



INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Oddział we Wrocławiu

Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej (Z-21)

**Metody badania wpływu zakłóceń systemów radiowych
następnych generacji (LTE, IEEE 802.22, DAB+, DVB-T) na
istniejące środowisko radiowe w celu efektywnego
gospodarowania widmem**

Raport Z21/21300020/1392/10

WROCŁAW, grudzień 2010

Metryka dokumentu

Nr pracy : Z21/21300020/1392/10

Nazwa pracy : Metody badania wpływu zakłóceń systemów radiowych następnych generacji (LTE, IEEE 802.22, DAB+, DVB-T) na istniejące środowisko radiowe w celu efektywnego gospodarowania widmem

Zleceniodawca : Praca Statutowa

Data rozpoczęcia : Styczeń 2010 r.

Data zakończenia : Grudzień 2010 r.

Słowa kluczowe : Kompatybilność elektromagnetyczna, LTE, IEEE 802.22, DAB+, DVB-T

Kierownik pracy : dr inż. Dariusz Więcek

Wykonawcy pracy : dr inż. Dariusz Więcek
dr inż. Janusz Sobolewski
mgr inż. Bartłomiej Gołębiowski
mgr inż. Daniel Niewiadomski
mgr inż. Jacek Wroński

Praca wykonana w Pracowni Gospodarki i Inżynierii Widma
Zakładu Kompatybilności Elektromagnetycznej
Instytutu Łączności we Wrocławiu
Kierownik Pracowni Gospodarki i Inżynierii Widma: dr inż. Dariusz Więcek
Kierownik Zakładu Z21: dr inż. Janusz Sobolewski

Niniejsze opracowanie może być powielane i publikowane wyłącznie w całości
Powielanie i publikowanie fragmentów wymaga uzyskaniu zgody Instytutu Łączności PIB

© Copyright by Instytut Łączności PIB, Wrocław 2010

SPIS TREŚCI

1.	Wstęp	5
2.	Analiza współczynników ochronnych DVB-T z innymi systemami.....	6
2.1	Wyznaczenie współczynników ochronnych DVB-T z systemem IEEE 802.22 (WRAN)	6
2.2	Analiza współczynników ochronnych DAB+ z systemem IEEE 802.22 (WRAN)	12
3.	Kompatybilność systemu IEEE 802.22 (WRAN) i DVB-T	13
3.1	Scenariusz analizy kompatybilności systemu IEEE 802.22 i DVB-T.....	14
3.1.1	Parametry systemów	15
3.1.1.1	System telewizji naziemnej DVB-T.....	15
3.1.1.2	System IEEE 802.22 (WRAN).....	17
3.2	Wyniki analiz	19
3.2.1	Wpływ częstotliwości emisji DVB-T na odległości ochronne BS.....	19
3.2.2	Wpływ wysokości anteny nadawczej WRAN na odległości ochronne BS....	23
3.2.3	Wpływ częstotliwości pracy nadajnika CPE na odległości ochronne CPE w tym samym kanale.....	28
3.2.4	Wpływ częstotliwości pracy nadajnika DVB-T na odległości ochronne BS dla systemu WRAN pracującego w kanale sąsiednim.....	30
3.3	Omówienie wyników analiz kompatybilności systemu DVB-T i systemu WRAN	32
3.3.1	Praca systemu DVB-T i systemu WRAN w tym samym kanale telewizyjnym	32
3.3.2	Praca systemu DVB-T i systemu WRAN w kanałach sąsiednich	40
4.	Kompatybilność systemów IEEE 802.22 i DAB+	43
4.1	Scenariusz analizy kompatybilności systemów IEEE 802.22 (WRAN) i DAB+	43
4.1.1	Parametry systemów	44
4.1.1.1	System radiofonii cyfrowej DAB+	44
4.1.1.2	System IEEE 802.22 (WRAN).....	47
4.2	Wyniki analiz	48
4.2.1	Wpływ wysokości anteny nadawczej WRAN na odległość ochronną BS	48
4.2.2	Analiza kompatybilności odbiornika DAB+ i urządzenia CPE	51
4.3	Omówienie wyników analiz kompatybilności systemu DAB+ i systemu WRAN	51
5.	Kompatybilność systemów DVB-T i LTE	55
5.1.1	Parametry systemów	55
5.1.1.1	System telewizji naziemnej DVB-T.....	56

5.1.1.2	System LTE.....	57
5.2	Wyniki analiz.....	59
5.3	Omówienie wyników	63
6.	Wykorzystanie technik Cognitive Radio w paśmie 490-790 MHz	68
6.1	Wyniki analiz.....	72
6.1.1	Wpływ poziomu detekcji na prawdopodobieństwo interferencji.....	72
6.1.2	Wpływ odległości WSD na prawdopodobieństwo interferencji	74
6.1.3	Wpływ liczby urządzeń WSD na prawdopodobieństwo interferencji.....	77
6.1.4	Wpływ poziomu błędu detekcji na prawdopodobieństwo interferencji	78
6.2	Omówienie wyników analiz	80
7.	Podsumowanie	81
8.	Literatura	82

1. Wstęp

Uruchomienie systemów radiowych kolejnych generacji w istniejącym środowisku elektromagnetycznym wymaga rozpoznania potencjalnych zagrożeń wynikających z możliwości powstania zakłóceń interferencyjnych do (i od) już pracujących systemów radiowych w trakcie wykonania analizy dostępności widma częstotliwości radiowych. Zagadnienie kompatybilności elektromagnetycznej pomiędzy systemami radiowymi jest jednym z najistotniejszych problemów podczas przygotowań do wdrożenia nowego systemu. Badania kompatybilności (czy to pomiarowe czy symulacyjne) są konieczne ze względu na częsty brak wiedzy na temat zachowania się istniejących odbiorników radiowych wykorzystywanych i obecnie pracujących w tym samym i w sąsiednich pasmach częstotliwości, w obecności planowanych nowych zakłóceń – związanych z chęcią uruchomienia kolejnych systemów radiowych, w tym samym i sąsiednim paśmie częstotliwości a także w związku z koniecznością ochrony nowego systemu przed zakłóceniami pochodzącymi od systemów już istniejących. Ponieważ transmisja mobilna i łączność radiowa staje się obecnie dominującym sposobem komunikacji, intensywność i efektywność wykorzystania widma radiowego jest jednym z kluczowych problemów współczesnej łączności. Aktualnie uruchamiane są na świecie pierwsze sieci łączności mobilnej następnej generacji (NGMN): LTE, WiMax, pojawiają się nowe standardy takie jak Regionalne Sieci Bezprzewodowe (WRAN) IEEE 802.22 wykorzystujące proste mechanizmy radia kognitywnego, trwają prace nad wymaganiami i przygotowywana jest standaryzacja zaawansowanych przyszłych radiowych sieci kognitywnych (np. propozycja standardu IEEE 1900.7 w ramach grupy IEEE SCC41), które w sposób dynamiczny będą zarządzać pasmem radiowym i będą w sposób optymalny efektywnie wykorzystywać widmo radiowe. Uruchamiane są sieci naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T mieszczącej w jednym kanale radiowym multipleks wielu programów telewizyjnych. Te wszystkie działania przyczyniają się do narastającego problemu wzajemnych zakłóceń systemów radiowych kolejnych generacji. Podjęte w ramach niniejszej pracy zagadnienia kompatybilności elektromagnetycznej nowych systemów radiowych mają na celu ocenę problemu wzajemnych zakłóceń, wyspecyfikowanie kompatybilnych warunków pracy a przez to przygotowanie do wdrożenia nowych systemów radiowych w widmie radiowym.

