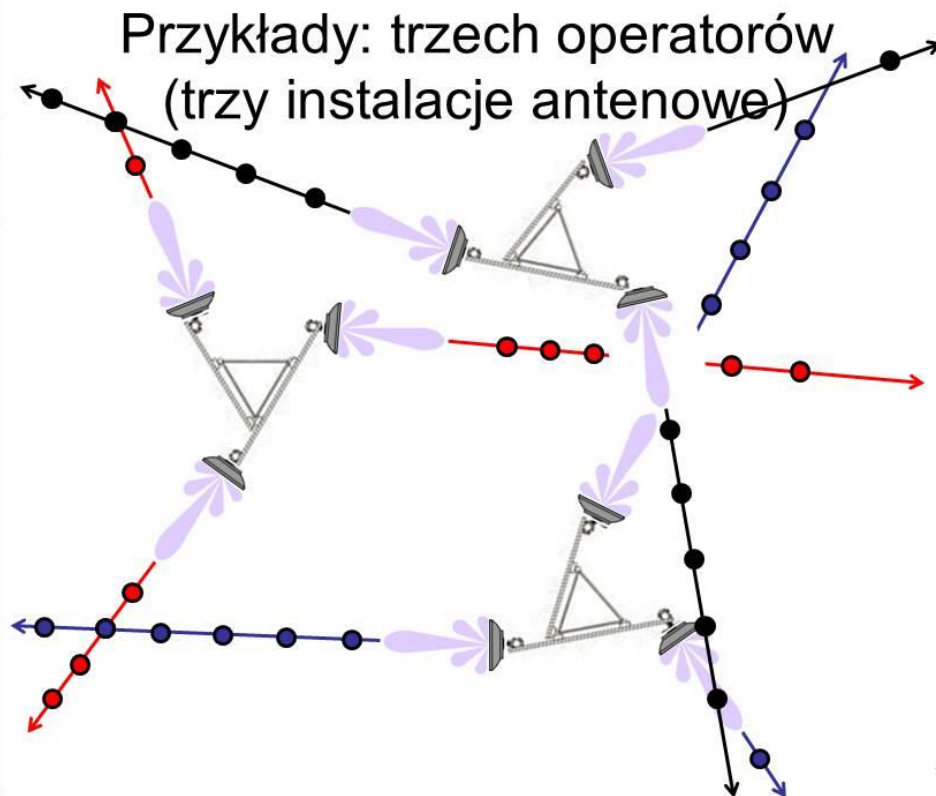


9

Przykłady: dwóch operatorów (dwie instalacje antenowe)



10



11

Punkty i pionowy pomiarowe – wnioski

Nie ma powtarzalnych instalacji. **Każdy przypadek wymaga wnikliwej i indywidualnej analizy** – wytypowanie pionów pomiarowych

Kiedy analizować? Koniecznie przed pomiarami. Analiza w trakcie pomiarów to strata czasu, mała efektywność i ryzyko popełnienia błędów. A po ?

Co analizować? Jakie systemy są zainstalowane, gdzie są zainstalowane anteny (maszt wolnostojący, dach, elewacja, ...), na jakich wysokościach, co znajduje się w otoczeniu (rodzaj zabudowy, ulice, kanały, ogrodzenia, parkingi i dziesiątki innych przypadków...), ...

12

Punkty i pionowy pomiarowe – wnioski

W praktyce mamy do czynienia ze znacznie większą liczbą pionów pomiarowych niż wynikałoby to ze wstępnej analizy teoretycznej

Nie wszystkie można przewidzieć

Kilka instalacji we wspólnej lub bliskiej lokalizacji wpływa wzajemnie na siebie (każda instalacja na wszystkie pozostałe)

Pomiar emisji w otoczeniu jednej instalacji w żadnym wypadku nie oznacza, że mierzymy emisje tylko od tej instalacji

Liczba pionów pomiarowych \approx czas potrzebny na pomiary w jednej lokalizacji!!!

