



# Wpływ interferencji na pracę interfejsu radiowego 5G-NR oraz metody ich wykrywania

**Piotr Rajchowski**

Wydział Elektroniki Telekomunikacji i Informatyki  
Katedra Systemów i Sieci Radiokomunikacyjnych



## Sieci 5G na terenie Polski

### ▪ Sieci komercyjne:

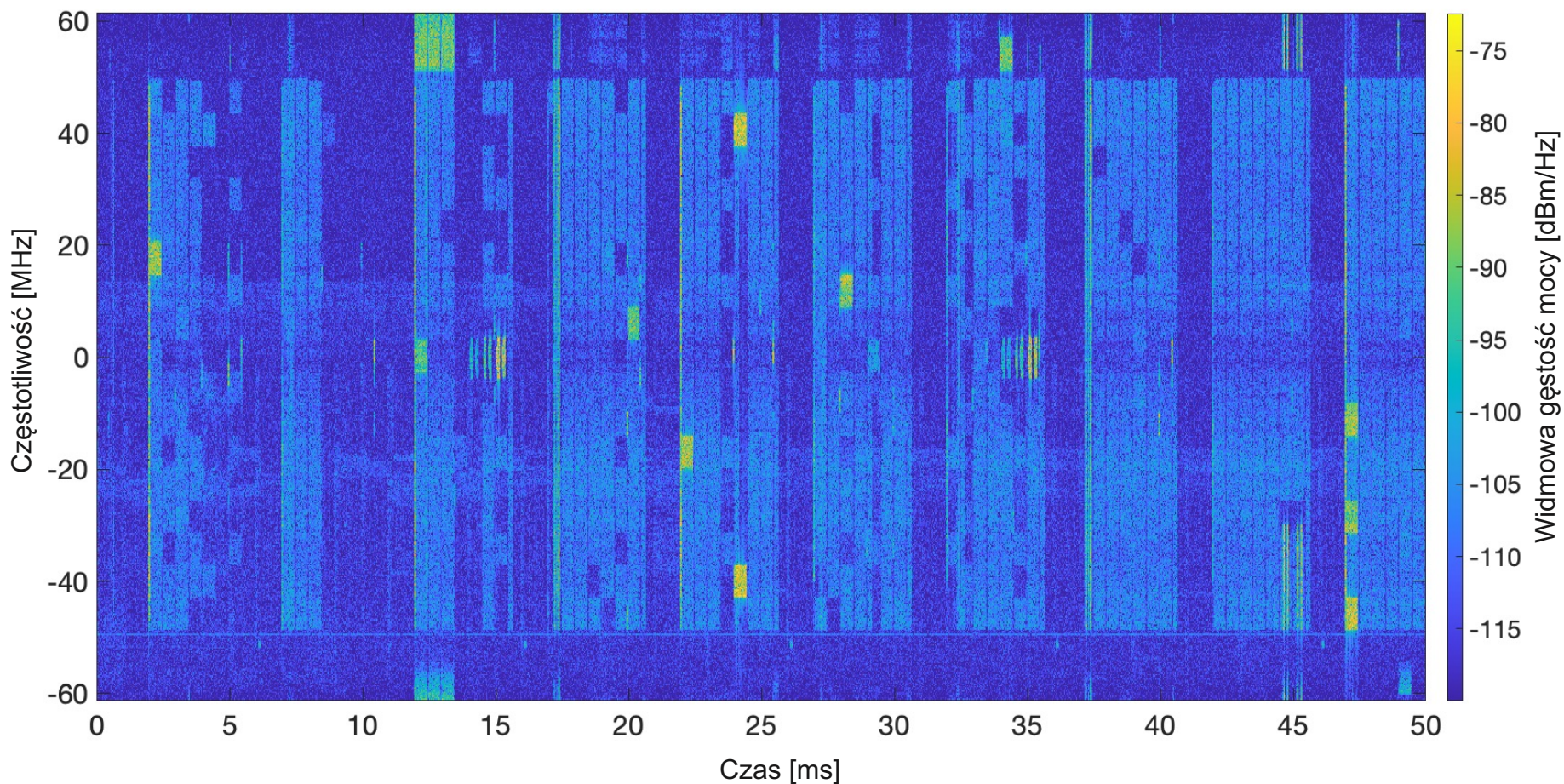
- Konfiguracja *non-standalone* (NSA).
- Praca w paśmie n77 (kanał o szerokości 100 MHz, tryb TDD).
- Praca w pasmach n7 (kanały o szerokości do 20/50 MHz, tryb FDD/TDD).

### ▪ Sieci zamknięte:

- Konfiguracja *standalone* (SA).
  - Np. sieć pracująca w ramach laboratorium PL-5G (m.in. n77, 100 MHz).
- Zazwyczaj praca w trybie TDD.