2. Analiza współczynników ochronnych DVB-T z innymi systemami

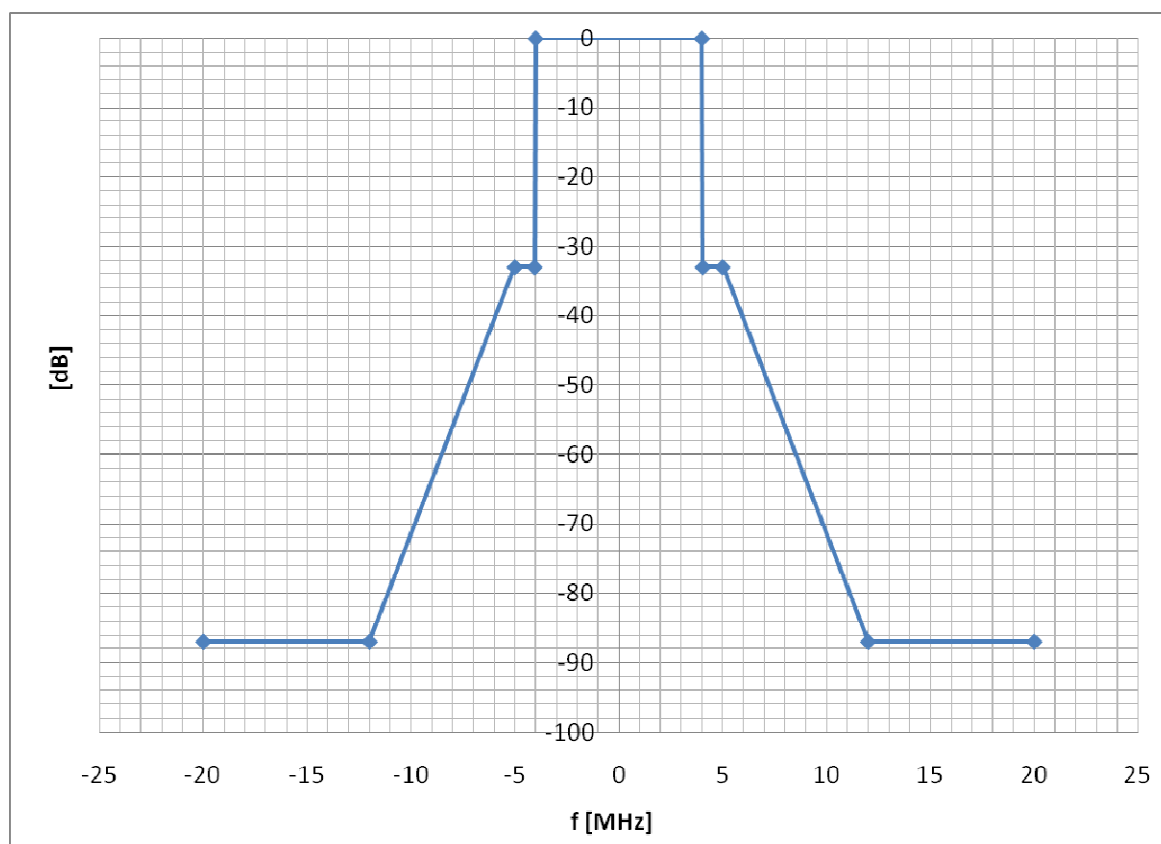
Współczynniki ochronne są podstawowym kryterium kompatybilności międzysystemowej. Definiują one taki stosunek mocy sygnału użytecznego do zakłócającego (w dB), przy którym występujące zakłócenia nie powodują niedopuszczalnej degradacji jakości danych usług. Współczynniki ochronne zwykle wyznacza się na podstawie laboratoryjnych badań pomiarowych przeprowadzanych przez wiele niezależnych instytucji. Badania tego typu są złożone, drogie i czasochłonne. Następnie wyniki badań uzgadnia się wspólnie na forum międzynarodowym, w czasie spotkań pomiędzy różnymi krajami w ramach prac CEPT i ITU.

Możliwe jest także analityczne wyznaczanie współczynników ochronnych za pomocą symulacji komputerowych. W tym celu niezbędne jest opracowanie analitycznego modelu odbiornika danego systemu i metody analizy kompatybilności. Dla cyfrowej telewizji naziemnej DVB-T opracowano taki model odbiornika [1, 2]. Dzięki wykorzystaniu tego modelu możliwe jest analityczne wyznaczenie współczynników ochronnych dla różnych systemów mogących zakłócać odbiór w przypadku systemu DVB-T.

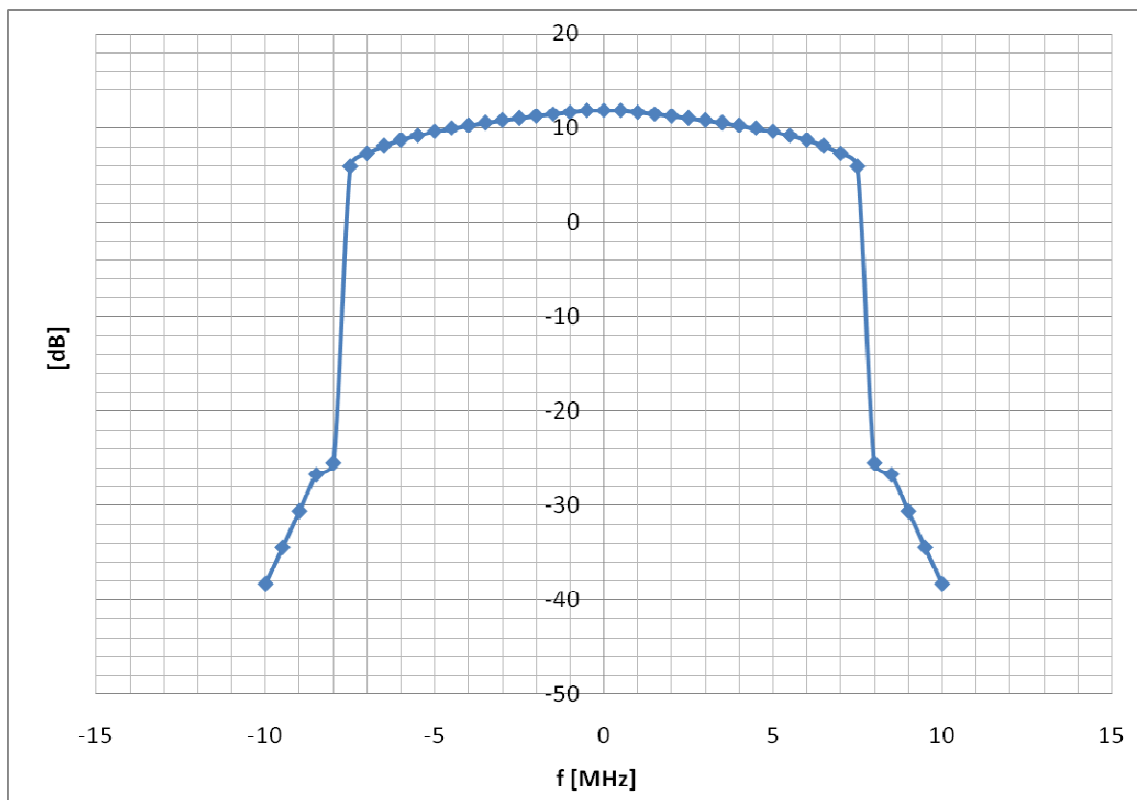
2.1 Wyznaczenie współczynników ochronnych DVB-T z systemem IEEE 802.22 (WRAN)

Poniżej przedstawiono otrzymane wyniki analiz wyznaczenia współczynników ochronnych dla systemu telewizji DVB-T od systemu IEEE 802.22 (WRAN), którego standaryzacja jest obecnie na ukończeniu i który ma szansę na wejście do praktycznego użycia w roku 2011. System wykorzystuje białe przestrzenie widma radiowego w pasmach telewizyjnych stąd konieczne jest ocenienie jego kompatybilności z systemami telewizyjnymi takimi jak DVB-T aby możliwe było wyznaczenie niezbędnych separacji geograficznych dla systemu WRAN i zdefiniowanie obszarów białych przestrzeni widma w pasmach TV. Do analizy wyznaczenia współczynników ochronnych przyjęto maskę nadajnika WRAN

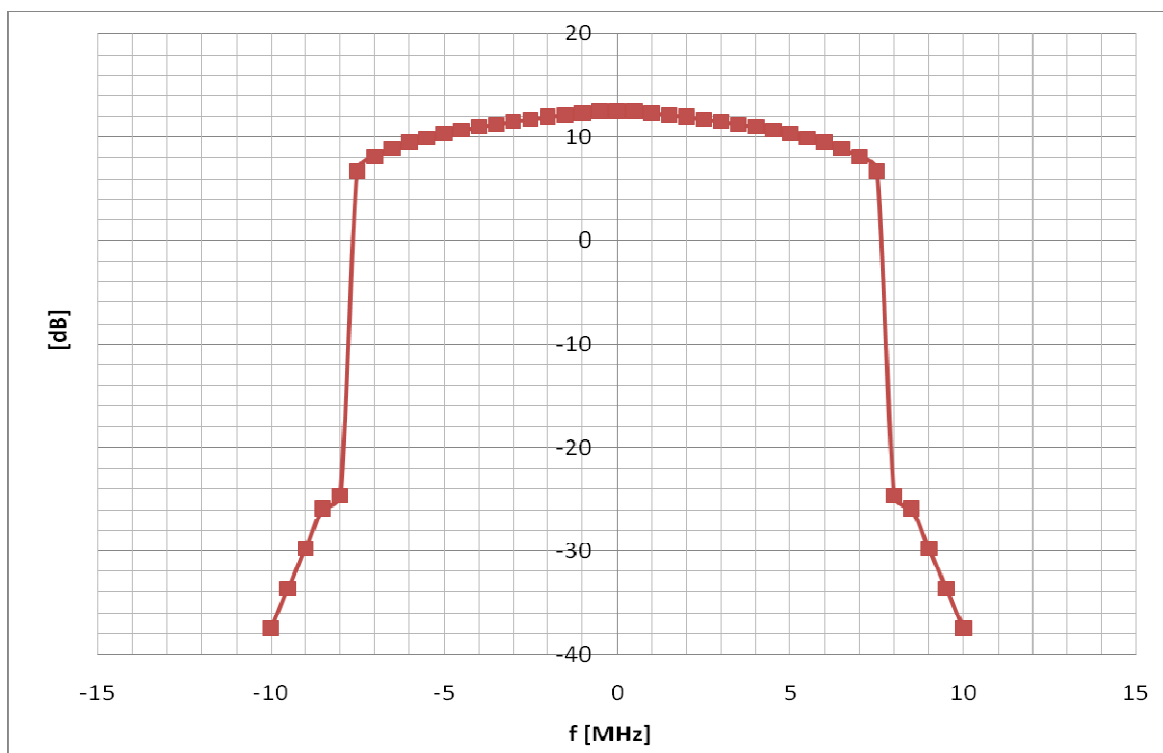
przedstawioną poniżej na rysunku. Szczegółowe założenia modelu odbiornika DVB-T i sposobu wyznaczania współczynników ochronnych opisano w [1,2].



