

## **MODELOWANIE RADIOWEGO ŁĄCZA KIERUNKOWEGO A POPRAWNOŚĆ ESTYMACJI BILANSU ENERGETYCZNEGO W SYSTEMACH 5G**

**Autor:** mgr inż. Kamil BECHTA  
**Promotorzy:** dr hab. inż. Cezary ZIÓŁKOWSKI, prof. WAT  
dr hab. inż. Jan M. KELNER

Głównym celem niniejszej rozprawy jest ocena poprawności estymacji bilansu energetycznego łącza radiowego w systemach 5G z punktu widzenia wspólnego modelowania charakterystyki anteny kierunkowej i zjawiska kąтового rozproszenia mocy w kanale radiowym. Poprawność tej estymacji jest istotna ze względu na jej bezpośredni wpływ na efektywność procesu planowania i optymalizacji sieci 5G.

W pierwszej kolejności wprowadzone są definicje nominalnej charakterystyki antenowej (zmierzonej w komorze bezechowej) oraz skutecznej charakterystyki antenowej (określonej w kanale radiowym z rozproszeniami). Następnie przedstawione są wyniki symulacyjnych badań wydajności sieci 5G, które wskazują na jej znaczące przeszacowanie jeżeli skuteczne charakterystyki zostaną zastąpione podczas modelowania charakterystykami nominalnymi. Ta część analizy jest skoncentrowana na bilansie energetycznym użytecznego i zakłócającego łącza radiowego dla sygnałów przesyłanych w łączu w dół (DL) w komórce radiowej pracującej na falach milimetrowych oraz przedstawia metody jego poprawnej estymacji. Zaproponowana jest również metoda poprawy stosunku mocy sygnału użytecznego do szumi i interferencji w łączu w dół (DL SINR) polegająca na optymalizacji skutecznej charakterystyki antenowej. Metoda ta bazuje na opatentowanym algorytmie dopasowującym wymiary układu antenowego do kąтового rozproszenia mocy w płaszczyznach poziomej i pionowej, w wyniku czego kształt skutecznej charakterystyki antenowej (rozumianej jako filtr przestrzenny) zostaje zoptymalizowany, a jej zysk zmaksymalizowany.

W toku kolejnych badań sprawdzona zostaje dokładność oceny ekspozycji na promieniowanie elektromagnetyczne (PEM) pochodzące od stacji bazowych 5G według metod stosowanych dla dotychczasowych systemów radiowych. Wyniki przeprowadzanych symulacji wskazują na możliwość znaczącego przeszacowania maksymalnej ekspozycji na PEM od stacji bazowych 5G znajdujących się w środowisku z rozproszeniami, bądź w przypadku braku bezpośredniej widoczności ze stacją bazową (non-line-of-sight, NLOS), jeżeli skuteczne

charakterystyki antenowe nie są znane. W związku z tym, zaproponowana jest metoda poprawy dokładności oceny ekspozycji na PEM, która została wspomniana w najnowszej wersji standardu 62232 przygotowanego przez Międzynarodową Komisję Elektrotechniczną (International Electrotechnical Commission, IEC). Metoda ta bazuje na uproszczonym wyznaczaniu wartości skutecznych zysków antenowych oraz ich porównaniu. Uzyskane w ten sposób wartości ekspozycji na PEM są dokładniejsze niż w przypadku wykorzystania nominalnych charakterystyk antenowych, a przy tym nie wymagają przeprowadzania czasochłonnych symulacji z wykorzystaniem pełnego modelu kanału radiowego.

Wykorzystując model symulacyjny sieci radiowej CBRS (Citizens Broadband Radio Service) zbadany jest wpływ dokładności wyznaczania skutecznej charakterystyki antenowej na wydajność rozdziału zasobów radiowych w systemach z dynamicznym dostępem do widma. Uzyskane wyniki symulacji pozwalają ocenić dokładność oszacowywania poziomu wzajemnych zakłóceń oraz sposobu rozdziału kanałów radiowych pomiędzy stacjami bazowymi systemu CBRS (CBRS Devices, CBSD), gdy centralny kontroler odpowiedzialny za rozdział zasobów (Spectrum Access System, SAS) nie posiada wystarczającej wiedzy o skutecznych charakterystykach antenowych stacji CBSD. Założony scenariusz symulacyjny wskazuje, że wzajemne zakłócenia pomiędzy stacjami CBSD zostają znacząco niedoszacowane przez kontroler SAS w sytuacji gdy dysponuje on tylko nominalnymi charakterystykami antenowymi, w konsekwencji czego minimalne wymagania ko-egzystencji pomiędzy stacjami CBSD nie zostają spełnione. W związku z powyższym wskazane zostają miejsca, w których standardy odpowiedzialne za funkcjonowanie systemu CBRS powinny zostać poprawione.

Celem ostatniego badania jest analiza porównawcza dwóch metod wspólnego modelowania charakterystyki anteny kierunkowej i zjawiska kąowego rozproszenia mocy w kanale radiowym. Podejście z wyznaczaniem i wykorzystaniem skutecznej charakterystyki antenowej jest porównane z metodyką modelowania kąowego rozproszenia mocy według wielo-eliptycznego modelu kanału (multi-elliptical propagation model, MPM). Porównanie jest przeprowadzone poprzez wykorzystanie tych samych założeń symulacyjnych oraz parametrów wejściowych. Zbliżone wyniki badań wykonanych według obu podejść pozwalają uznać metodę z wykorzystaniem modelu MPM za skuteczną, a jednocześnie niewymagającą czasochłonnych symulacji z wykorzystaniem pełnego modelu kanału radiowego.

Wyniki badań wchodzących w skład niniejszej rozprawy oraz wnioski wyciągnięte na ich podstawie są zgodne z postawioną na początku tezą oraz mogą stanowić zauważalny wkład w obecny stan wiedzy.