

dr hab. inż. Ryszard J. Zieliński, prof. PWr

16-07-2021

.....
tytuł, stopień, imię i nazwisko

.....
data

Politechnika Wrocławska
Wydział Elektroniki
Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki

.....
miejsce pracy

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

DLA RADY DISCYPLINY NAUKOWEJ INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ IM. JAROSŁAWA DĄBROWSKIEGO

Tematyka rozprawy: Modeling of directional radio links and the accuracy of 5G link budget estimation
Modelowanie radiowego łącza kierunkowego a poprawność estymacji bilansu energetycznego w systemach 5G

Autor rozprawy: mgr inż. Kamil Mirosław Bechta

Opracowanie recenzji zostało zlecone na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego nr 35/RDN ITiT/2021 z dnia 11 maja 2021 r. Do oceny przesłano czternaście współautorskich publikacji. W dwunastu z nich Doktorant został wymieniony na pierwszym miejscu listy autorów, dwie z dostarczonych publikacji ([8] i [10]) nie zostały jeszcze opublikowane. Wszystkie publikacje zostały opracowane w ramach wspólnego projektu badawczo – rozwojowego prowadzonego przez Nokia Technology Center Wrocław w kooperacji z Nokia Bell Labs Murray Hill, NJ (USA), Nokia Technology Center Paris-Saclay (Francja) i Wojskową Akademią Techniczną. W dwunastu z czternastu publikacji Doktorant stwierdza, że był głównym autorem (main responsibility), również w jednej, w której jest jedynym Autorem. W większości przypadków publikacje mają trzech autorów a rozrzut sięga od dwóch do sześciu autorów. Dla każdej publikacji Doktorant podaje w ogólny sposób zakres swojej pracy. W niezbyt precyzyjny sposób i w postaci dosłanej w dniu 15 lipca 2021 pocztą elektroniczną podano tzw. procentowy udział Doktoranta w przygotowaniu publikacji, potwierdzony przez pozostałych współautorów.

Oprócz czternastu publikacji (j. angielski) dostarczono krótkie streszczenie pracy w języku polskim i angielskim oraz szersze omówienie dysertacji w j. angielskim. W omówieniu tym zawarto tezę rozprawy doktorskiej, która brzmi następująco: „Mapping the impact of angular spread phenomenon on the beamformed antenna patterns significantly improves the accuracy of radio link budget”, którą można zinterpretować w następujący sposób: Odzworowywanie wpływu zjawiska kąтового rozproszenia na charakterystykę promieniowania anten z formowaniem wiązki w znaczący sposób poprawia dokładność bilansu energetycznego łącza radiowego.

1. Cel badań (w odniesieniu do tez rozprawy)

Jak wcześniej wspomniałem, Autor w omówieniu podał jedynie jedną tezę, którą postanowił dowieść, prowadząc odpowiednie badania symulacyjne i prezentując ich wyniki w czternastu publikacjach. Stwierdził on, że dotychczas stosowany model charakterystyki promieniowania anteny z formowaniem wiązki nazwany nominalnym powoduje znaczne przeszacowanie stosunku mocy sygnału użytecznego do mocy szumów i zakłóceń (SINR). Dlatego modyfikacja charakterystyki promieniowania tego typu anteny nadawczej, uwzględniająca kątowe rozproszenie mocy sygnału dochodzącego do anteny odbiorczej jak również modyfikacja charakterystyki anteny odbiorczej, wynikająca z odbioru sygnału przychodzącego z różnych kierunków umożliwi znacznie lepszą ocenę zarówno poziomu mocy sygnału użytecznego jak również poziomów mocy sygnałów zakłócających na wejściu odbiornika. Tego typu zmodyfikowane charakterystyki promieniowania anten Autor nazywa efektywnymi. W efekcie uzyskane zostanie narzędzie symulacyjne, które umożliwi lepsze planowanie systemów radiokomunikacyjnych stosujących anteny z formowaniem wiązki.

Recenzent nie jest zwolennikiem łączenia charakterystyki promieniowania anteny z charakterystyką rozproszeniową środowiska propagacyjnego. Po pierwsze tego typu charakterystyka nie może być eksperymentalnie zmierzona. Po drugie tego typu charakterystyka może zmieniać się w dużych granicach nie tylko dla danego środowiska ale również w danym środowisku może silnie zależeć od azymutu głównej wiązki promieniowania czy też pór roku. Po trzecie i tak należy określić charakterystykę rozproszeniową środowiska w postaci odchyłeń standardowych dla przekroju poziomego i pionowego. Oczywiście charakterystykę tę można przyjąć dla danych typów środowiska z literatury i specyfikacji technicznych opracowywanych w ramach 3GPP. Ale będą to jedynie wartości przybliżone a nie precyzyjnie opisujące dane środowisko rzeczywiste. Problem ten dostrzeżono na wczesnym rozwoju systemów komórkowych, w których istotnym elementem było uwzględnianie propagacji wielodrogowej. Dlatego też opracowano tzw. metodę wystrzeliwania promieni (Ray Launching), w której można uwzględnić w pełnym zakresie wpływ propagacji wielodrogowej spowodowany rozpraszającym środowiskiem. Tego typu system analizy został opracowany w ramach pracy doktorskiej przez prof. Kamila Stańca i jest z powodzeniem stosowany nawet do bardzo nietypowych środowisk. Z zasady działania umożliwia on wyznaczenie parametrów rozproszeniowych środowiska oraz określenie kąta nadejścia kolejnych składowych fali e-m do anteny odbiorczej i odpowiednie ich uwzględnianie przy wyznaczaniu mocy na wyjściu anteny. Określany jest również profil czasowy odbieranej mocy (PDP) wynikający z różniących się długości dróg propagacyjnych analizowanych promieni. Dysponując modelem cyfrowym środowiska 3D (DTM), który w przypadku Polski został opracowany dla większości dużych miast z rozdzielczością 10 m (a dla niektórych z 1 m rozdzielczością), można w precyzyjny sposób wyznaczać poziomy mocy zarówno sygnału użytecznego jak również sygnałów zakłócających. Tego typu analizy okupione są znacznie większym zapotrzebowaniem na moc obliczeniową i zasoby pamięciowe systemu i mogą również wydłużać czas uzyskania wyników.