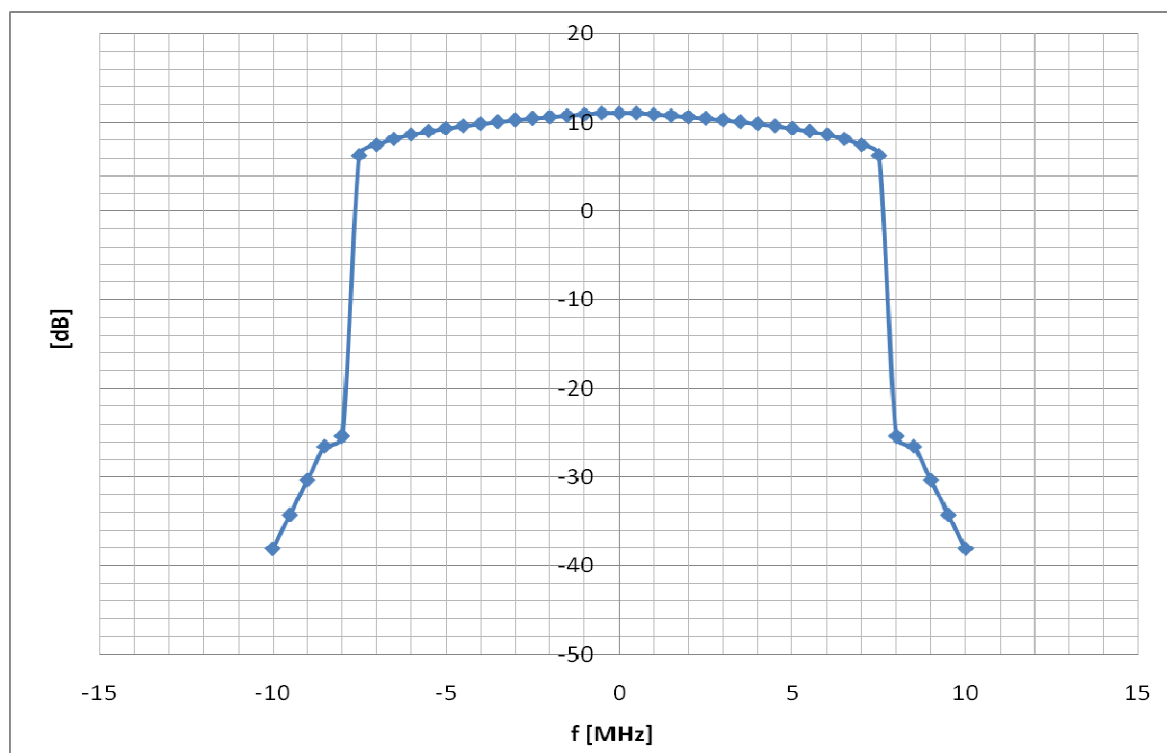
Rysunek 1. Maska emisji nadajnika WRAN przyjęta do analiz



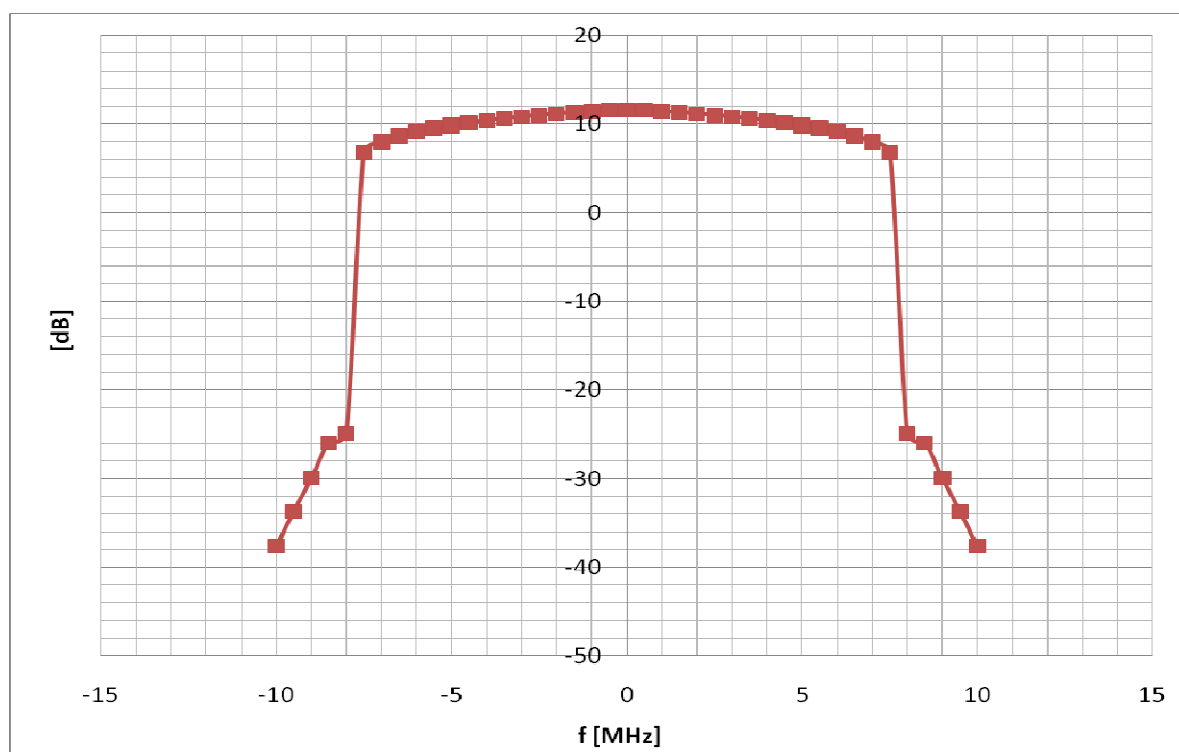
Rysunek 2. Wyznaczone analitycznie wartości współczynnika ochronnego dla systemu DVB-T 16QAM, kod 1/2 od systemu WRAN



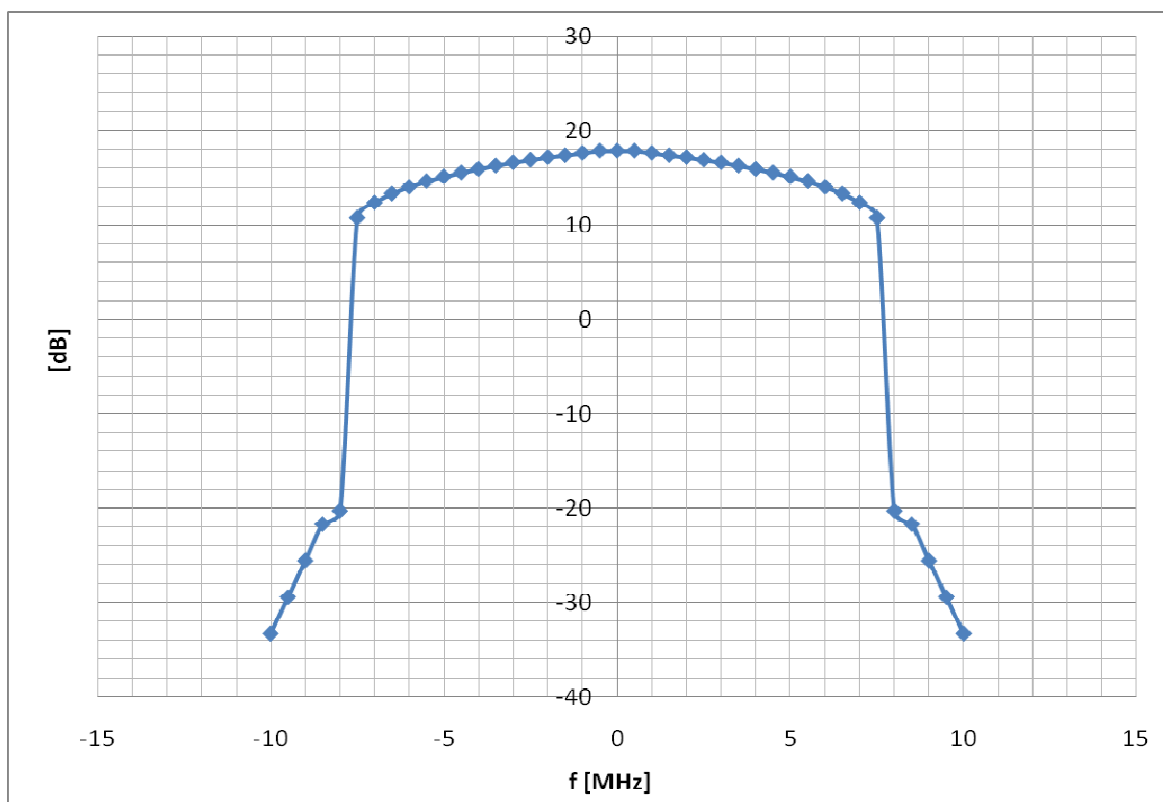
Rysunek 3. Wyznaczone analitycznie wartości współczynnika ochronnego dla systemu DVB-T 16QAM, kod 2/3 od systemu WRAN