13

Rodzaje systemów stacji bazowych

GSM 900 MHz: DL 925-960 MHz (4 operatorów), ale w tym 3×5 MHz dla UMTS (3 operatorów)

GSM 1800 MHz: DL 1805-1880 MHz (4 operatorów), ale w tym 1×10 MHz, 1×15 MHz oraz 1×20 MHz dla LTE (3 operatorów)

UMTS 900 MHz: DL 925-935 MHz (2×5 MHz) oraz DL 950-955 MHz (1×5 MHz)

UMTS 2100 MHz: DL 2110-2170 MHz (3×5 MHz dla każdego z 4 operatorów), ale w tym 1×5 MHz dla LTE (1 operator)

14

Rodzaje systemów stacji bazowych

LTE 800 MHz: DL 791-821 MHz
(2×5 MHz, 2×10 MHz, 4 operatorów)

LTE 1800 MHz: DL 1805-1825 MHz
1×20 MHz (1 operator), DL 1825-1835 MHz
1×10 MHz (1 operator) oraz DL 1857-1872 MHz
1×15 MHz (1 operator)

LTE 2100 MHz: DL 2155-2160 MHz
1×5 MHz (1 operator)

LTE 2600 MHz: DL 2670-2690 MHz
1×20 MHz (1 operator)

Należy znać charakter mierzonych sygnałów RF,
a ten potrafi być "wredny" 😊

15

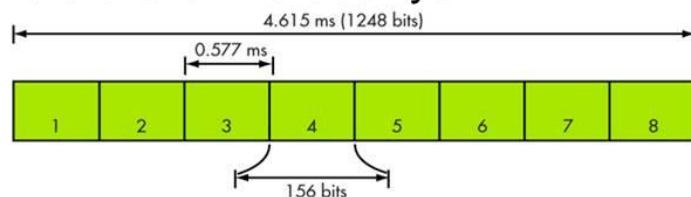
Stacje systemu GSM

System z podziałem częstotliwościowym
i czasowym, FDMA/TDMA

FDMA: kanały częstotliwościowe o szerokości
200 kHz z zakresu rezerwacji dla operatora



TDMA: na każdej częstotliwości ramka
podzielona na 8 szczelin czasowych



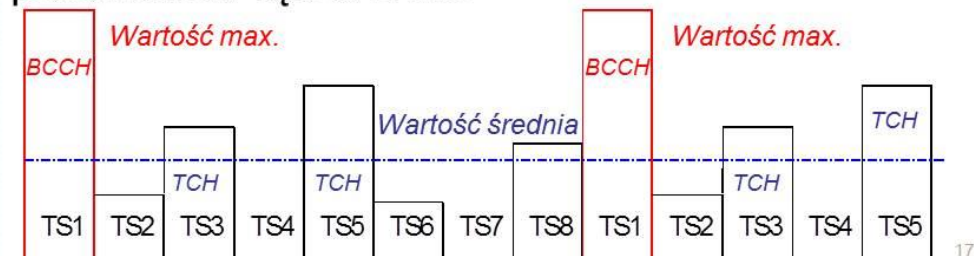
16

Stacje systemu GSM

Pierwsza szczelina czasowa zawiera rozświeczone kanał sygnalizacyjny **BCCH** (*Broadcast Control Channel*) składający się z informacji sterujących dla wszystkich MS w zasięgu BS

Nadawanie BCCH ze stałą i maksymalną mocą!