Prawdopodobnie symulator Nokii, który był stosowany do analizy uwzględnia jedynie wpływ środowiska na promień propagowany rozchodzący się wzdłuż linii łączącej antenę nadawczą z anteną odbiorczą. Jest to znaczne uproszczenie, wpływające na czas obliczeń i w takim przypadku zaproponowane przez Doktoranta modyfikacje charakterystyk anten umożliwiają lepsze uwzględnienie zjawiska wielodrogowości wynikające z rozpraszającego charakteru środowiska.

2. Charakter rozprawy

Trudno w przypadku dokumentacji rozprawy w postaci zbioru publikacji mówić o jej charakterze. Inne cele mają publikacje w literaturze specjalistycznej a inny cel przyświeca monografii doktorskiej. Trudno również zrozumieć wprowadzenie możliwości doktoryzowania się na podstawie zbioru publikacji. Najczęściej są one wieloautorskie (wśród czterestu publikacji tylko jedna jest autorstwa jedynie Doktoranta). Niemożliwe jest zatem stwierdzenie dla każdej publikacji, na ile Doktorant jest autorem całej koncepcji, na ile przeprowadził on samodzielnie analizę literaturową tematu, na ile zaangażowany był w eksperymenty symulacyjne i na ile jest on autorem analizy wyników i wniosków oraz na ile był on edytorem danej publikacji. A przecież te elementy były dotychczas brane pod uwagę przy ocenie monografii doktorskiej.

Dlatego też zawartość merytoryczna zbioru publikacji zawiera w większości jedynie teoretyczne podejście do analizy tematyki z badaniami symulacyjnymi jako podstawowym narzędziem eksperymentalnym.

3. Sposób przeprowadzenia analizy źródeł. Sposób formułowania wniosków wynikających z analizy źródeł

Trudno jest ocenić sposób przeprowadzenia analizy źródeł i sposób formułowania wniosków wynikający z tej analizy, jeżeli do oceny przedstawiono zbiór publikacji. Do każdej publikacji dołączany jest zbiór referencji, wynikający z potrzeby odwoływania się do wcześniejszych publikacji Autora w danej tematyce czy też wymagań wydawnictwa i recenzentów tego wydawnictwa. Przykładowo w publikacji [6] mamy odwołania do 18 publikacji, w pięciu z nich Pan Kamil Bechta jest współautorem, w sześciu innych ich Autorzy realizowali ten sam projekt, pięć pozycji dotyczy oficjalnych dokumentów związanych z techniką New Radio a ostatnie dwa dotyczą książek z podstaw teorii anten i transformaty Fouriera. Również wnioski z przeprowadzonych symulacji w przypadku publikacji [6] dotyczą polepszenia działania systemu w środowisku podmiejskim dla określonych scenariuszy, wynikającego z zastosowania anteny stacji bazowej zawężających wiązkę w płaszczyźnie poziomej (16x4 i 24x6 elementów) w stosunku do zastosowania anten odpowiednio (8x8 i 12x12 elementów). Natomiast w tekście publikacji [6] na rys. 5 pokazano, że zastosowanie efektywnej charakterystyki zysku anteny zamiast nominalnej powoduje znaczne zbliżenie wyników do tych uzyskanych z tzw. modelu „Full 3D Simulation”. W obu przypadkach obserwujemy zmniejszenie wartości SINR w łączu w dół w stosunku do wartości wyznaczonych przy użyciu nominalnych charakterystyk zysku.

W publikacji [5] odwołano się do 31 pozycji, w tym 4 w których Doktorant jest współautorem. W publikacji tej Autorzy stwierdzają, że jest to pierwsza publikacja, w której przeprowadzono analizę dotyczącą optymalnej struktury wieloelementowej anteny pracującej w środowisku o określonych właściwościach rozpraszania kąowego mocy (PAS).

Analizy przeprowadzone w publikacji [1] odwołują się do ośmiu pozycji bibliograficznych, w większości dokumentów 3GPP i ITU-R.