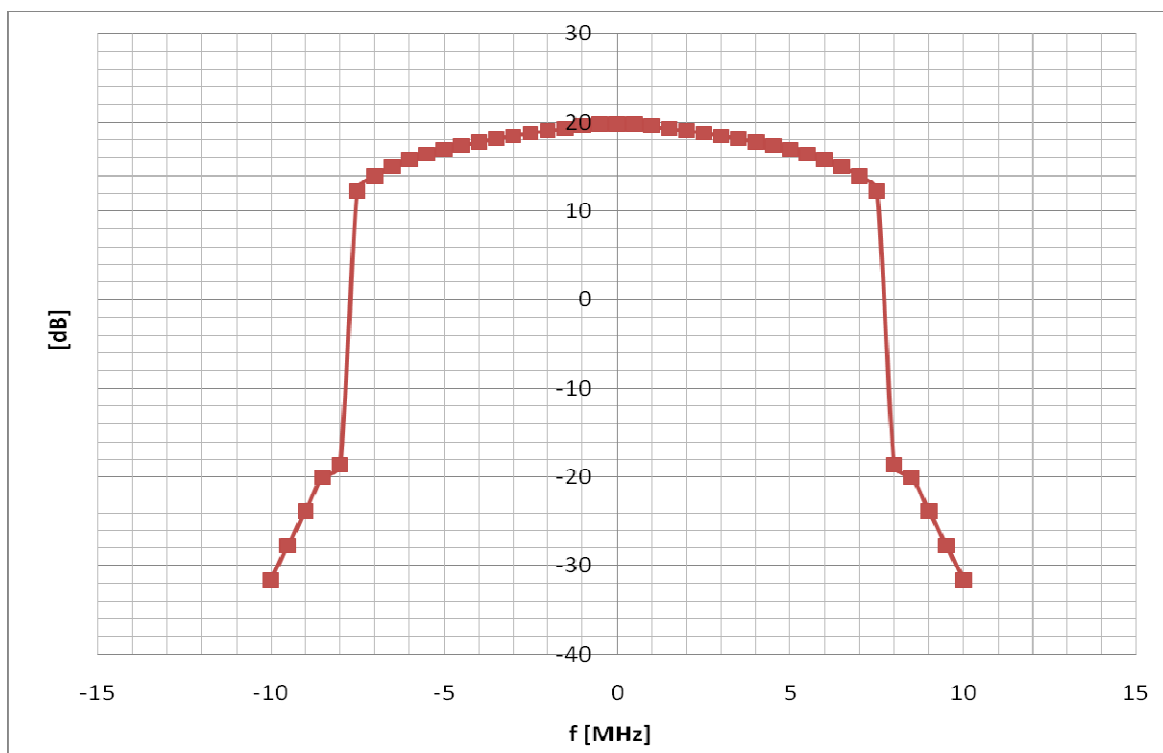
Rysunek 4. Wyznaczone analitycznie wartości współczynnika ochronnego dla systemu DVB-T 16QAM, kod 3/4 od systemu WRAN



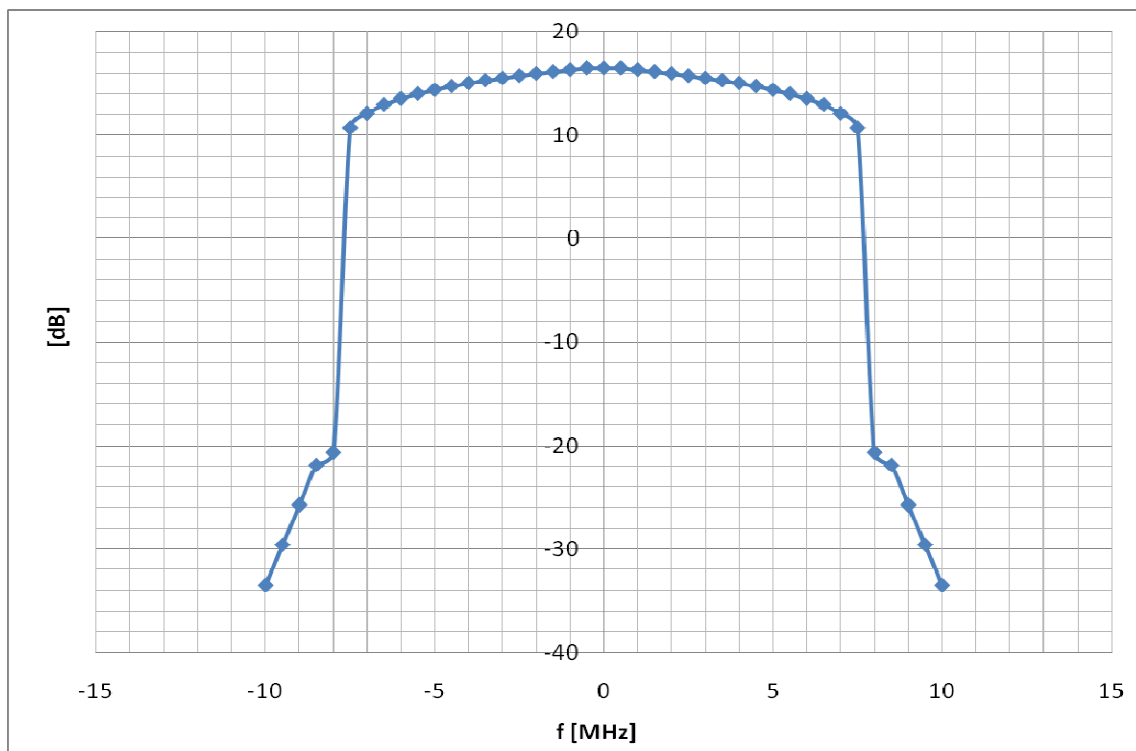
Rysunek 5. Wyznaczone analitycznie wartości współczynnika ochronnego dla systemu DVB-T 16QAM, kod 5/6 od systemu WRAN



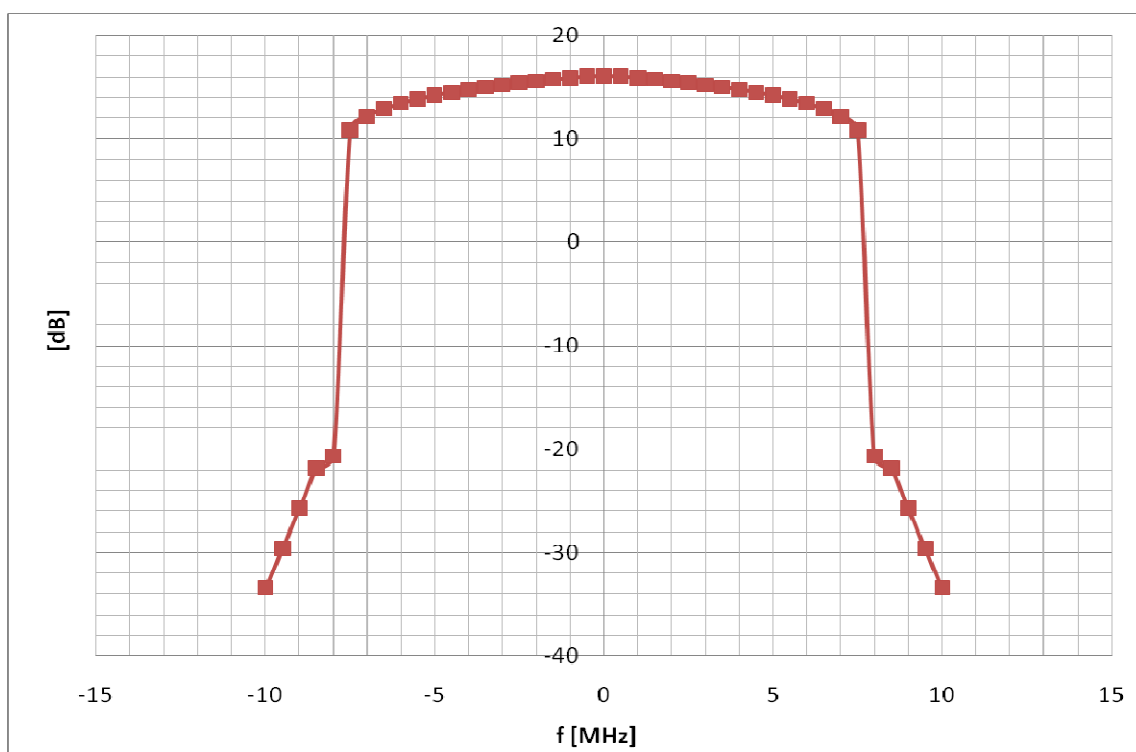
Rysunek 6. Wyznaczone analitycznie wartości współczynnika ochronnego dla systemu DVB-T 64QAM, kod 1/2 od systemu WRAN