Pozostałe szczeliny czasowe zawierają kanały TCH (*Traffic Channel*), moc zależy od parametrów łącza z MS



Stacje systemu GSM – wnioski

Do oszacowania poziomu pola elektromagnetycznego pochodzącego od systemu GSM wykorzystujemy kanały BCCH – wykonujemy **pomiary selektywne** na częstotliwości kanału BCCH

To najprostszy z możliwych przypadków

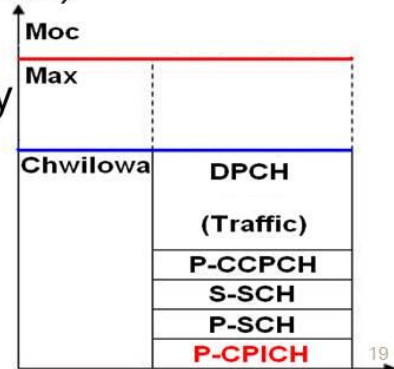
Stacje systemu UMTS

System z podziałem kodowym, WCDMA

WCDMA: kanały częstotliwościowe o szerokości 5 MHz z zakresu rezerwacji dla operatora

Emisje BS operatora występują w tych samych kanałach częstotliwościowych, różni je tzw. kod rozpraszający (*Scrambling Code*)

W każdej BS występują kanały sterujące, m.in. główny kanał sterujący **P-CPICH** (*Primary Common Pilot Channel*) oraz kanały do przesyłu danych (*Traffic*)



Stacje systemu UMTS

Główny kanał sterujący **P-CPICH**

Jest **nadawany ciągle, zawsze z ustaloną mocą, ok. 10%** (–10 dB) **max mocy sygnału nadajnika UMTS**

Występuje zjawisko "nakładania się" energii kanałów sterujących oraz energii kanałów do przesyłu danych w paśmie kanału 5 MHz

Skutek: poziom nadawanego sygnału zależy od aktualnego ruchu (obciążenia) w stacji

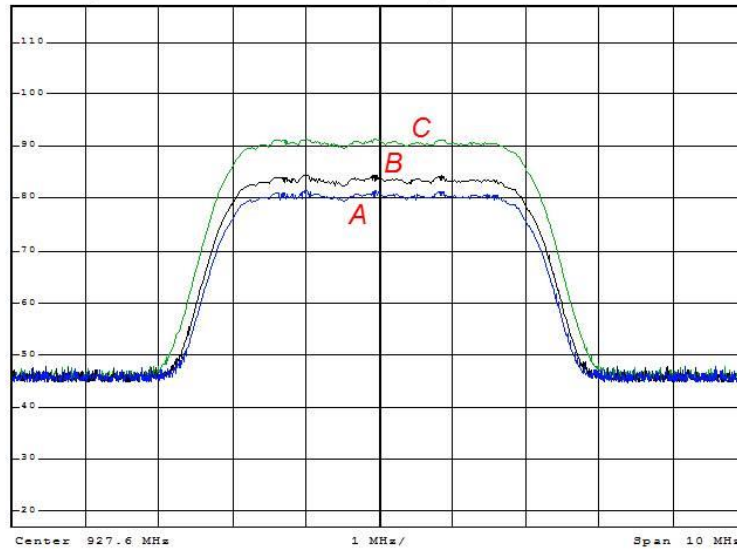
Problem: jak określić max poziom pola elektromagnetycznego nie wiedząc nic o ruchu? Jak się "dobrać" do kanału P-CPICH?