W publikacji [2] odwołano się do 11 pozycji, w tym jednej Doktoranta i 4 z 3GPP.

W publikacji [3] odwołano się do 10 pozycji, w tym do dwóch z udziałem Doktoranta, dwóch z 3GPP. Pozostałe referencje w grupie publikacji od [1] do [6] bardzo często się powtarzają.

Podobnie, w publikacji [4] dowołano się do 11 pozycji bibliograficznych, w tym dwóch z udziałem Doktoranta, 3 z 3GPP. Pozostałe referencje w większości mieszczą się w tej samej grupie publikacji.

W publikacjach dotyczących modyfikacji sposobu wyznaczania współczynnika ekstrapolacji ([7] i [8]) wyraźnie widać, że publikacja [7] jest znacznie ograniczona pod względem merytorycznym i prezentuje analizę szczególnego przypadku. Dlatego też odwołuje się jedynie do dwóch dokumentów IEC, jednego 3GPP, pięciu publikacji napisanych przez prawie nie zmieniający się zespół analizujący straty propagacyjne dla systemu 5G w paśmie 28 GHz, dokumentacji opisującej parametry anteny oraz jednej publikacji zgłoszonej do IEEE, w której współautorem jest Doktorant. Publikacja [8] stanowi rozszerzenie zagadnienia i prezentuje symulacje dla większej liczby środowisk. Znacznie szersza i bardziej różnorodna jest również lista referencyjna, licząca 25 publikacji.

W publikacji [9] Doktorant odwołuje się do piętnastu pozycji bibliograficznych. Część z nich dotyczy dokumentów 3GPP, większość odwołuje się do publikacji analizujących komunikację z dronami. Jest również odwołanie do publikacji Kohonena, z którego algorytmu korzysta Doktorant.

W publikacji [11] znajdujemy odniesienia do 10 pozycji bibliograficznych, z których połowa dotyczy przedstawienia metody MPM przez jej twórców, Panów Ziółkowskiego i Kelnera. Dwa dotyczą dokumentacji 3GPP a pozostałe poświęcono m.in. tematyce zakłóceń między komórkami i techniką mMIMO. Brakuje publikacji dotyczących zakłóceń pomiędzy wiązkami.

Znacznie szerszy jest zbiór pozycji bibliograficznych związany z publikacją [12], która tematycznie stanowi rozszerzenie publikacji [11] w szczególności o badanie łącza NLOS. Wymieniono 42 pozycje bibliograficzne. W żadnej z nich, oprócz publikacji Doktoranta, nie zajmowano się zakłóceniami między wiązkami antenowymi łącza stacja bazowa – terminale. Recenzent znalazł tego typu publikacje, np.:

1. Sung Joon Maeng; Su Ho Park; Su Hyuk Moon; Yong Soo Cho.:
Inter-Beam Interference Reduction Technique for Millimeter-Wave Cellular Systems Using Hybrid Beamforming, 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall).
2. Sung Joon Maeng, Su Ho Park, Yong Soo Cho.:
Hybrid Beamforming for Reduction of Inter-Beam Interference in Millimeter-Wave Cellular Systems, Sensors 18(2):528, February 2018.
3. Medhat Elsayed, Kevin Shimotakahara and Melike Erol-Kantarci.: Machine Learning-based Inter-Beam Inter-Cell Interference Mitigation in mmWave,

Podobnie w publikacji [13] mamy bardzo liczny zbiór referencji liczący 42 pozycje. Do pozycji tych odwołano się we wstępnej części publikacji i odwołania dotyczą takiej tematyki, jak: zakłócenia wspólnokanałowe, technika massive-MIMO, technik minimalizacji zakłóceń czy też opisu wielo-eliptycznej metody propagacyjnej MPM. Wśród tych publikacji nie ma pozycji zajmującej się zakłóceniami pomiędzy wiązkami anteny z formowaniem wiązek, do której Doktorant mógłby odnieść wyniki uzyskane z własnych badań.

4. Rozwiązanie przedstawionego zadania, właściwości przyjętych metod i założeń

Publikacje oznaczone numerami od [1] do [6] dotyczą metod określania efektywnej charakterystyki promieniowania anteny na podstawie znajomości charakterystyki nominalnej oraz charakterystyki środowiska w postaci kąтового widma mocy (PAS) i wpływu zastąpienia charakterystyki nominalnej charakterystyką efektywną na SINR w zakresie częstotliwości powyżej 24 GHz (5g mmWave). W publikacji [6] [przedstawiono sposób wyznaczania charakterystyki efektywnej na podstawie charakterystyki nominalnej anteny i kąтового widma mocy PAS. Zwrócono uwagę na proste modele strat propagacyjnych w postaci $A+B\log_{10}(d)$ i mediany wielkości zaników dla trzech typów tras propagacyjnych LOS, VLOS i NLOS. Należy