Rysunek 7. Wyznaczone analitycznie wartości współczynnika ochronnego dla systemu DVB-T 64QAM, kod 2/3 od systemu WRAN



Rysunek 8. Wyznaczone analitycznie wartości współczynnika ochronnego dla systemu DVB-T 64QAM, kod 3/4 od systemu WRAN



Rysunek 9. Wyznaczone analitycznie wartości współczynnika ochronnego dla systemu DVB-T 64QAM, kod 5/6 od systemu WRAN

2.2 Analiza współczynników ochronnych DAB+ z systemem IEEE 802.22 (WRAN)

System WRAN może pracować w szerokim zakresie częstotliwości, także w paśmie VHF. Stąd powinno się dokonać analizy kompatybilności z nowymi systemami radiofonii cyfrowej (T-DAB+), celem zdefiniowania obszarów białych przestrzeni widma radiowego i wymaganych warunków kompatybilności.

Analogicznie jak w poprzednim punkcie wyznaczono analitycznie współczynniki ochronne dla systemu DAB+ bazującego na masce widma T-DAB. Wyznaczono współczynnik współnokanałowy. Uzyskane wartości współczynnika ochronnego współnokanałowego dla systemu DVB-T, zostały przeliczone na system T-DAB.

Tabela 1. Wartość współczynników ochronnych przyjęte podczas badań kompatybilności

Modulacja	Sprawność kodu	Współczynnik ochronny [dB]
QPSK	1/2	11,88

3. Kompatybilność systemu IEEE 802.22 (WRAN) i DVB-T

Celem analizy kompatybilności jest zbadanie wpływu działania systemu IEEE 802.22 (WRAN - Wireless Regional Area Network) na system naziemnej telewizji cyfrowej w standardzie DVB-T, które mają w przyszłości pracować w jednym paśmie częstotliwościowym 470 MHz - 862 MHz.

Standard IEEE 802.22 jest jednym z systemów radiowych, który może pracować na zasadzie systemu kognitywnego (Cognitive Radio) w paśmie wykorzystywanym przez rozsiewcze systemy telewizyjne.

Analizy pozwolą określić w jaki sposób system bezprzewodowego dostępu do Internetu wpływa na odbiorniki telewizyjne pracujące w pobliżu urządzeń WRAN. Emisje telewizyjne w tym paśmie pracują na zasadzie służby pierwszej ważności, natomiast urządzenia systemu WRAN w przyszłości prawdopodobnie będą mogły w Polsce pracować jako służba drugiej ważności o ile zostanie podjęta taka decyzja przez Administrację po przeanalizowaniu aspektów kompatybilności elektromagnetycznej. Dlatego też, każdy odbiornik telewizji cyfrowej leżący w zasięgu odbioru stacji powinien mieć obszar ochronny, w którym nie mogą pracować urządzenia systemu WRAN. Wyznaczenie obszarów ochronnych następuje przy użyciu dopuszczalnego maksymalnego stosunku SIR (Signal to Interference Ratio) definiowanego jako współczynnik ochronny oraz wykonaniu analiz propagacyjnych pozwalających na szacowanie wymaganej odległości separacyjnej. Wartości współczynników ochronnych dla systemu DVB-T zakłócanego przez różne systemy są określone w Zaleceniu ITU-R.1368 [2]. W przypadku systemu WRAN konieczne jest użycie opracowanych wartości współczynników ochronnych, ze względu na fakt, że nie zostały jeszcze dla tego standardu przyjęte wartości współczynników ochronnych na forum międzynarodowym.

W wyniku analiz określono odległości separacyjne (ochronne) dla pracujących obok siebie systemów DVB-T i WRAN dla różnych zadanych parametrów obu systemów.

3.1 Scenariusz analizy kompatybilność systemu IEEE 802.22 i DVB-T

Analizy zostały wykonane za pomocą oprogramowania SEAMCAT 3.2.0. Wyznaczone obszary zasięgu użytecznego zostały wyznaczone na podstawie modelu propagacyjnego ITU-R.1546 [2] dla 50% czasu i 50% miejsc, natomiast dla promieniowania niepożądanego dla 1% czasu i 50% miejsc. Dodatkowo analizy wykonano dla terenów wiejskich (Rural) oraz terenów podmiejskich (Suburban).

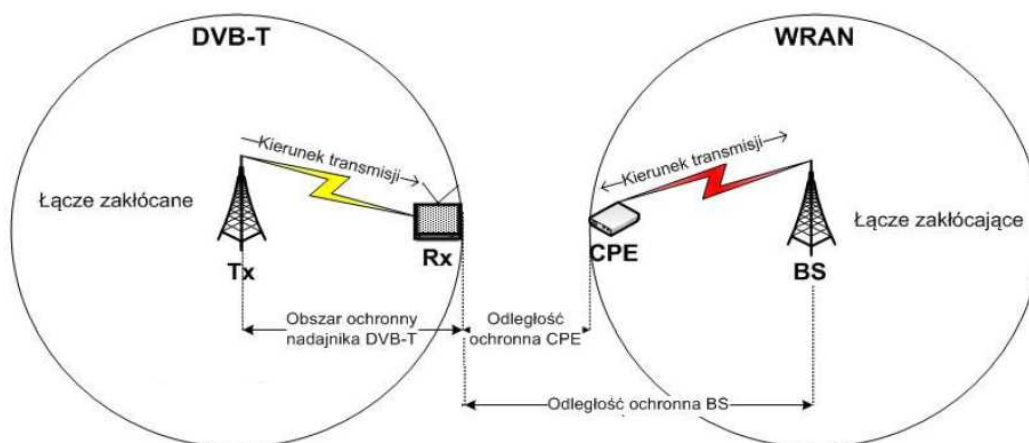
Scenariusz wykorzystany w analizach zakładał najgorszy przypadek tzn. taki, w którym odbiornik telewizyjny znajduje się na skraju zasięgu użytecznego (minimalny użyteczny poziom natężenia pola). Sytuację tą przedstawia Rysunek 10

Scenariusz I zakłada, że zmianie podczas analiz ulega odległość ochronna BS, która jest odległością stacji bazowej BS systemu WRAN od odbiornika TV. Natomiast scenariusz II zakłada, że zmianie podczas analiz ulega odległość ochronna CPE – czyli odległość urządzenia konsumenckiego CPE od odbiornika TV.

Wartości współczynników ochronnych wykorzystane podczas analiz dotyczą systemu DVB-T i zostały przedstawione poniżej (Tabela 2).

Tabela 2. Wartości współczynników ochronnych przyjęte podczas badań kompatybilności

Kanał gdzie pracuje System WRAN (w kanale N pracuje DVB-T)	Modulacja	Współczynnik ochronny
N	16-QAM	14
$N \pm 1$		-30
N	64-QAM	20
$N \pm 1$		-30



Rysunek 10. Scenariusz użyty podczas analizy, scenariusz I analiza odległości ochronnej BS, scenariusz II analiza odległości ochronnej CPE

3.1.1 Parametry systemów

Parametry analizowanych systemów, które zostały wykorzystane do przeprowadzonych analiz w oprogramowaniu SEAMCAT, przedstawiono w kolejnych podrozdziałach.

3.1.1.1 System telewizji naziemnej DVB-T

W przeprowadzonej analizie system telewizji naziemnej DVB-T pełnił rolę łącza zakłócanego. Analiza prawdopodobieństwa wystąpienia zakłóceń została przeprowadzona w trzech pasmach, w której odbywa się transmisja telewizji cyfrowej. Kanały testowe wraz z częstotliwościami środkowymi, jak również zasięgami użytecznymi dla poszczególnych częstotliwości przedstawiono poniżej.

Tabela 3. Kanały DVB-T używane podczas analiz

Numer kanału TV	Częstotliwość [MHz]	Zasięg użyteczny DVB-T [km]
10	206	83
23	490	65
59	778	56

Ponadto w środowisku symulacyjnym SEAMCAT konieczne było wprowadzenie oddzielnych parametrów dla nadajnika i odbiornika DVB-T. Poniżej w tabelach przedstawiono wszystkie parametry, które zostały użyte podczas wyznaczania prawdopodobieństwa wystąpienia interferencji.