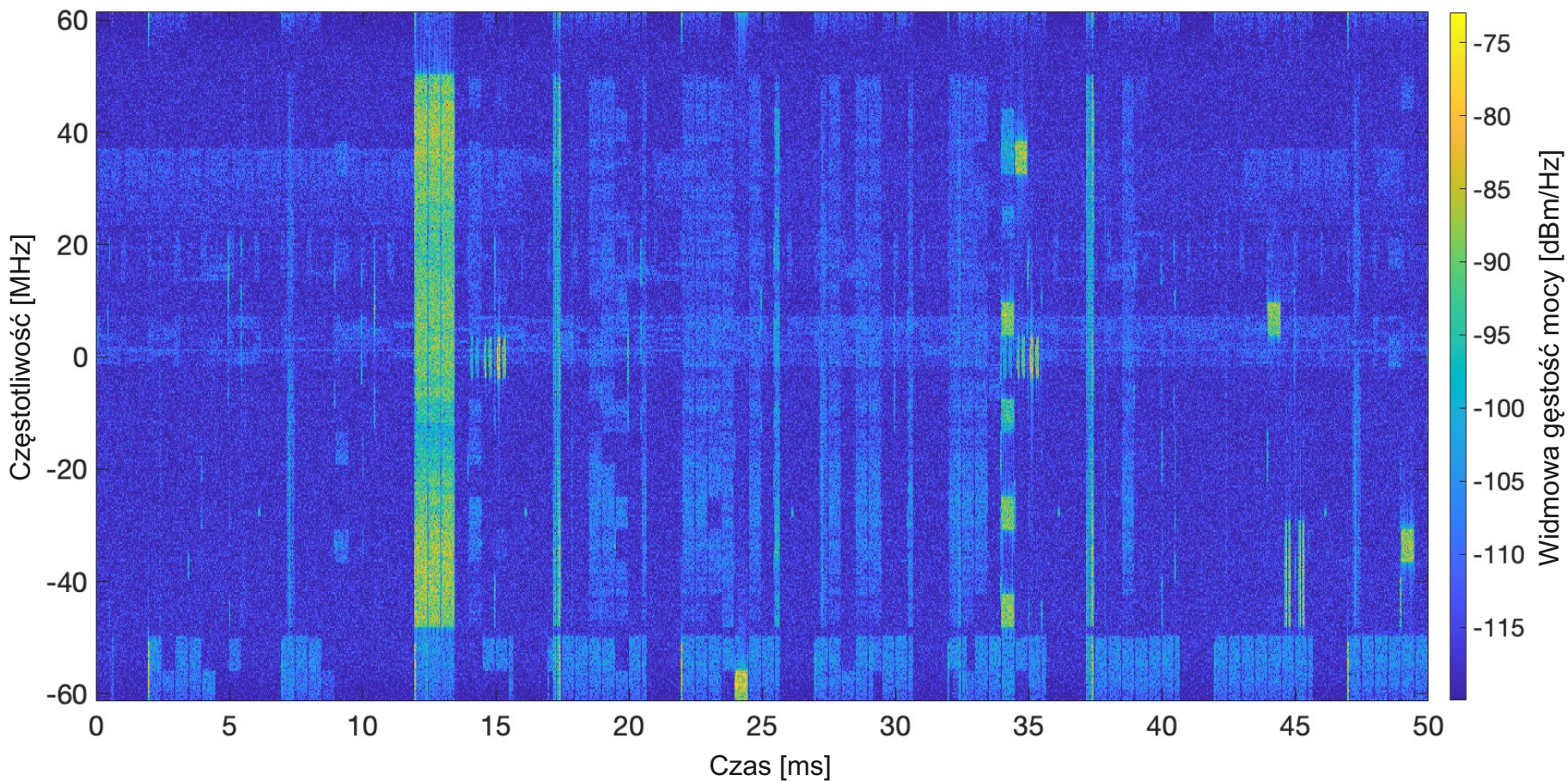
## Zajętość interfejsu 5G-NR



**Rys. 1 – Spektrogram sygnału interfejsu 5G-NR, kanał 100 MHz, tryb TDD.**



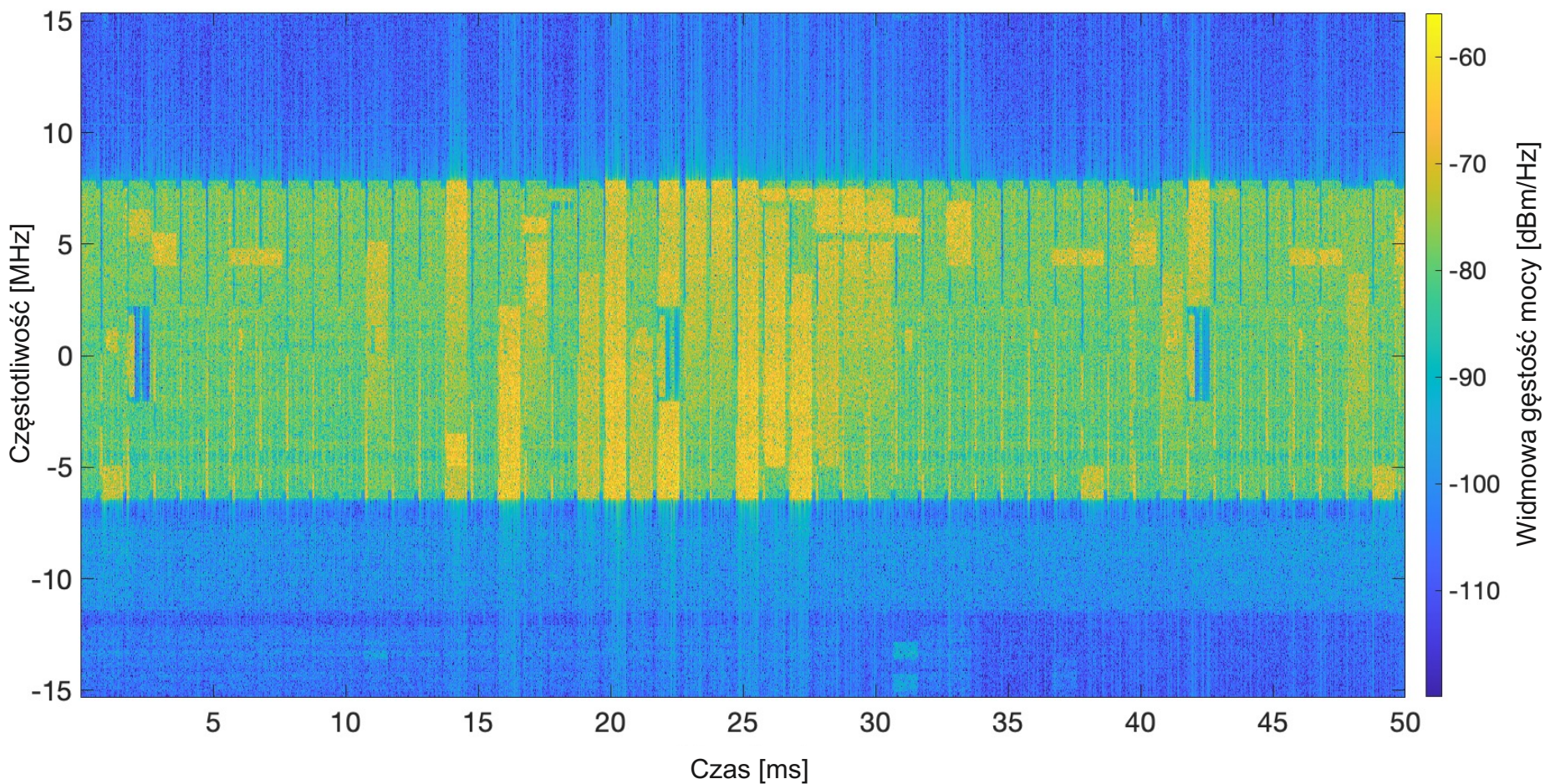
## Zajętość interfejsu 5G-NR



**Rys. 2 – Spektrogram sygnału interfejsu 5G-NR, kanał 100 MHz, tryb TDD.**



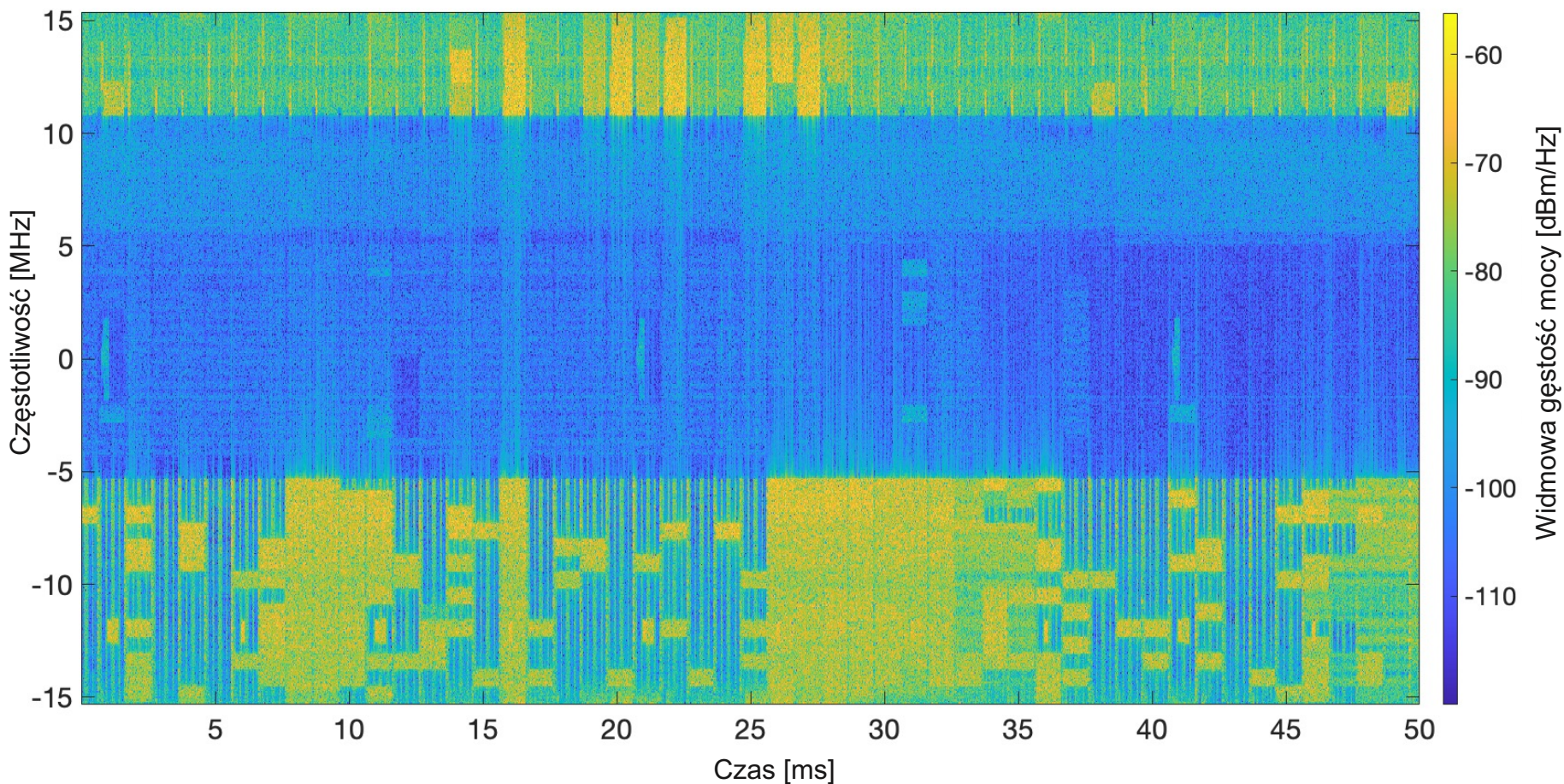
## Zajętość interfejsu 5G-NR



**Rys. 3 – Spektrogram sygnału interfejsu 5G-NR, kanał 15 MHz, tryb FDD, współdzielenie pasma.**



## Zajętość interfejsu 5G-NR



**Rys. 4 – Spektrogram sygnału interfejsu 5G-NR, kanał 15 MHz, tryb FDD, współdzielenie pasma.**



## Interferencje w sieciach komórkowych 4G / 5G

### ▪ Interferencje celowe:

- Sygnały wąskopasmowe.
- Sygnały szerokopasmowe (np. o podobnej strukturze/parametrach).

### ▪ Interferencje własne:

- Sygnał sąsiedniej komórki / sektora.