sądzić, że w parametrach A i B uwzględniono wpływ środowiska propagacyjnego na bilans energetyczny łącza w kategoriach statystycznych. Zależność strat od odległości d liczonej po najkrótszej drodze pomiędzy stacją bazową i terminalem nie umożliwia uwzględnienia zjawiska wielodrogowości. Również uwzględnienie zysków anteny nadawczej i odbiorczej dla tak wyznaczonej trasy nie może uwzględniać wpływu efektów wielodrogowości. Stąd zastosowanie zamiast nominalnej charakterystyki zysku anten charakterystyki efektywnej, uwzględniającej zjawisko rozproszenia PAS, może wpłynąć w istotny sposób na bilans energetyczny łącza radiowego i w efekcie przybliżyć uzyskane w drodze symulacji wyniki do wartości rzeczywistych. W większości jednak przypadków uzyskane wyniki są raczej porównywane z wynikami otrzymanymi z tzw. symulatora 3D, którego właściwości i sposób działania nie zostały w ramach przedstawionego cyklu publikacji zweryfikowane eksperymentalnie.

W publikacji [5] Autor zajął się problemem optymalizacji struktury anteny z formowaniem wiązki. Wykazał on, że przy tej samej liczbie elementów promieniujących znacznie lepsze wyniki stosunku sygnału użytecznego do zakłóceń i szumu (SINR) w łączu stacja bazowa - terminal (DL) uzyskuje się stosując anteny lepiej zawężające szerokość wiązki w płaszczyźnie poziomej. Badania symulacyjne przeprowadzono dla kanionu miejskiego (środowisko UMi SC) i wykazano, że antena o strukturze 42×3 jest lepsza od anteny o strukturze 8×16 i podobnie struktura anteny 16×4 jest lepsza od anteny o strukturze 8×8 . Uzyskane wyniki są zgodne z wnioskami przedstawionymi w publikacji [6] dla środowiska podmiejskiego typu SubU FWA.

W publikacji tej podjęto również próbę eksperymentalnej weryfikacji optymalizacji struktury wieloelementowej anteny firmy Nokia (16×16 elementów) pracującej w paśmie 28 GHz. Doktorant deklaruje w tym przypadku, że przeprowadził pomiary weryfikacyjne z Panem Rybakowskim.

W publikacji [1] przeprowadzono analizę wpływu uwzględnienia przestrzennej filtracji do wyznaczenia poziomu sygnału użytecznego i zakłóceń i pokazano, że zastosowanie efektywnego zysku anteny zamiast zysku nominalnego prowadzi do istotnego zmniejszenia stosunku sygnału użytecznego do zakłóceń i szumu.

W publikacji [2] przedstawiono szereg przykładów wyznaczania efektywnej charakterystyki promieniowania anten nadawczych z formowaniem wiązki dla struktur 16×16 , 8×8 i odbiorczej 2×2 dla środowisk: miejskiego (UMa) i kanionu ulicznego (UMi SC). Wyznaczono dystrybuanty sygnału użytecznego, zakłóceń i stosunku SINR dla wcześniej wymienionych środowisk uwzględniając zarówno charakterystykę nominalną jak i efektywną zysku anteny. We wnioskach stwierdzono, że uwzględnienie w symulacjach zysku nominalnego prowadzi do niewłaściwego bilansu łącza stacja bazowa – terminale i w rezultacie do suboptymalnego projektowania sieci 5G.

W publikacji [3] zajęto się wpływem kąтового rozproszenia mocy na poziom pierwszego listka bocznego charakterystyki zysku anteny. Przeprowadzono analizy dla anteny z pobudzaniem elementów zgodnym z oknem Czebyszewa dla anteny z nominalnym i efektywnym przebiegiem charakterystyki zysku. Uzyskane wyniki wskazują na zmniejszenie wartości SSL w obu przypadkach, szczególnie w warunkach NLOS w środowisku UMa i UMi SC.

Publikacja [4] oprócz zagadnień w już wcześniej omówionych publikacjach prezentuje dodatkowo wyniki symulacji pojemności transmisyjnej komórki w środowisku podmiejskim. Uzyskane wyniki wskazują na znaczne zmniejszenie tej przepustowości, jeżeli zamiast charakterystyk nominalnych zastosujemy charakterystyki efektywne. W rezultacie nie stosowanie efektywnych charakterystyk zysku anten nadawczych może skutkować zbyt optymistyczną oceną pojemności komórki i prowadzić do nieoptymalnego planowania radiowego sieci 5G.

W publikacjach [7] i [8] skupiono się na określaniu poziomu natężenia pola elektromagnetycznego w otoczeniu stacji bazowej. Poziom ten, zgodnie z normą IEC 62232 jest obliczany na podstawie ekstrapolacji poziomu pola e-m wyznaczonego dla stabilnego mocowo sygnału rozświeczczego i ekstrapolowany na poziom związany z sygnałami ruchowymi przy maksymalnym obciążeniu stacji bazowej. Zastosowanie w tym przypadku do określenia poziomu pola e-m nominalnej charakterystyki zysku anteny, może prowadzić do znacznego przeszacowania poziomu w stosunku do wartości wyznaczanych przy użyciu efektywnej charakterystyki zysku anteny nadawczej i niepotrzebnie wpływać na ograniczenie maksymalnych mocy w kanałach ruchowych. Dotyczy to szczególnie środowiska miejskiego i braku bezpośredniej widoczności (NLOS).