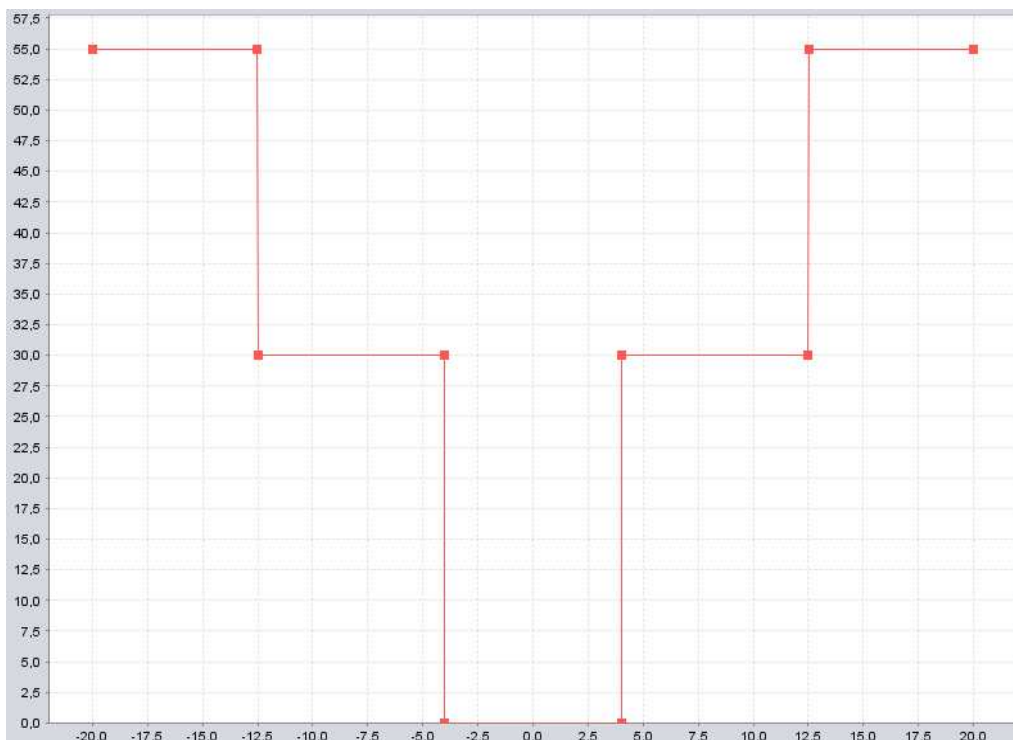
Tabela 4. Parametry nadajnika DVB-T

Wysokość zawieszenia anteny [m]	ERP [kW]	Charakterystyka promieniowania	Szerokość kanału
200	100	Dookólna	7,61 MHz

Tabela 5. Parametry odbiornika DVB-T

Wysokość zawieszenia anteny	Czułość	Charakterystyka promieniowania	Zysk anteny nadawczej	Szerokość kanału
10 m	-75 dBm	Dookólna	12 dBi	7,61 MHz

Dodatkowo istotną cechą odbiornika jaką trzeba było uwzględnić w pomiarach była maska odbiornika telewizyjnego. Maskę użytą do analizy przedstawiono na rysunku poniżej.



Rysunek 11. Maska odbiornika DVB-T

3.1.1.2 System IEEE 802.22 (WRAN)

W przeprowadzonej analizie system IEEE 802.22 pełnił rolę łącza zakłócającego. W odróżnieniu od systemu DVB-T transmisja mogła się odbywać zarówno od stacji bazowej do CPE (Downlink), jak również od stacji CPE do stacji nadawczej (Uplink). Parametry nadajnika WRAN i urządzenia konsumenckiego CPE wykorzystane podczas pomiarów przedstawiono w tabelach poniżej [8, 9].

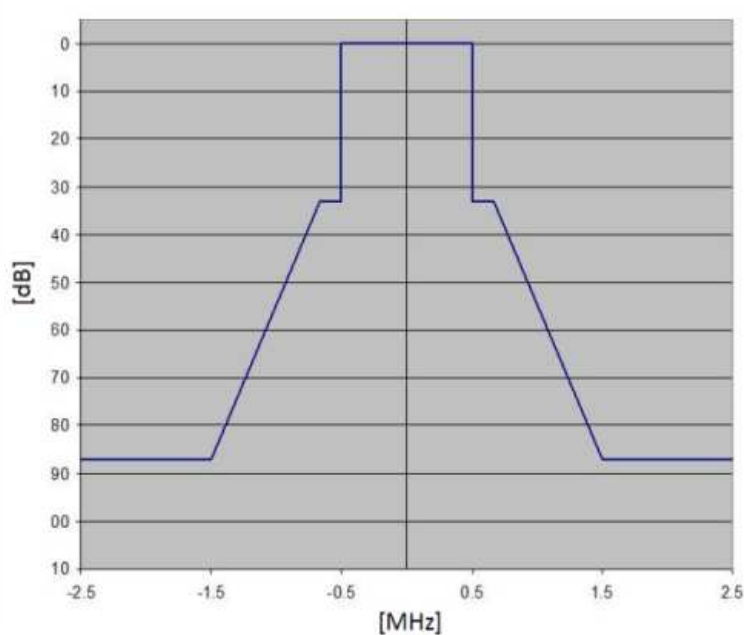
Tabela 6. Parametry nadajnika WRAN

Wysokość zawieszenia anteny [m]	Moc nadawania	Charakterystyka promieniowania	Zysk anteny nadawczej	Straty doprowadzeń	Szerokość kanału
25 50 75 100	100 W	Kierunkowa	12 dBi	3 dB	7,49 MHz

Tabela 7. Parametry urządzenia konsumenckiego CPE

Wysokość zawieszenia anteny	Czułość	Charakterystyka promieniowania	Zysk anteny nadawczej	Straty doprowadzeń	Szerokość kanału
10 m	-75 dBm	Kierunkowa	10 dBi	4 dB	7,61 MHz

Ponadto w symulacjach uwzględniono maskę emisji nadajnika WRAN, którą przedstawia Rysunek 12 [9].



Rysunek 12. Maska emisji nadajnika WRAN przyjęta do analiz

3.2 Wyniki analiz

3.2.1 Wpływ częstotliwości emisji DVB-T na odległości ochronne BS

Przeprowadzona analiza miała na celu zbadanie wpływu zastosowania różnych częstotliwości (kanałów) do emisji DVB-T na prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w odbiorniku telewizyjnym w funkcji odległości ochronnej BS w przypadku transmisji od nadajnika WRAN do urządzenia CPE. Do analizy wykorzystano kanały 10, 23, 59, moc nadawania nadajnika DVB-T była równa 100kW, wysokość zawieszenia anteny nadajnika DVB-T 200m, natomiast wysokość zawieszenia nadajnika WRAN miała wartość 50m. Pozostałe parametry nadajników i odbiorników obu systemów przyjęto tak, jak to zostało przedstawione na wstępie. Analizy przeprowadzono dla emisji DVB-T z wykorzystaniem modulacji 64-QAM, kod 5/6 oraz dla modulacji 16-QAM, kod 3/4.

Tabela 8. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa [%] interferencji w funkcji odległości ochronnej BS dla danych parametrów stacji TV

Kanał TV: 10 Odległość odbiornika TV od nadajnika: 83 km Stacja nadawcza DVB-T: EIRP 100 kW, hłok 200m DVB-T: 64-QAM 5/6		
Odległość BS – odb. TV [km]	Rodzaj środowiska	
	Podmiejski	Wiejski
1	100	100
5	99,99	99,99
10	99,62	99,67
15	96,88	96,82
20	88,17	88,19
25	73,68	74,26
30	57,77	57,93
35	42,89	42,86
40	29,93	30,37
45	20,46	20,57
50	14,1	14,21

Kanał TV: 10 Odległość odbiornika TV od nadajnika: 83 km Stacja nadawcza DVB-T: EIRP 100 kW, hłok 200m DVB-T: 64-QAM 5/6		
Odległość BS – odb. TV [km]	Rodzaj środowiska	
	Podmiejski	Wiejski
55	9,31	9,63
60	6,38	6,66
65	4,52	4,46
70	3,03	2,83
75	2,1	1,94
80	1,47	1,4
85	1,04	0,96
90	0,71	0,75
95	0,49	0,49
100	0,39	0,37
105	0,23	0,21
110	0,2	0,15
115	0,1	0,11
120	0,09	0,07
125	0,05	0,05
130	0,02	0,03
135	0	0,02
140	0	0,01
145	0	0

Tabela 9. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa [%] interferencji w funkcji odległości ochronnej BS dla danych parametrów stacji TV