- Sygnał sąsiedniego „podsektora” (wiązki).

### ▪ Przykładowe skutki interferencji:

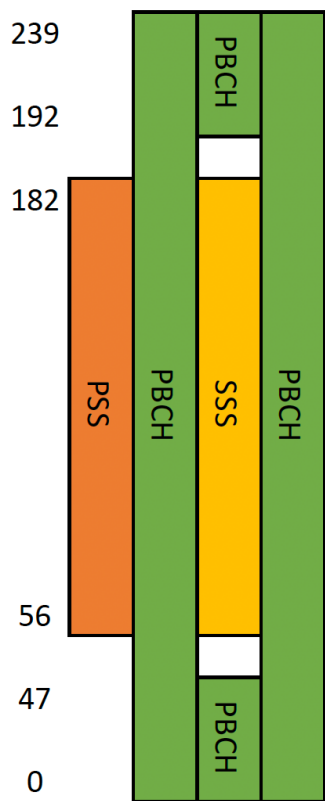
- Obniżenie jakości usług (np. spadek dostępnej przepływności).
- Wydłużony czas podłączania UE do gNodeB.



## Interferencje w sieciach komórkowych 4G / 5G

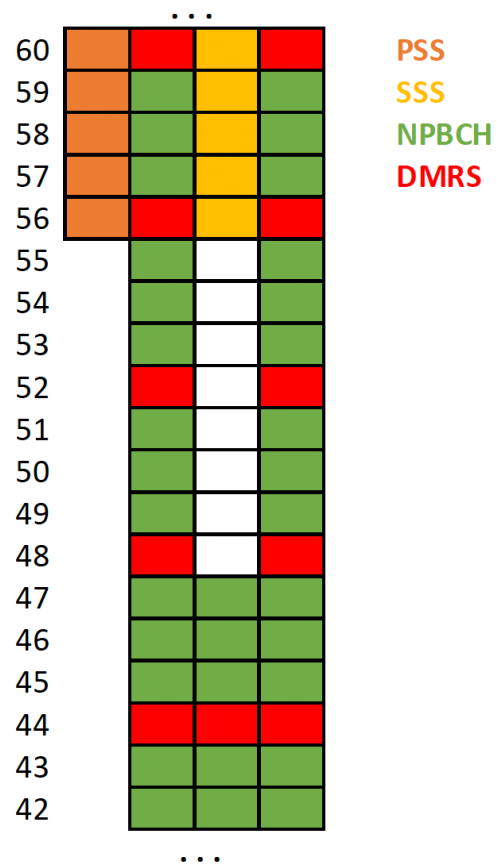
- **Możliwe, wybrane sposoby emisji sygnału interferującego**
- W czasie trwania sygnałów synchronizacyjnych Primary Synchronization Signal (PSS) i Secondary Synchronization Signal (SSS).
  - Emisja w paśmie sygnałów PSS/SSS.
- Emisja sygnału na częstotliwości podnośnych przypisanych do symboli referencyjnych Demodulation Reference Symbols (DMRS).
  - Emisja nieciągła, o czasie trwania jednego symbolu OFDM.
- Emisja sygnału w części pasma sygnałów synchronizacyjnych bądź bloku Synchronization Signal Block (SSB).