W publikacji [7] przedstawiono wpływ zastosowania efektywnej charakterystyki zysku anteny zamiast nominalnej na współczynnik ekstrapolacji poziomu natężenia pola e-m zdefiniowany w normie IEC 62232. We wstępnej części publikacji odniesiono się do wcześniej prezentowanych zmian zysku anten w środowisku podmiejskim (suburban FWA) dla anteny o nominalnym zysku 14,5 dBi. W pozostałej części publikacji przeprowadzono analizę dla innej anteny i środowiska miejskiego (UMa – Urban Macro). Wykazano, że zastosowanie efektywnych charakterystyk zysku anteny zamiast nominalnych może prowadzić do zmniejszenia współczynnika ekstrapolacji od 1,5 do 2 dB. Zatem również wyznaczone przy użyciu metodologii IEC poziomy natężenia pola e-m będą odpowiednio niższe, szczególnie dla łącz typu NLOS.

Tej samej tematyce poświęcona jest publikacja [8], która pod względem merytorycznym stanowi rozszerzenie publikacji [7]. Zaprezentowano w niej wyniki symulacji dla trzech środowisk zdefiniowanych przez 3GPP: UMi SC, UMa i RMa oraz przedstawiono procedurę obliczeniową i jej wyniki dla łącza typu NLOS i środowiska UMa. Uzyskane wyniki potwierdzają i uszczegółwiają wnioski związane z potrzebą zmniejszenia współczynnika ekstrapolacji w warunkach NLOS w stosunku do współczynnika wyznaczanego z zastosowaniem nominalnych charakterystyk zysku anteny nadawczej.

Publikacja [9] dotyczy tematyki optymalnego przydziału kanałów w sieci komórkowej 4G lub 5G uzupełnionej przez bezzałogowe obiekty latające wyposażone w pokładowe punkty dostępowe, które mogą być nadzorowane i sterowane z jednego miejsca poprzez sieć komórkową. Ze względu na centralizację rozwiązania można wyznaczyć minimalną liczbę kanałów niezbędną do poprawnej pracy takiej sieci. Doktorant opracował odpowiedni algorytm przydziału kanałów bazujący na neuronowej sieci Kohonena i przeprowadził symulacje dla sieci składającej się z siedmiu komórek i odpowiednio jednego, trzech i dziewięciu latających punktów dostępowych. Opracowany w środowisku Matlab model symulacyjny umożliwia określenie minimalnej liczby kanałów zapewniającej uzyskanie kompatybilnej komunikacji z latającymi punktami dostępowymi. Prezentowana w tej publikacji tematyka odbiega od zagadnień związanych bezpośrednio z określaniem wpływu stosowania charakterystyki zysku efektywnego zamiast nominalnego na różne aspekty planowania sieci komórkowych. Należy również odnotować, że jest to jedyna publikacja ze zbioru czternastu publikacji udostępnionej przez Doktoranta, która jest tylko jego autorstwa.

W publikacji [10] Doktorant swoje badania odnosi do klasy systemów CBRS (Citizen Broadband Radio Service). Klasa ta zdefiniowana została przez WInnForum (Wireless Innovation Forum) w USA i stanowi trzypoziomową strukturę. W strukturze tej najwyższy poziom pierwszy zajmują systemy wymagające pełnej ochrony przed zakłóceniami pochodzącymi od innych systemów. Poziomu drugi i trzeci obejmują systemy zapewniające szerokopasmowy dostęp, w obrębie których wyróżnia się użytkowników licencjonowanych

(PAL) oraz nielicencjonowanych (GAA). Możliwością uzyskania dostępu do kanału steruje centralny kontroler dostępu do widma (SAS). Jest to amerykańskie podejście do tematu systemów kognitywnych, które w Europie jest realizowane na bazie nieco innych pod względem nazewnictwa rozwiązań. Na poziomie drugim i trzecim rozważane są systemy 4G LTE i 5G NR. Zatem prezentowane przez Doktoranta w tym artykule badania nie odbiegają od już wcześniej prezentowanych badań związanych ze stosowaniem w procedurach planowania sieci efektywnych charakterystyk anten zamiast normatywnych.

Publikacja [11] analizuje poziom zakłócenia na wyjściu anteny odbiorczej terminala pochodzący od wspólnokanałowej wiązki promieniowanej przez anteną nadawczą stacji bazowej stosującej technikę mMIMO w zależności od kątowej separacji wiązki pożądanego i zakłócającego. Wyniki symulacji przedstawiono dla środowiska UMa NLOS dla kanału z zakresu 3,5 GHz przy zastosowaniu wielo-eliptycznego modelu propagacyjnego (MPM). Uzyskane wyniki wskazują, że stosunek sygnału pożądanego do zakłócającego (SIR) wzrasta wraz ze wzrostem kąta pomiędzy wiązkami i wykazuje charakterystyczne lokalne maksima dla kątów 15° , 30° i 50° , które maleją wraz ze wzrostem odległości od stacji bazowej. Efekt ten związany jest z miejscami zerowymi charakterystyki anteny stacji bazowej. Nie został on jednak w tej publikacji zbadany dla charakterystyki efektywnej.