Stacje systemu UMTS

"A" tylko główny kanał sterujący P-CPICH

"B" wszystkie kanały sterujące

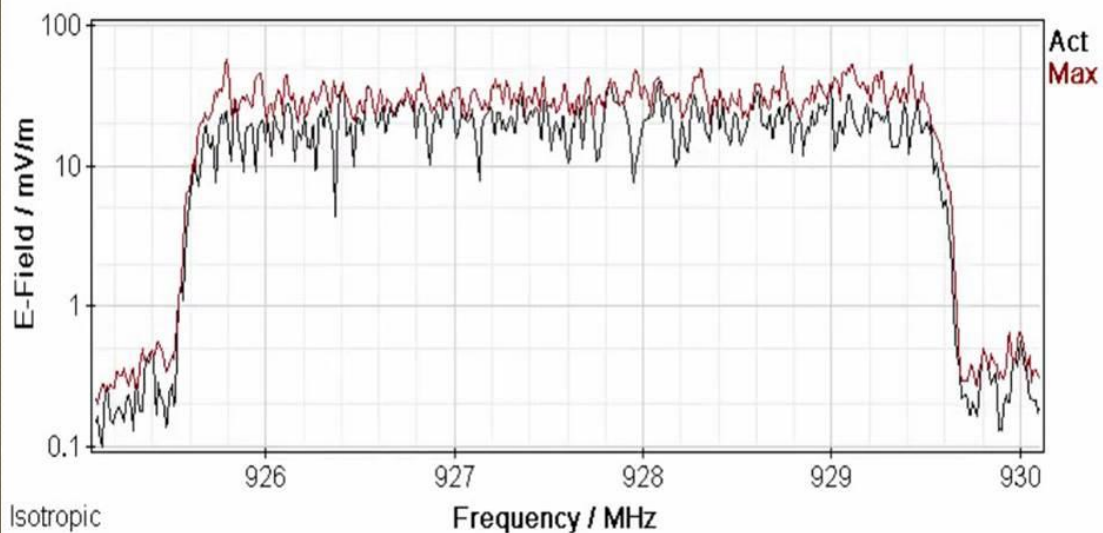
"C" maksymalna moc nadajnika UMTS



21

Stacje systemu UMTS

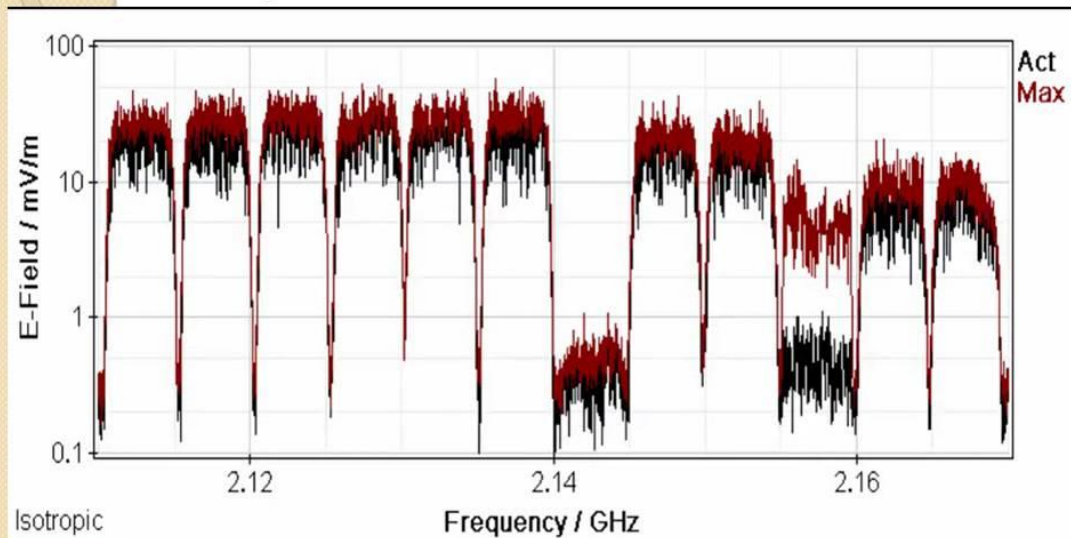
Przykład zarejestrowanego sygnału UMTS,
kanał $F_c = 927,6$ MHz



22

Stacje systemu UMTS

Przykład zarejestrowanego sygnału UMTS,
całe pasmo DL 2100 MHz



23

Stacje systemu UMTS

Jak rozwiązać problem pomiaru takich sygnałów?

Pomiar mocy w paśmie 5 MHz analizatorem
widma?