## Sygnaly warstwy fizycznej



**Rys. 5 –** Zobrazowanie bloku SSB interfejsu 5G-NR.

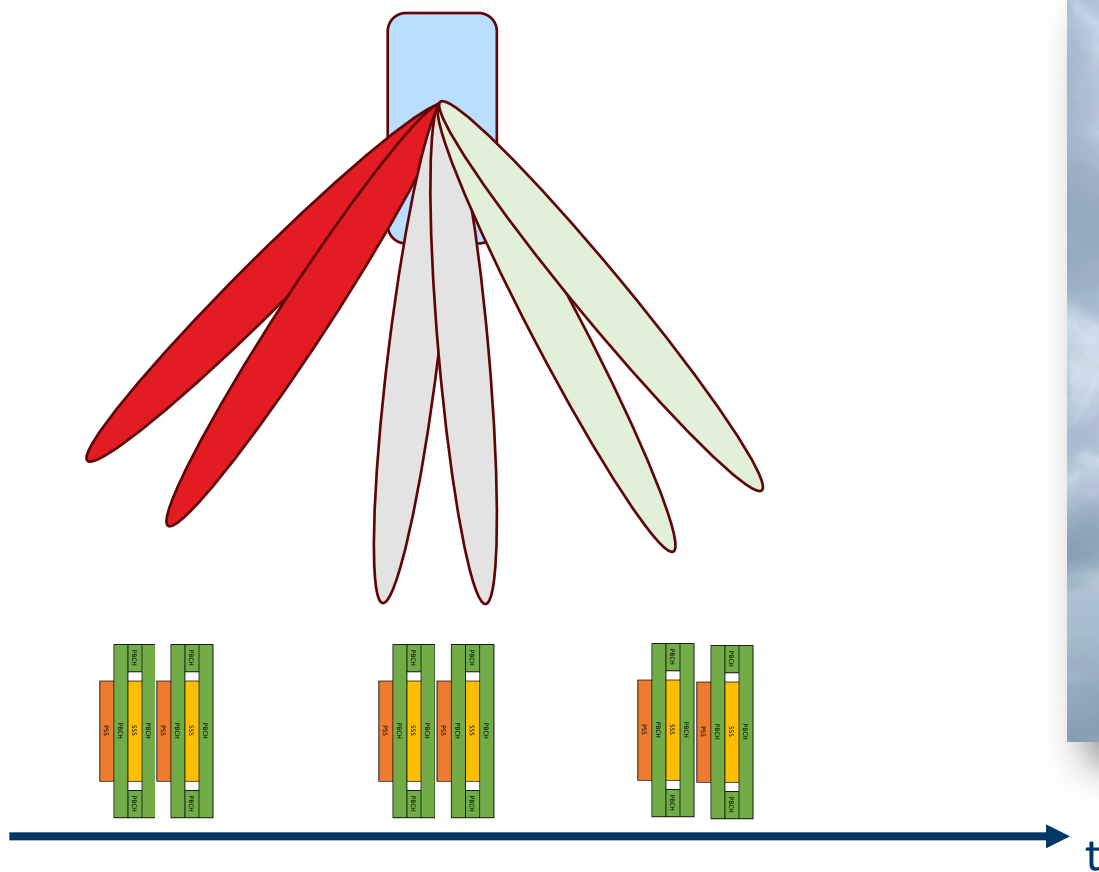
Cell ID = 8



**Rys. 6 –** Zobrazowanie elementów zasobów bloku SSB interfejsu 5G-NR.



## Sygnaly warstwy fizycznej



Rys. 7 – Ilustracja emisji bloku SSB w sieci 5G-NSA przy użyciu głowicy aktywnej.



## Wpływ interferencji na pracę interfejsu radiowego

- **Uwzględniając wybrane sposoby emisji sygnału interferującego możliwe jest wskazanie bezpośredniego wpływu na pracę interfejsu radiowego.**
- Uniemożliwienie bądź wydłużenie procesu synchronizacji częstotliwości i czasu.
  - Utrudnienie/uniemożliwienie detekcji sygnałów PSS/SSS.
  - Wyznaczanie błędnych estymat odchyłki częstotliwości.
- Zaburzenie procesu estymacji i korekcji wpływu kanału radiowego.
  - Wzrost pakietowej stopy błędów (np. wiadomości rozgłoszeniowej Master Information Block (MIB)).
- Utrata połączenia ze stacją gNodeB.