Publikacja [12] w znaczący sposób poszerza tematykę zaprezentowaną w publikacji [11]. Prezentuje ona w zarysie wielo-eliptyczny model propagacyjny (MPM). Ponadto w odniesieniu do modelu propagacyjnego preferowanego przez 3GPP rekomenduje zastosowanie do wyznaczania stosunku sygnału użytecznego do zakłócającego efektywne charakterystyki zamiast nominalnych stosowanych przez 3GPP. Część publikacji jest w dużej mierze powtórzeniem fragmentów publikacji [11]. Istotne są wyniki uzyskane przy użyciu metody MPM i metody zalecanej przez 3GPP. Powtórzono wyniki prezentowane w publikacji [11] dla łącza typu LOS. Dodano wyniki symulacji prowadzone dla łącza typu NLOS. W tym przypadku przebiegi SIR w funkcji kąta separacji wiązek są różne w zależności od zastosowanej metodologii. Zastosowanie metody propagacyjnej MPM nadal wykazuje lokalne maksima dla SIR. W przypadku metody 3GPP obserwujemy monotoniczny wzrost SIR wraz ze zwiększaniem kąta separacji wiązek. Również przebiegi dystrybuanty SIR wykazują znaczne różnice w zależności od wybranej metody analizy. Przykładowo wynik SIR dla wiązek z separacją 60° wynosi ok. 10 dB dla metody MPM natomiast 16 dB dla metody 3GPP i to niezależnie od analizowanej odległości. Z tego względu Autorzy prowadzą analizę poziomu ufności wyników. Odchylenia standardowe dla metody MPM są relatywnie małe i wynoszą 0,84 dB i 1,83 dB dla odpowiednio warunków LOS i NLOS. W przypadku metody 3GPP mamy odpowiednie wartości odchylenia standardowego wynoszące 0,94 dB i 8,91 dB. Z tak wyznaczonych danych wyciągnięto wniosek, że wartości uzyskane z symulacji metodą MPM dla warunków NLOS mieszczą się w przedziale ufności ± 1 sigma wartości obliczonych metodą 3GPP. Niestety wniosku tego nie można odwrócić, tzn. wartości wyznaczone metodą 3GPP nie mieszczą się w przedziale $\pm$ jeden sigma wartości wyznaczonych metodą MPM. Mamy to doskonały przykład porównywania jednej metody symulacyjnej do innej metody symulacyjnej. Trudno na tej podstawie stwierdzić, która z nich lepiej opisuje rzeczywistość. Metoda 3GPP jest metodą referencyjną. Aby wykazać, że metoda MPM lepiej opisuje sytuacje rzeczywiste związane z pracą łącza radiowego w warunkach braku bezpośredniej widoczności należy przeprowadzić pomiary w rzeczywistym środowisku lub zastosować np. metodę wystrzeliwania promieni w środowisku miejskim, w którym dysponujemy mapą DTM 3D pokrycia terenu z rozdzielczością 1 m.

Dalsze badania związane z zakłóceniami między wiązkami antenowymi tworzonymi przez stację bazową gNodeB systemu 5G NR działającą w paśmie 28 GHz i wyposażoną w antenę z

formowaniem wiązek dla łącza stacja bazowa – terminal (DL) i terminal – stacja bazowa (UL) przedstawiono w publikacji [13]. I w tym przypadku uzyskane wyniki potwierdzają użyteczność metody MPM w przypadku badania stosunku mocy sygnału użytecznego do mocy sygnału zakłócającego (SIR) dla warunków bezpośredniej widoczności (LOS) z charakterystycznymi maksimami wynikającymi z charakterystyki anteny nadawczej. Wielkość tych maksimów jest znacznie mniejsza w stosunku do wielkości maksimów uzyskanych przy użyciu metody referencyjnej 3GPP. Natomiast w przypadkach braku bezpośredniej widoczności (NLOS) uzyskane metodą MPM wyniki znacznie różnią się od wyników obliczonych przy zastosowaniu metody 3GPP. I w tym przypadku wartość odchylenia standardowego dla warunków NLOS dla metody MPM wynosi 1,69 dB a dla 3GPP jest równa 7,51 dB. Również przebieg średniej wartości SIR wyznaczony metodą MPM i 3GPP, szczególnie dla dużych kątów separacji wiązek wykazuje istotne różnice. Wyniki analizy łącza terminal – stacja bazowa (UL) metodą MPM dla warunków NLOS wskazują na bardzo mały wpływ wielkości kąta separacji wiązek na wartość stosunku SIR.