Mierzymy stan przypadkowy zależny od ruchu
w granicach między "A" i "C"

Przyjmując, że jest to tylko moc P-CPICH
i dodając 10 dB przeszacujemy wynik

Skuteczne rozwiązanie to pomiar poziomu
w kanale P-CPICH czyli pomiar selektywny
"w dziedzinie kodowej" za pomocą przyrządu
wyposażonego w dekoder systemu UMTS

24

Stacje systemu UMTS – wnioski

Do oszacowania poziomu pola elektromagnetycznego pochodzącego od systemu UMTS wykorzystujemy kanał **P-CPICH** i wykonujemy **pomiary selektywne** "w dziedzinie kodowej" na każdej częstotliwości środkowej (max 14 kanałów UMTS w każdym pionie pomiarowym, F_{cent} z dokładn. do 100 kHz)

UWAGA!!!
Czas trwania pomiarów
UWAGA!!!

25

Stacje systemu UMTS – wnioski

Pomiar "w dziedzinie kodowej" z wykorzystaniem kanału P-CPICH to pomiar na najgorszy przypadek, w sytuacji 100% wykorzystania zasobów (pojemności) komórki

Używamy przyrządu umożliwiającego dekodowanie kanału P-CPICH

Pomiar przyrządem bez dekodowania daje wyłącznie jakiś wynik przypadkowy, chwilowy, niepowtarzalny, zależny od aktualnego ruchu w stacji

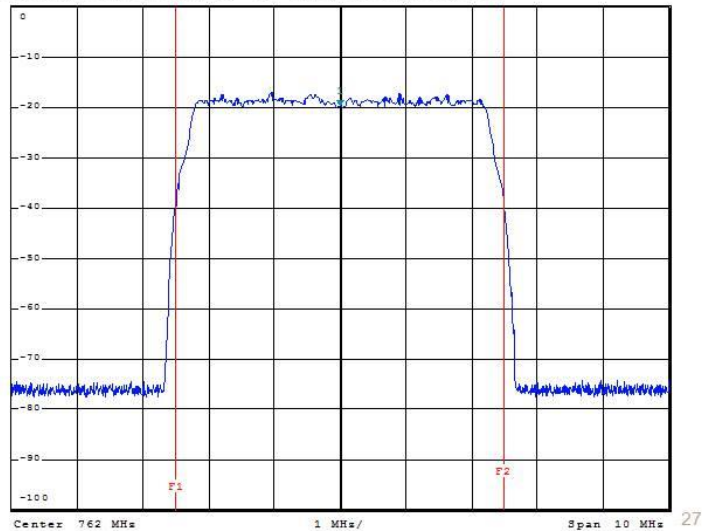
26

Stacje systemu LTE

System ze zwielokrotnianiem w dziedzinie częstotliwości, OFDM

Kanały częstotliwościowe o szerokości:

5 MHz,
10 MHz,
15 MHz,
20 MHz
z zakresu
rezerwacji
dla operatora



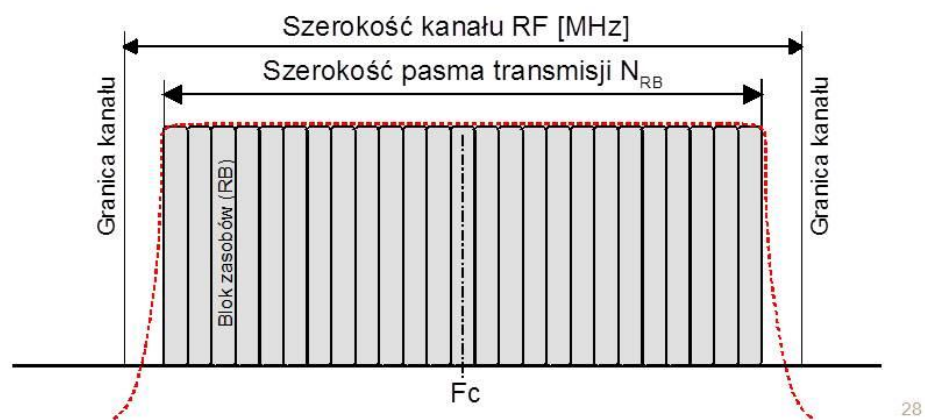
Stacje systemu LTE

"Budowa" widma sygnału LTE

Podział na bloki zasobów (*Resource Blocks, RB*)