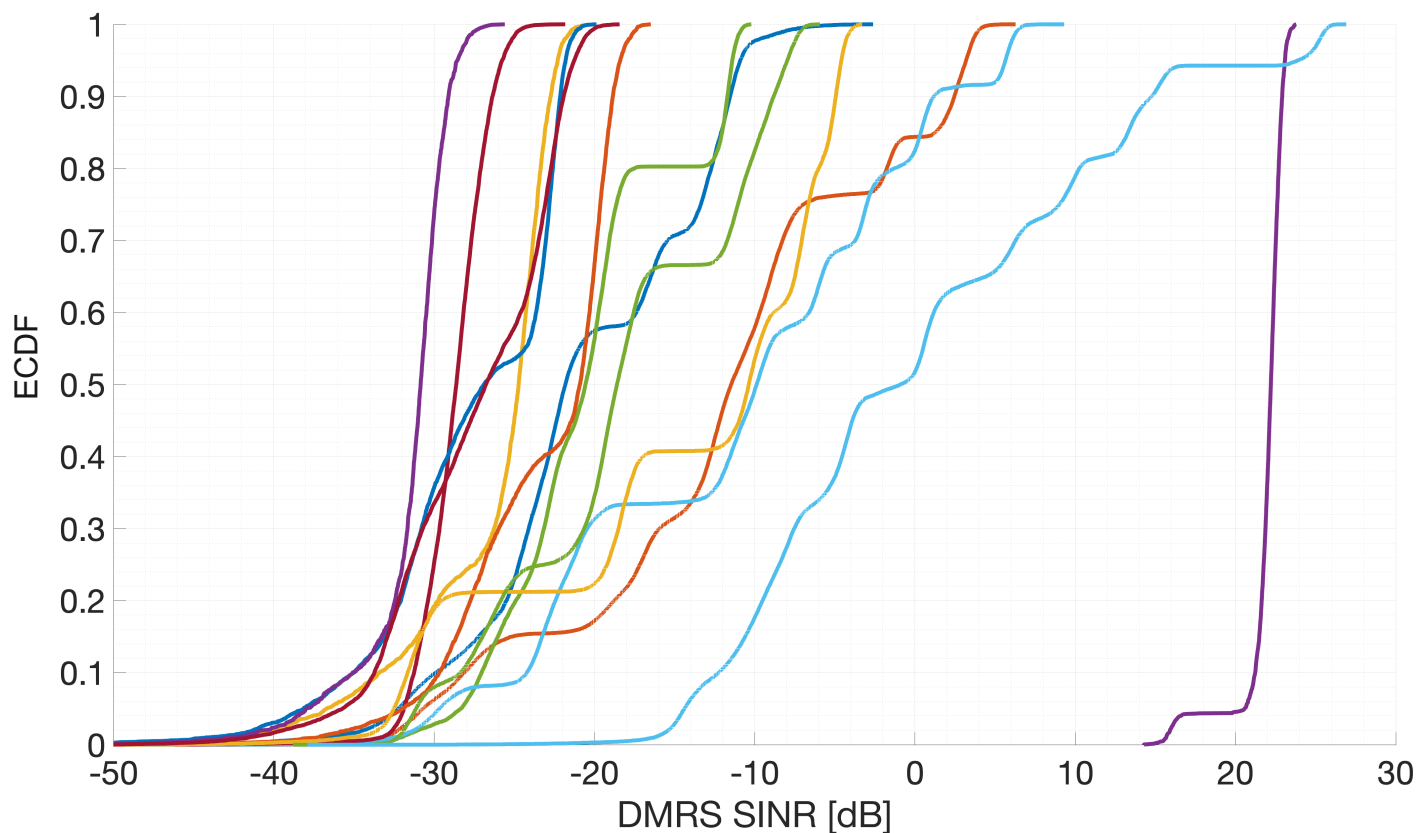


## Numeryczna ocena wpływu interferencji

- **Zdecydowano się numerycznie określić wpływ wymienionych sygnałów interferujących na pracę interfejsu radiowego.**
- Na drodze badań pomiarowych określono warunki pracy interfejsu 5G-NR w środowisku miejskim.
  - Użyto skanera radiowego R&S TSME6 do określenia parametru SNR\* oraz konfiguracji warstwy fizycznej odbieranego sygnału radiowego w warunkach miejskich.
- W środowisku symulacyjnym Matlab zaimplementowano fragment toru odbiorczego terminala użytkownika.
  - Analizowano parametry procesu synchronizacji czasu, estymacji wpływu kanału radiowego oraz dekodowania wiadomości rozgłoszeniowych.
- Utrata połączenia ze stacją gNodeB.



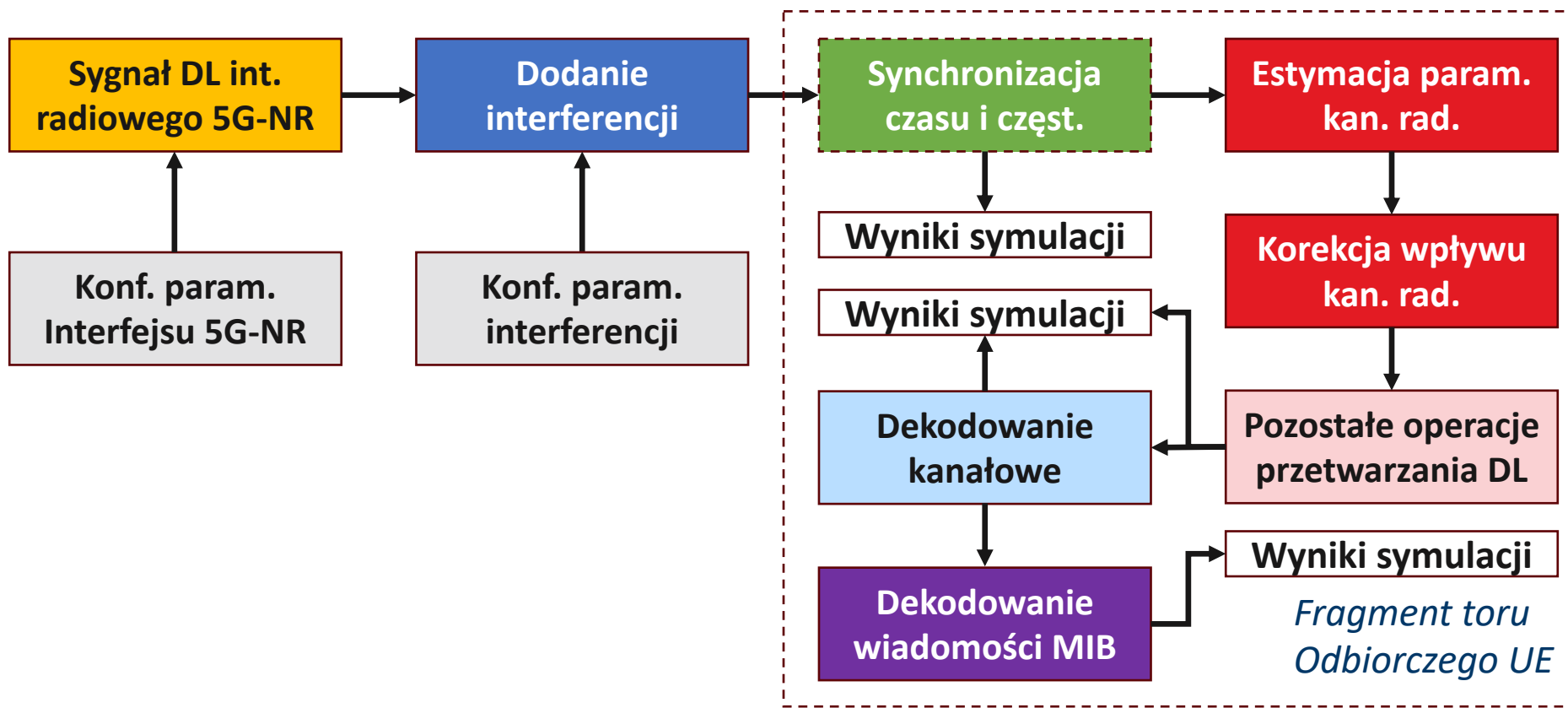
## Wyniki rozpoznania radiowego



**Rys. 8 – Empiryczne dystrybuanty stosunku SINR symboli DMRS interfejsu 5G-NR w terenie miejskim (Kampus PG).**



## Środowisko badań numerycznych



Rys. 9 – Uproszczony schemat blokowy przetwarzania sygnału interfejsu radiowego 5G-NR podczas badań numerycznych.