Publikacja [14], w której Doktorant wymieniony jest na czwartej pozycji listy pięciu autorów dotyczy analizy kompatybilności systemu 5G NR z systemami satelitarnymi pracującymi w paśmie 28 GHz oraz z liniami radiowymi pracującymi w paśmie 70 GHz. Przeanalizowano przypadki zakłócania odbiorników na pokładzie satelitów geostacjonarnych i na orbicie 9000 km od powierzchni Ziemi przez stacje bazowe 5G NR i terminale. Przyjęte założenia dotyczące analizy kompatybilności z systemami satelitarnymi są dyskusyjne. Służba stała satelitarna FSS jako służba pierwszej ważności wymaga pełnej ochrony przed zakłóceniami. W wielu przypadkach dopuszczalny wzrost zakłóceń ograniczany jest wzrostem temperatury szumowej systemu o 1% co skutkuje wymaganą wartością marginesu interferencyjnego I/N wynoszącą ok. -20 dB. Przyjęta w symulacjach wartość -12,2 dB będzie w wielu przypadkach niewystarczająca. Ponadto do analizy przyjęto model wiązki głównej anteny stacji bazowej poprawnie opisany parabolą. W przypadku zakłócania satelitów decyduje jednak nie główna wiązka promieniowania stacji bazowej a wiązki boczne. W artykule brak informacji, jak je uwzględniono. Z tego względu uzyskane wyniki symulacyjne są również dyskusyjne. Podobną sytuację mamy w przypadku analizy dla zakresu 70 GHz. Tematyka tej publikacji nie ma związku z tezą przedstawioną przez Doktoranta.

5. Oryginalność rozprawy, samodzielny dorobek autora, pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy (poziom techniki) prezentowanego w literaturze światowej

Analizując głównie publikacje związane bezpośrednio z postawioną przez Doktoranta tezą (publikacje od [1] do [6] oraz [7], [8] i [10]) mogę stwierdzić ich oryginalność. Stosowane dotychczas metody propagacyjne bazujące na wyznaczeniu strat propagacyjnych w funkcji odległości pomiędzy stacją bazową i terminalem mogą przeszacowywać poziom sygnału użytecznego i niedoszacowywać poziom zakłóceń. Zaproponowana przez Doktoranta modyfikacja charakterystyki promieniowania anteny uwzględniająca katowe rozproszenie fali e-m, szczególnie w środowiskach miejskich, umożliwia lepsze uwzględnienie zjawiska rozpraszania katowego fali i lepsze oszacowanie bilansu energetycznego łącza i związane z tym zmodyfikowane podejście do procesu planowania sieci. Takie podejście nie było dotychczas prezentowane przez innych autorów.

6. Poprawność przedstawienia uzyskanych wyników (zwięzłość, jasność, umiejętność przekonywania, poprawność redakcyjna)

Cykl publikacji wymieniony przez Doktoranta został pozytywnie oceniony przez recenzentów czasopism i recenzentów konferencji, co potwierdza ich poprawność redakcyjną. Również zdecydowana większość publikacji prezentuje tematykę w sposób zwięzły i zrozumiały. Jediną słabą stroną większości prezentowanych wyników jest brak ich eksperymentalnego potwierdzenia. Szkoda, że obecnie szeroko stosowaną metodą badawczą jest prowadzenie symulacji komputerowych przy użyciu często bardzo skomplikowanych modeli matematycznych i porównywanie wyników jednych symulacji do wyników innych symulacji. Nie daje to recenzentowi możliwości szczegółowej oceny poprawności i jakości działania systemów symulacyjnych i tak bardzo potrzebnej w technice ich weryfikacji eksperymentalnej.

7. Słabe strony rozprawy

Dobre praktyki związane z oceną rozprawy doktorskiej przedstawionej jako cykl powiązanych tematycznie publikacji powinny być sformułowane przez jednostki naukowe. Poniżej prezentuje takie praktyki sformułowane przez Instytut Badawczy Leśnictwa, z którymi Recenzent w pełni się zgadza.

„Cykl publikacji składających się na rozprawę doktorską musi być opracowany i przedłożony jako **rozprawa doktorska**. Rozprawa doktorska winna być przygotowana przez doktoranta w formie maszynopisu o następującym układzie:”

Wymaganie	Spełnione	Uwagi
Strona tytułowa (tytuł, autor, dziedzina i dyscyplina naukowa, promotor, jednostka naukowa, miejsce i rok opracowania rozprawy)	tak	Brak dziedziny i dyscypliny naukowej
Wykaz prac naukowych wchodzących w skład cyklu (pełna bibliografia, punkty MNiSzW, zgodne z rokiem opublikowania pracy, ew. <i>Impact Factor</i>)	tak	
Spis treści	tak	
Wykaz stosowanych skrótów (opcjonalnie)	tak	Brak, ale wymaganie opcjonalne. W większości prezentowanych publikacji też brak stosowanych skrótów i definicji wielkości
Streszczenie w jęz. polskim	tak	
Streszczenie w jęz. angielskim	tak	
Wstęp, w którym naświetlony jest problem badawczy	tak	
Hipoteza i cel badań	tak	Zawarta w tezie
Materiał i metody badawcze: należy opisać szczegółowo metody i materiał badawczy wykorzystane przez doktoranta w publikacjach stanowiących cykl	tak	Przedstawione w „Overview of the disseratation”
Wyniki badań: w tej części należy wyeksponować najważniejsze wyniki, które są efektem badań przeprowadzonych przez doktoranta i zostały zamieszczone w publikacjach wchodzących w skład cyklu publikacji. Można również przedstawić wyniki badań i analiz (w tym np. tabele, ryciny, schematy) wykonanych przez doktoranta , które nie zostały włączone do publikacji	tak	Przedstawione w „Overview of the disseratation”
Dyskusja	tak	Zawarte w publikacjach i „Overview...”
Wnioski	tak	Zawarte w publikacjach i „Overview ...”