1×RB to 12 podnośnych OFDM co 15 kHz

Szerokość pasma 1×RB to 180 kHz (12×15 kHz)



Stacje systemu LTE

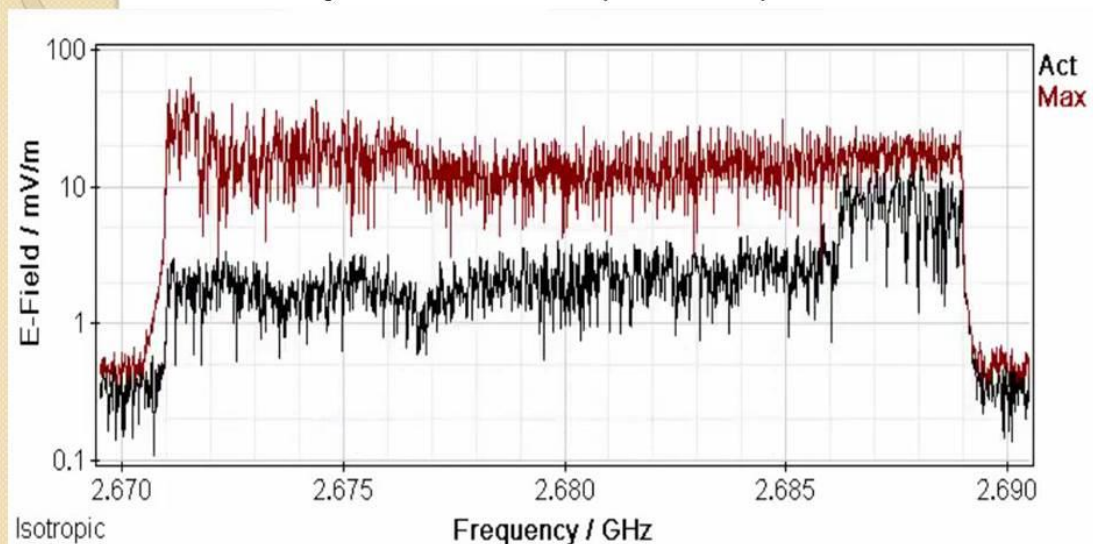
Szerokości pasma transmisji TBW (*Transmit Bandwidth*) stacji bazowej systemu LTE, zależy od liczby bloków zasobów N_{RB}

Szerokość kanału RF CBW:	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Liczba N_{RB} :	25	50	75	100
Liczba podnośnych:	300 (25×12)	600 (50×12)	900 (75×12)	1200 (100×12)
Pasmo transmisji TBW:	4,5 MHz (25×180 kHz)	9,0 MHz (50×180 kHz)	13,5 MHz (75×180 kHz)	18 MHz (100×180 kHz)

29

Stacje systemu LTE

Przykład zarejestrowanego sygnału LTE, kanał $F_c = 2680$ MHz (20 MHz)



30

Stacje systemu LTE – wnioski

Pomiar polega **na wyznaczeniu poziomu RS (Reference Signal) występującego w każdym bloku zasobów RB**

Podobnie jak w systemie UMTS, tak i w systemie LTE wykonujemy pomiar selektywny "w dziedzinie kodowej" **za pomocą przyrządu wyposażonego w dekodery systemu LTE**

Natężenie pola jest wyznaczane zależnie od liczby bloków zasobów N_{RB} , czyli szerokości kanału (max 9 kanałów LTE w każdym pionie pomiarowym, różne CBW)