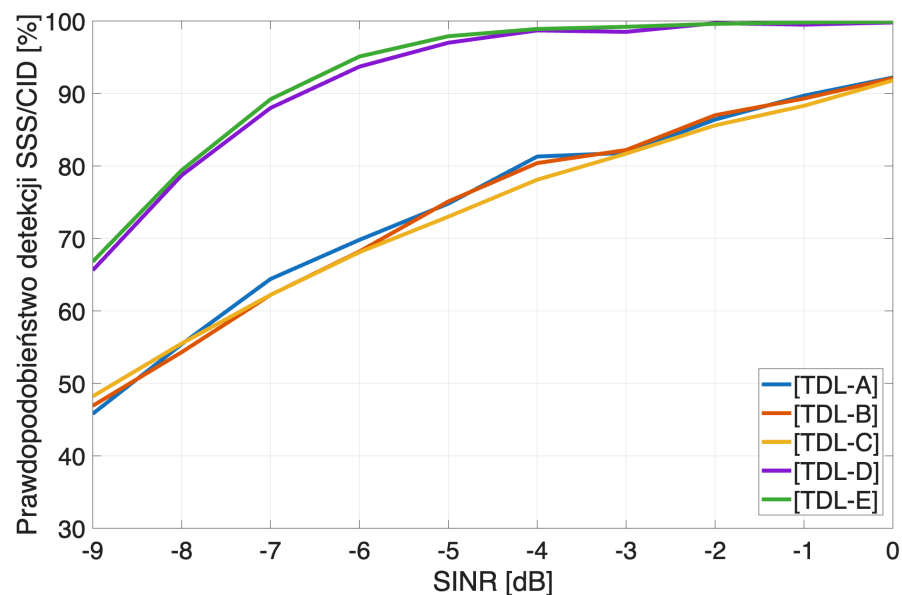
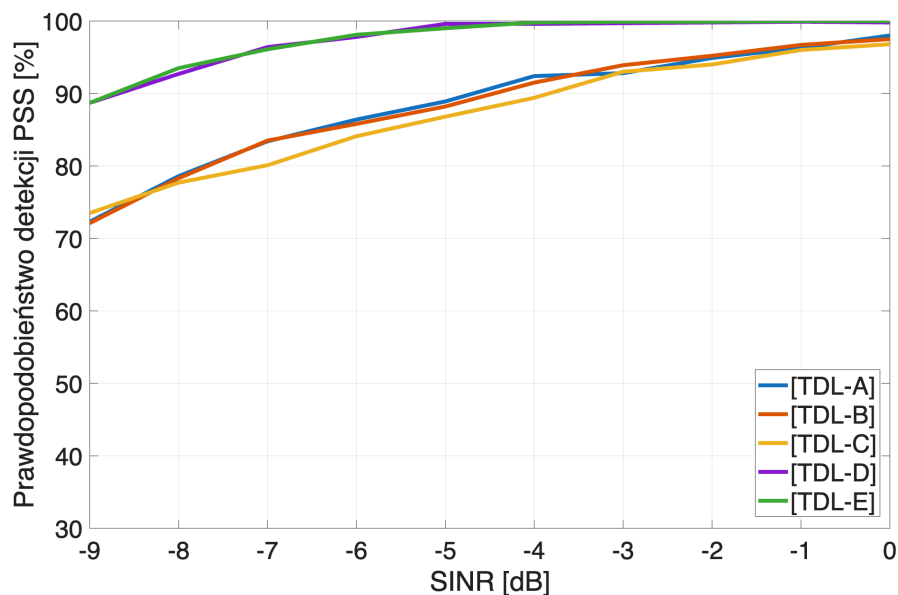


## Ocena wpływu interferencji

- **Zweryfikowano zdolność przeprowadzenia procesu synchronizacji czasu i częstotliwości.**
- Określono prawdopodobieństwo detekcji sygnałów PSS, SSS (w tym wyznaczenia identyfikatora komórki).
  - Sygnał interferujący (QPSK / szum AWGN) występował w paśmie i czasie trwania sygnałów PSS/SSS.



## Wyniki badań numerycznych



**Rys. 10 – Prawdopodobieństwo detekcji sygnału PSS, SSS i określenia identyfikatora komórki przy obecności sygnału interferującego.**