Literatura (dotyczy publikacji, które cytowano w rozprawie doktorskiej)	nie	Brak opisu najważniejszych informacji z cytowanych publikacji, które w istotny sposób ukierunkowały badania Doktoranta, np. wyników pomiarów wykonanych przez innych autorów
Kopie opublikowanych lub przyjętych do druku (z nr DOI lub dostępnych jako „online early”) prac wchodzących w skład cyklu publikacji	tak	
Oświadczenia współautorów dotyczących wkładu doktoranta w przygotowanie opublikowanych prac naukowych (określenie udziału procentowego oraz na czym polegał ten udział, np: koncepcja badań, zebranie materiału badawczego, wykonanie analiz laboratoryjnych, zebranie obserwacji, obliczenia statystyczne, napisanie maszynopisu pracy, odpowiedź na recenzje pracy itp.)	nie	Częściowy brak oświadczeń i określenia procentowego udziału (w ograniczonym zakresie uzupełniony w przesłanych pocztą elektroniczną oświadczeniach)
Promotor lub promotor pomocniczy powinien być współautorem przynajmniej jednej publikacji, które wchodzi w skład rozprawy doktorskiej doktoranta	tak	ale publikacje [1] do [10] (najważniejsze) i [14] nie mają współautora będącego promotorem pracy i lista autorów związana jest prawdopodobnie z projektem realizowanym przez wieloosobowy zespół

Jak widać z przedstawionej wcześniej tabeli, nie są spełnione dwa wymagania dobrych praktyk. Jedno z nich jest o istotnym znaczeniu dotyczy braku oświadczeń współautorów dla wszystkich publikacji stanowiących pracę doktorską. Dośłane w dniu 15 lipca 2021 oświadczenia dotyczą publikacji {2}, [3], [4], [6], [7], [8], [10]. Są one podpisane przez wszystkich współautorów i potwierdzają dominujący udział Doktoranta. Publikacje [5], [11], [12], [13] i [14] nie zawierają podpisów współautorów.

Drugie związane jest z cytowaniem wielu publikacji bez szczegółowego odniesienia się do zawartych w nich badań i uzyskanych wyników. Zarówno badania jak również wyniki prezentowane w cytowanej literaturze, które doprowadziły doktoranta do sformułowania tezy rozprawy powinny być szczegółowo omówione w „Overview of the dissertation”. Do oceny Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja WAT pozostawiam stopień spełnienia tych dobrych praktyk.

Recenzent wnikliwie przeczytał wszystkie publikacje udostępnione przez Doktoranta. Cechuje je w wielu przypadkach powtarzanie określonych fragmentów szczególnie we wstępie oraz powtórne prezentacje wyników. W przypadku tezy postawionej przez Doktoranta istotne znaczenie mają publikacje od [1] do [6] i [10] związane z zaproponowanym przez Doktoranta efektywnym zyskiem anteny do obliczania bilansu energetycznego łącza radiowego oraz publikacje [7] i [8] dotyczące wyznaczania ekspozycji na pole e-m przy zastosowaniu efektywnego zysku anteny zamiast normatywnego zysku.

Badania prezentowane w pozostałych publikacjach nie są ściśle powiązane z dowodzeniem tezy postawionej przez Doktoranta. Publikacje [9] i [14] są bardzo luźno związane z dowodzeniem tezy, natomiast publikacje [11] – [13] wskazują na konieczność stosowania metod propagacyjnych uwzględniających rozproszenie kątowe fali elektromagnetycznej w środowisku miejskim do określania poziomu zakłóceń między wiązkami antenowymi poprzez zastosowanie

wielo-eliptycznego modelu propagacyjnego (MPM). W publikacjach [5] i [14] Doktorant wskazuje swój nieznaczny wkład w ich realizację w wysokości 10% i 15% odpowiednio.

8. Przydatność rozprawy dla nauk technicznych, przemysłu, obronności kraju, itp.

Wykazanie na drodze symulacji komputerowych zwiększenia dokładności predykcji bilansu energetycznego łącza radiowego systemów 5G NR prowadzi do bardziej precyzyjnego planowania tych systemów i lepszej oceny stopnia ekspozycji na pole elektromagnetyczne emitowane przez stacje bazowe stosujące technikę mMIMO. Zastosowanie wskazanych przez Doktoranta modyfikacji procesu planowania sieci może przyczynić się do uzyskania lepszego pokrycia terenu sygnałem radiowym.

9. Podsumowanie (czy rozprawa spełnia wymagania przez obowiązujące przepisy)

Biorąc pod uwagę wartość merytoryczną rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Kamila Bechta, w której wskazał on na możliwość bardziej precyzyjnego określania bilansu energetycznego łącza radiowego systemu 5G NR przy użyciu efektywnej charakterystyki promieniowania anteny zamiast normatywnej charakterystyki **mogę stwierdzić, że spełnia ona wymagania.**


.....
podpis