Kanał TV: 23 Odległość odbiornika TV od nadajnika: 65 km Stacja nadawcza DVB-T: EIRP 100 kW, hłok 200m DVB-T: 64-QAM 5/6		
Odległość BS – odb. TV [km]	Rodzaj środowiska	
	Podmiejski	Wiejski
1	100	100
5	99,99	99,99
10	98,7	98,27
15	86,64	87,12
20	63,63	63,55

Kanał TV: 23 Odległość odbiornika TV od nadajnika: 65 km Stacja nadawcza DVB-T: EIRP 100 kW, hłok 200m DVB-T: 64-QAM 5/6		
Odległość BS – odb. TV [km]	Rodzaj środowiska	
	Podmiejski	Wiejski
25	38,41	38,81
30	20,77	20,75
35	10,4	10,21
40	4,9	4,36
45	2,19	2,14
50	0,98	0,92
55	0,37	0,47
60	0,2	0,16
65	0,14	0,11
70	0,05	0,05
75	0,02	0,02
80	0,01	0,01
85	0	0

Tabela 10. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa [%] interferencji w funkcji odległości ochronnej BS dla danych parametrów stacji TV

Kanał TV: 59 Odległość odbiornika TV od nadajnika: 56 km Stacja nadawcza DVB-T: EIRP 100 kW, hłok 200m DVB-T: 64-QAM 5/6		
Odległość BS – odb. TV [km]	Rodzaj środowiska	
	Podmiejski	Wiejski
1	100	100
5	99,87	99,89
10	97,73	94,15
15	69,5	69,22
20	37,67	33,47
25	15,78	15,84
30	5,88	5,86
35	1,95	1,95
40	0,67	0,76
45	0,18	0,24

Kanał TV: 59 Odległość odbiornika TV od nadajnika: 56 km Stacja nadawcza DVB-T: EIRP 100 kW, hłok 200m DVB-T: 64-QAM 5/6		
Odległość BS – odb. TV [km]	Rodzaj środowiska	
	Podmiejski	Wiejski
50	0,03	0,09
55	0,02	0,01
60	0	0

Tabela 11. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa [%] interferencji w funkcji odległości ochronnej BS dla danych parametrów stacji TV

Stacja nadawcza DVB-T: EIRP 100 kW, hłok 200m DVB-T 16-QAM, 3/4			
Odległość BS – odb. TV [km]	Odległość odbiornika TV od nadajnika [km]		
	102	76	66
	Kanał telewizyjny		
	10	23	59
1	100	100	100
5	99,99	99,96	99,92
10	99,78	97,93	92,22
15	97,72	84,08	63,62
20	89,21	55,72	27,37
25	74,2	29,83	10,5
30	56,79	12,42	2,54
35	39,7	5,63	0,81
40	25,3	2,27	0,18
45	16,73	0,68	0,09
50	10,7	0,28	0,01
55	6,38	0,37	0
60	4,13	0,12	0
65	2,93	0,08	0
70	1,59	0,01	0
75	1,12	0	0
80	0,64	0	0
85	0,36	0	0
90	0,34	0	0
95	0,23	0	0
100	0,13	0	0
105	0,03	0	0
110	0	0	0

3.2.2 Wpływ wysokości anteny nadawczej WRAN na odległości ochronne BS

Przeprowadzona analiza miała na celu zbadanie wpływu zawieszenia anteny nadawczej WRAN na prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w odbiorniku telewizyjnym w funkcji odległości ochronnej BS w przypadku transmisji od nadajnika WRAN do urządzenia CPE. Do analizy wykorzystano kanały 10, 23, 59, wysokość zawieszenia anteny nadawczej DVB-T była równa 200 m, a moc nadawania 100 kW. Pozostałe parametry nadajników i odbiorników obu systemów przyjęto tak jak to zostało przedstawione w rozdziale Otrzymane wyniki przedstawiają poniższe tabele.

Tabela 12. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa interferencji [%] w funkcji odległości ochronnej BS dla różnych wartości zawieszenia nadajnika WRAN (kanał TV 10, środowisko suburban, DVB-T 64-QAM 5/6)

Odległość BS – odb. TV [km]	Wysokość zawieszenie anteny nadajnika WRAN [m]			
	25	50	75	100
1	100	100	100	100
5	97,97	99,69	99,85	99,96
10	76,66	91,86	96,52	98,27
15	46,24	71,4	83,21	90,08
20	22,4	46,85	63,38	74,36
25	10,44	27,72	43,05	55,5
30	4,91	15,69	26,89	38,21
35	2,2	8,67	16,48	25,6
40	1,07	4,82	9,51	14,81
45	0,53	2,42	5,76	9,45
50	0,32	1,39	3,49	5,9
55	0,12	0,9	1,86	3,61
60	0,05	0,43	1,25	2,32
65	0,03	0,25	0,72	1,32
70	0	0,12	0,48	0,86
75	0	0,08	0,25	0,4
80	0	0,03	0,17	0,33
85	0	0	0,09	0,22
90	0	0	0,07	0,12
95	0	0	0,03	0,08

Odległość BS – odb. TV [km]	Wysokość zawieszenie anteny nadajnika WRAN [m]			
	25	50	75	100
100	0	0	0,02	0,07
105	0	0	0	0,04
110	0	0	0	0,02
115	0	0	0	0

Tabela 13. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa interferencji [%] w funkcji odległości ochronnej BS dla różnych wartości zawieszenia nadajnika WRAN (kanał TV 23, środowisko suburban, DVB-T 64-QAM 5/6)

Odległość BS – odb. TV [km]	Wysokość zawieszenie anteny nadajnika WRAN [m]			
	25	50	75	100
1	100	100	100	100
5	99,73	99,97	100	100
10	90,77	98,02	99,23	99,79
15	64,27	86,84	94,37	97,12
20	32,83	63,28	79,81	88,27
25	13,52	38,98	58,77	71,32
30	5,22	20,43	37,69	51,74
35	1,83	9,71	22,2	34,21
40	0,64	4,67	12,07	21,41
45	0,24	2,05	6,29	12,12
50	0,07	0,99	3,02	7,08
55	0,04	0,41	1,7	3,46
60	0,02	0,24	0,71	1,94
65	0	0,1	0,39	0,97
70	0	0,04	0,17	0,43
75	0	0,02	0,08	0,2
80	0	0	0,04	0,14
85	0	0	0,01	0,08
90	0	0	0	0,03
95	0	0	0	0,01
100	0	0	0	0

Tabela 14. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa interferencji [%] w funkcji odległości ochronnej BS dla różnych wartości zawieszenia nadajnika WRAN (kanał TV 59, środowisko suburban, DVB-T 64-QAM 5/6)

Odległość BS – odb. TV [km]	Wysokość zawieszenie anteny BS WRAN [m]			
	25	50	75	100
1	100	100	100	100
5	96,75	99,47	99,85	99,93
10	61,73	86,21	93,64	97,01
15	21,28	51,99	71,2	81,53
20	4,66	21,14	38,99	54,56
25	0,82	6,64	17,07	29,77
30	0,11	1,8	6,3	13,16
35	0,02	0,55	2,06	5,32
40	0	0,14	0,69	2,07
45	0	0,03	0,26	0,71
50	0	0	0,08	0,24
55	0	0	0,02	0,08
60	0	0	0	0,02
65	0	0	0	0,01
70	0	0	0	0

Tabela 15. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa interferencji [%] w funkcji odległości ochronnej BS dla różnych wartości zawieszenia nadajnika WRAN (kanał TV 10, środowisko suburban, DVB-T 16-QAM 3/4)

Odległość BS – odb. TV [km]	Wysokość zawieszenie anteny BS WRAN [m]			
	25	50	75	100
1	100	100	100	100
5	100	100	100	100
10	98,55	99,8	99,93	99,99
15	89,73	97,77	99,3	99,77
20	68,29	89,54	96,23	98,25
25	44,18	74,92	87,1	93,73
30	27,52	56,81	73,89	85,06
35	15,64	40,79	58,4	71,69
40	9,13	26,54	43,39	56,57
45	5,04	16,97	30,25	43,27
50	2,48	10,49	20,69	31,53
55	1,42	7,14	14,83	21,56
60	0,78	4,31	9,3	15,18
65	0,68	2,69	5,87	10,32
70	0,45	1,39	3,96	6,56
75	0,3	1,05	2,43	4,76
80	0,1	0,71	1,66	3,05

Odległość BS – odb. TV [km]	Wysokość zawieszenie anteny BS WRAN [m]			
	25	50	75	100
85	0,06	0,39	1,2	2,03
90	0,01	0,25	0,65	1,19
95	0	0,14	0,52	1,03
100	0	0,11	0,27	0,52
105	0	0,06	0,25	0,34
110	0	0,02	0,19	0,26
115	0	0	0,14	0,13
120	0	0	0,05	0,11
125	0	0	0,03	0,1
130	0	0	0,01	0,05
135	0	0	0	0,02
140	0	0	0	0,01
145	0	0	0	0