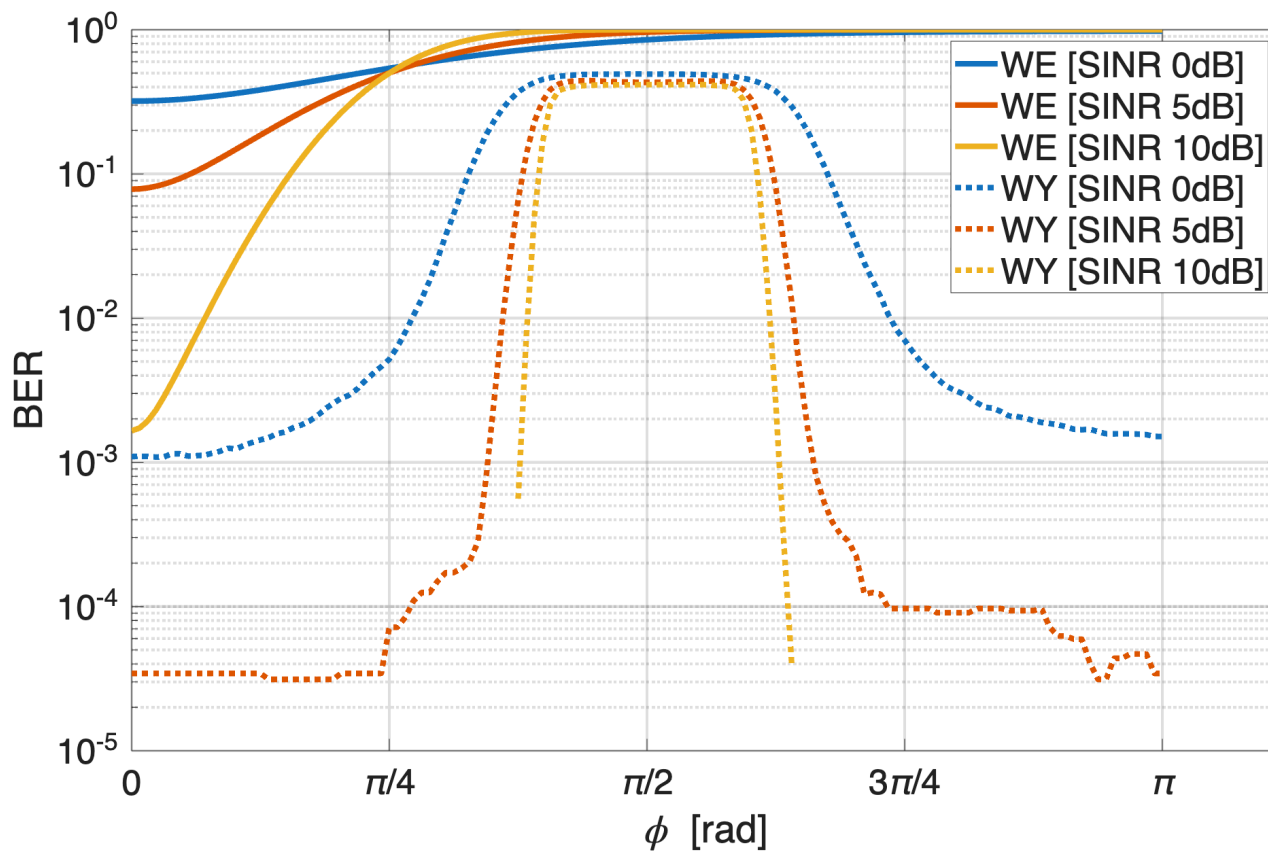


## Ocena wpływu interferencji

- Zweryfikowano zdolność przeprowadzenia procesu synchronizacji czasu i częstotliwości.
- Określono prawdopodobieństwo detekcji sygnałów PSS, SSS (w tym wyznaczenia identyfikatora komórki, estymowania CFO,  $\Delta t$ ).
  - Sygnał interferujący (QPSK / szum AWGN) występował w paśmie i czasie trwania sygnałów PSS/SSS.
- Zweryfikowano obserwowaną bitową stopę błędów w kanale rozgłoszeniowym Physical Broadcast Channel (PBCH).
- W tym scenariuszy zweryfikowano wpływ innego sygnału interferującego, tj. sygnału powodującego zmianę fazy wyłącznie symboli referencyjnych DMRS.



## Wyniki badań numerycznych



$BER_{MIB} < 1\%$  przy  
SNR = (-10 dB, 5 dB).

Rys. 11 – BER w kanale PBCH przy interferencji wpływającej na fazę symboli DMRS.

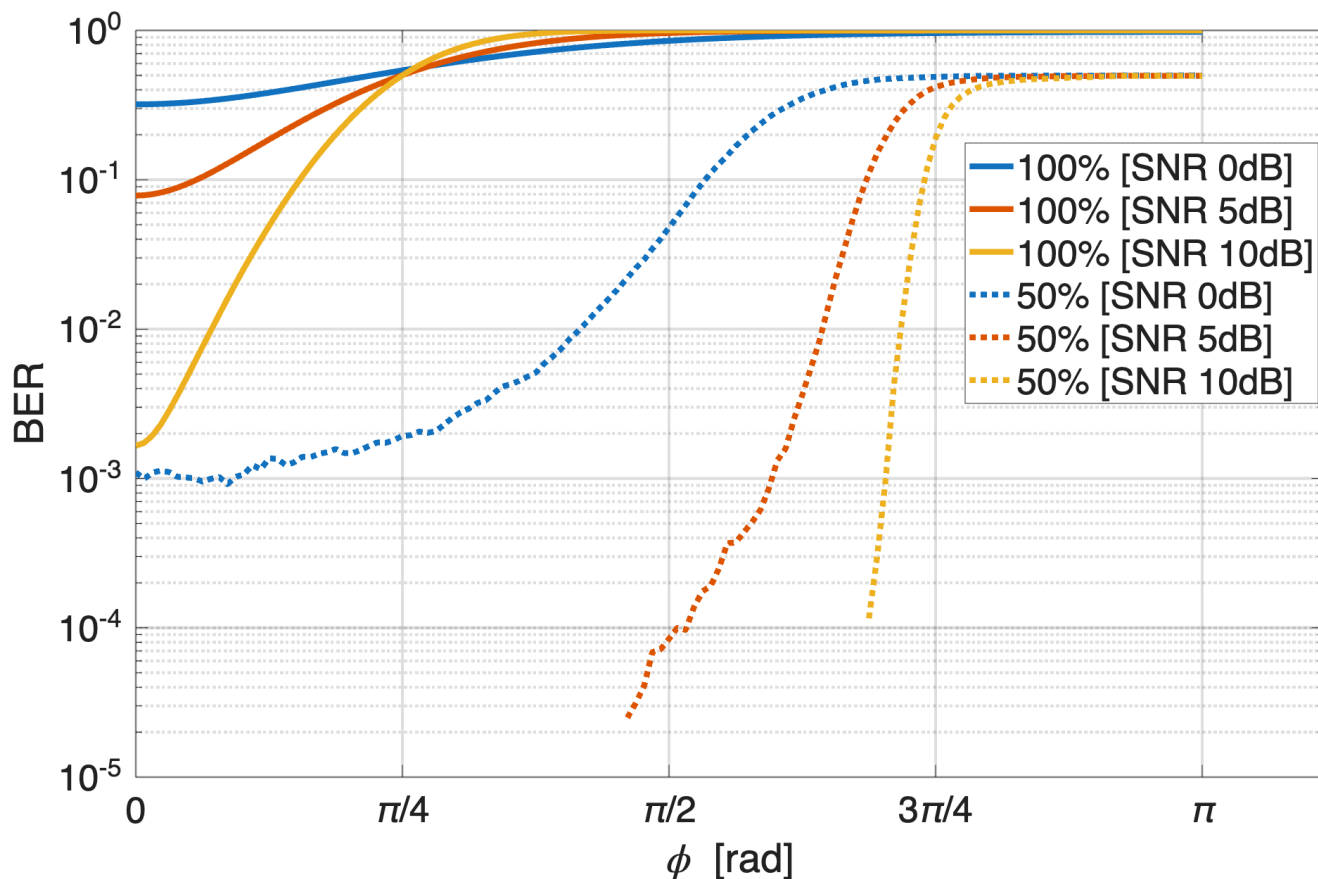


## Detekcja interferencji w interfejsie 5G-NR

- **Proces detekcji interferencji może zostać przeprowadzony podczas podłączania się terminala do stacji gNodeB, bądź podczas trwającego połączenia czy realizacji transmisji danych.**
  - Terminal jest w stanie utrzymać połączenie ze stacją gNodeB przy niższej wartości SINR niż podczas procedury synchronizacji (podłączania się).
- **Detekcja (i późniejsza kompensacja) interferencji może zakładać pomijanie wybranych elementów zasobów w procesie synchronizacji bądź estymacji i korekcji wpływu kanału radiowego.**
  - Proces ten wymaga weryfikowania wielu hipotez np. podczas synchronizacji częstotliwości.
- **Detekcja interferencji nie powinna znacząco zwiększać nakładu przetwarzania obliczeń wykonywanych w łączy w dół.**