31

Przyrządy pomiarowe

Miernik **NARDA model NBM-550 z anteną model EF6091** wykorzystywany do szerokopasmowych pomiarów wstępnych



32

Przyrządy pomiarowe

Mierniki **NARDA model SRM-3006** (2 zestawy) z anteną model 3501/03 wykorzystywane do pomiarów selektywnych w zaprogramowanych zakresach częstotliwości, **wyposażone w dekodery systemów UMTS i LTE**



Pierwsze badania z wykorzystaniem tego typu przyrządów w Polsce

33

Przykładowe wyniki z/bez dekoderów

System	Bez dekoderów	Z dekoderami	Bez dekoderów	Z dekoderami
	[V/m]	[V/m]	[V/m]	[V/m]
LTE 800	0,0	0,0	0,0	0,0
LTE 800	1,0	1,7	0,7	1,6
LTE 800	1,2	1,6	0,6	1,4
LTE 800	0,1	0,4	0,2	0,2
UMTS 900	1,4	1,9	0,6	1,2
UMTS 900	1,0	1,4	0,8	1,7
UMTS 900	0,5	0,6	0,3	0,4
LTE 1800	0,3	0,7	0,3	0,4
LTE 1800	0,8	1,2	0,7	1,6
LTE 1800	0,4	0,6	0,2	0,3
UMTS 2100	0,3	0,6	0,3	0,3
UMTS 2100	0,2	0,4	0,3	0,3

34

Przykładowe wyniki z/bez dekoderek

System	Bez dekoderek	Z dekoderekami	Bez dekoderek	Z dekoderekami
UMTS 2100	0,2	0,4	0,2	0,3
UMTS 2100	0,1	0,3	0,2	0,2
UMTS 2100	0,1	0,2	0,2	0,2
UMTS 2100	0,2	0,2	0,1	0,2
UMTS 2100	0,0	0,2	0,0	0,0
UMTS 2100	0,0	0,0	0,1	0,2
UMTS 2100	0,0	0,1	0,1	0,2
LTE 2100	0,2	0,4	0,5	1,4
UMTS 2100	0,2	0,4	0,6	1,4
UMTS 2100	0,1	0,1	0,7	1,3
LTE 2600	1,0	1,3	0,5	1,5
SUMA	2,8	4,1	2,1	4,5

35

Kolejne "problemy" pomiarowe

Ile czasu potrzeba na wykonanie pomiarów w jednej lokalizacji?

Dużo... 😊

Dramatyczne wydłużenie czasu pomiarów ze względu na konieczność korzystania z dekoderek

Założmy:

Tylko 2 instalacje antenowe / lokalizację, więc otrzymujemy 6 głównych kier. prom. (pomijamy pomocnicze kier. prom. i dodatkowe punkty)

Tylko 10 pionów pomiarowych / głównych kier. prom., więc **60 pionów / lokalizację**

36

Kolejne "problemy" pomiarowe

1 pomiar z dekodowaniem trwa ~0,5 min.

Należy wykonać 23 manualne pomiary systemów UMTS i LTE z dekodowaniem

Otrzymujemy:

Czas pomiarów z dekodowaniem w jednym pionie pomiarowym: ~15 min.

Liczba pomiarów do wykonania w jednej lokalizacji: $60 \times 23 = \underline{1380}$

Czas trwania pomiarów w jednej lokalizacji: $60 \times 15 = \underline{900 \text{ min} = 15 \text{ godz.}}$

W praktyce jeszcze dłużej...

37

Kolejne "problemy" pomiarowe

A czas pracy na 1 baterii to tylko ~3 godz.

Kto ma siłę na dalsze pomiary po 8 godz.?

Reakcja ludności na niezapowiedzianą wizytę ekipy pomiarowej

Niestabilne warunki atmosferyczne



38