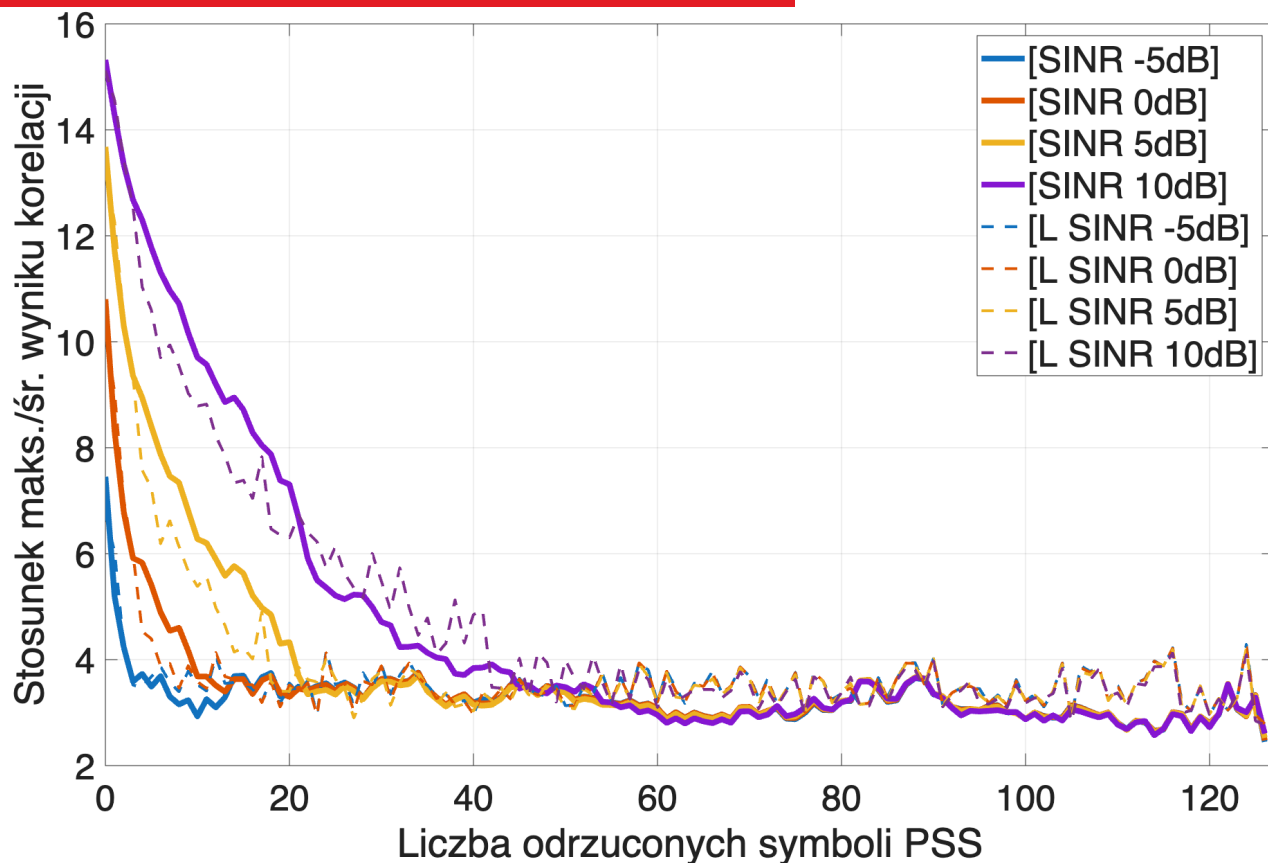
## Wyniki badań numerycznych



**Rys. 12 – BER w kanale PBCH przy interferencji wpływającej na fazę symboli DMRS, również w przypadku pominięcia 50% symboli DMRS podczas estymacji wpływu kanału.**



## Wyniki badań numerycznych



**Rys. 13 – Stosunek maksymalnej wartości korelacji do wartości średniej wyniku korelacji w funkcji pomijanych symboli PSS.**



## Detekcja interferencji w interfejsie 5G-NR

- **Pomijanie wybranych symboli DMRS może być realizowane na podstawie obserwowanej wariacji faz wyznaczanych symboli referencyjnych.**
  - Skuteczność metody rośnie w przypadku kiedy terminal jest podłączony do stacji gNodeB i sygnał interferujący nie występuje w sposób ciągły.
- **Detekcja interferencji sygnałów PSS/SSS może być taktowana jako kluczowa, zwłaszcza w kontekście dalszych stopni przetwarzania.**
  - Detekcja interferencji i sygnałów PSS/SSS może stanowić wspólny proces, bazujący na właściwościach autokorelacyjnych ciągów oraz próbie estymowania SINR.
- **Detekcja interferencji może bazować na pomiarze BLER w kanale PBCH, bądź analizie wyznaczanych wartości SINR symboli referencyjnych.**



## Podsumowanie

- **Interferencje celowane (tzw. smart jamming) w sposób znaczący wpływają na pracę interfejsu 5G-NR.**
- **Detekcja interferencji może stanowić element wybranych operacji wykonywanych w torze odbiorczym terminala użytkownika.**
- **Dalsze prace badawcze są ukierunkowane na rozwinięcie metody detekcji i kompensacji wpływu interferencji.**



**Dziękuję za uwagę!**

Prace badawcze częściowo zrealizowano w ramach projektu „Definiowalny programowo układ do wykrywania i kompensowania wpływu zakłóceń wewnątrz i zewnątrz systemowych oraz transmisji niepożądanych w interfejsie radiowym 4G-LTE, 5G-NR” finansowanego ze środków krajowych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu Lider XIV, umowa nr LIDER14/0116/2023 z dnia 13.02.2024.



Rzeczpospolita  
Polska



Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

**LIDER**