Tabela 16. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa interferencji [%] w funkcji odległości ochronnej BS dla różnych wartości zawieszenia nadajnika WRAN (kanał TV 23, środowisko suburban, DVB-T 16-QAM 3/4)

Odległość BS – odb. TV [km]	Wysokość zawieszenie anteny BS WRAN [m]			
	25	50	75	100
1	100	100	100	100
5	99,79	99,99	100	100
10	89,36	97,76	99,26	99,77
15	56,48	84,23	92,96	96,62
20	22,92	55,81	75,2	85,32
25	7,48	29,29	49,89	66,04
30	2,37	12,83	27,65	43,74
35	0,75	5,51	14,87	25,94
40	0,22	2,18	6,63	13,93
45	0,04	0,9	3,18	7,01
50	0	0,26	1,3	3,26
55	0	0,03	0,57	1,53
60	0	0,02	0,27	0,84
65	0	0	0,06	0,27
70	0	0	0,03	0,11
75	0	0	0,01	0,04
80	0	0	0	0,02
85	0	0	0	0,01

Odległość BS – odb. TV [km]	Wysokość zawieszenie anteny BS WRAN [m]			
	25	50	75	100
90	0	0	0	0

Tabela 17. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa interferencji [%] w funkcji odległości ochronnej BS dla różnych wartości zawieszenia nadajnika WRAN (kanał TV 59, środowisko suburban, DVB-T 16-QAM 3/4)

Odległość BS – odb. TV [km]	Wysokość zawieszenie anteny BS WRAN [m]			
	25	50	75	100
1	100	100	100	100
5	98,65	98,87	99,99	100
10	71,78	92,37	97,35	98,78
15	29,09	63,56	80,29	89,12
20	6,46	27,58	49,37	64,93
25	1,08	9,61	23,6	37,63
30	0,2	2,75	9,21	18,31
35	0,02	0,23	1,05	7,52
40	0	0,03	0,36	2,75
45	0	0,01	0,11	1,32
50	0	0	0,07	0,33
55	0	0	0,01	0,1
60	0	0	0	0,06
65	0	0	0	0,02
70	0	0	0	0

3.2.3 Wpływ częstotliwości pracy nadajnika CPE na odległości ochronne CPE w tym samym kanale

Przeprowadzona analiza miała na celu zbadanie wpływu różnych częstotliwości pracy nadajnika CPE na prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w odbiorniku telewizyjnym w funkcji odległości ochronnej CPE w przypadku transmisji od urządzenia CPE do nadajnika WRAN w tym samym kanale telewizyjnym. Do analizy wykorzystano kanały 10, 23 i 59. Wysokość zawieszenia nadajnika DVB-T i nadajnika CPE wynosiła odpowiednio 200 m i 50 m, natomiast moc nadajnika DVB-T była równa 100 kW. Pozostałe parametry nadajników i odbiorników obu systemów przyjęto tak jak to zostało przedstawia rozdział 3.1.1. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabelach poniżej.

Tabela 18. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa interferencji [%] w funkcji odległości ochronnej CPE dla różnych częstotliwości (kanałów) urządzenia CPE (DVB-T 64-QAM 5/6)

Odległość urządzenia CPE od odbiornika TV [km]	Kanał		
	10	23	59
	Suburban		
1	100	99,99	99,86
2	99,35	97,94	94,16
3	95,23	87,14	73,46
4	85,37	67,16	45,5
5	70,5	44,75	23,19
6	54,09	26,87	10,43
7	38,84	14,75	4,17
8	26,97	7,29	1,53
9	18,16	3,79	0,62
10	11,5	1,63	0,21
11	7,42	0,77	0
12	4,54	0,35	0
13	3,04	0,15	0
14	1,68	0,07	0
15	1	0,05	0
16	0,69	0,02	0
17	0,38	0	0
18	0,24	0	0
19	0,18	0	0
20	0,11	0	0

Odległość urządzenia CPE od odbiornika TV [km]	Kanał		
	10	23	59
	Suburban		
21	0,1	0	0
22	0,06	0	0
23	0,02	0	0
24	0,01	0	0
25	0	0	0

Tabela 19. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa interferencji [%] w funkcji odległości ochronnej CPE dla różnych częstotliwości (kanałów) urządzenia CPE (DVB-T 16-QAM 3/4)

Odległość urządzenia CPE od odbiornika TV [km]	Kanał		
	10	23	59
	Suburban		
1	100	100	100
2	99,9	99,24	98,7
3	98,94	93,16	86,07
4	94,4	77,8	36,58
5	85,15	55,73	16,71
6	70,9	35,72	6,98
7	56,44	19,21	2,58
8	40,98	10,2	1,13
9	28,56	5,02	0,03
10	19,66	2,66	0,01
11	12,75	0,92	0
12	8,11	0,56	0
13	4,92	0,27	0
14	3,21	0,21	0
15	2,03	0,1	0
16	1,43	0,05	0
17	0,86	0,02	0
18	0,52	0	0
19	0,33	0	0
20	0,19	0	0
21	0,14	0	0
22	0,08	0	0
23	0,04	0	0
24	0,01	0	0
25	0	0	0

3.2.4 Wpływ częstotliwości pracy nadajnika DVB-T na odległości ochronne BS dla systemu WRAN pracującego w kanale sąsiednim

Przeprowadzona symulacja miała na celu zbadanie wpływu różnych częstotliwości pracy nadajnika DVB-T na prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w odbiorniku telewizyjnym w funkcji odległości ochronnej BS w przypadku transmisji od nadajnika WRAN do urządzenia CPE oraz w kierunku przeciwnym. Ponadto system WRAN pracował w kanale sąsiednim. Do analizy wykorzystano kanał 23 dla systemu DVB-T. Wysokość zawieszenia nadajnika DVB-T i nadajnika WRAN wynosiła odpowiednio 100 m i 50 m, natomiast moc nadajnika DVB-T była równa 100kW. Pozostałe parametry nadajników i odbiorników obu systemów przyjęto tak dla poprzednich analiz.

Tabela 20. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa interferencji [%] w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika TV, dla kanałów sąsiednich (TV – k.23, WRAN k.22 i 24)

Odległość stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T [km]	DVB-T kanał 23 200m 100kw DVB-T 16-QAM 3/4	
	WRAN BS 50m	
	Kanał 24	Kanał 22
	Suburban	
1	97,86	98,16
2	76,86	78,19
3	46,92	47,21
4	24,01	24,98
5	11,87	12,28
6	4,95	5,36
7	2,22	2,44
8	0,88	0,9
9	0,42	0,36
10	0,1	0,23
11	0,08	0,06

Odległość stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T [km]	DVB-T kanał 23 200m 100kw DVB-T 16-QAM 3/4	
	WRAN BS 50m	
	Kanał 24	Kanał 22
	Suburban	
12	0,01	0,04
13	0	0,02
14	0	0

Tabela 21. Wyniki analiz wystąpienia prawdopodobieństwa interferencji [%] w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika TV, dla kanałów sąsiednich (TV – k.23, WRAN k.22 i 24)

Odległość stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T [km]	DVB-T kanał 23 200m 100kw DVB-T 64-QAM 5/6	
	WRAN BS 50m	
	Kanał 24	Kanał 22
	Suburban	
1	95,16	95,88
2	66,17	68,15
3	36,51	37,78
4	17,66	18,67
5	7,89	8,48
6	3,16	3,6
7	1,42	1,53
8	0,5	0,63
9	0,26	0,29
10	0,09	0,09
11	0,04	0,03
12	0,02	0,01
13	0	0

3.3 Omówienie wyników analiz kompatybilności systemu DVB-T i systemu WRAN

Przeprowadzone analizy kompatybilności miały na celu zbadanie wzajemnej kompatybilności systemu telewizji naziemnej w standardzie DVB-T oraz systemu WRAN, mogącego prawdopodobnie w przyszłości pracować jako służba drugiej ważności w zakresach przeznaczonych dla telewizji naziemnej. Dzięki przeprowadzeniu analiz możliwe było wyznaczenie odległości ochronnych dla odbiorników telewizyjnych, które powinny być uwzględniane podczas projektowania i wykorzystywania systemu WRAN w paśmie wykorzystywanym przez systemy telewizji rozsiwczce oraz podczas podejmowania decyzji administracyjnych wyznaczających obszary ochronne wokół i definiujących w ten sposób wielkość białych przestrzeni widma radiowego. Analizy wykonane przy wykorzystaniu oprogramowania SEAMCAT pozwalają określić, w jakiej odległości powinny się znajdować urządzenia systemu WRAN, aby nie powodowały szkodliwych interferencji dla odbiorników telewizji naziemnej DVB-T. W analizie wyników jako wartość krytyczną prawdopodobieństwa interferencji można przyjąć 5% dopuszczalnych zakłóceń. Ostateczna decyzja odnośnie wymaganego poziomu ochrony odbioru DVB-T wymagać będzie uzgodnień między Administracją i użytkownikami widma pierwszej ważności,

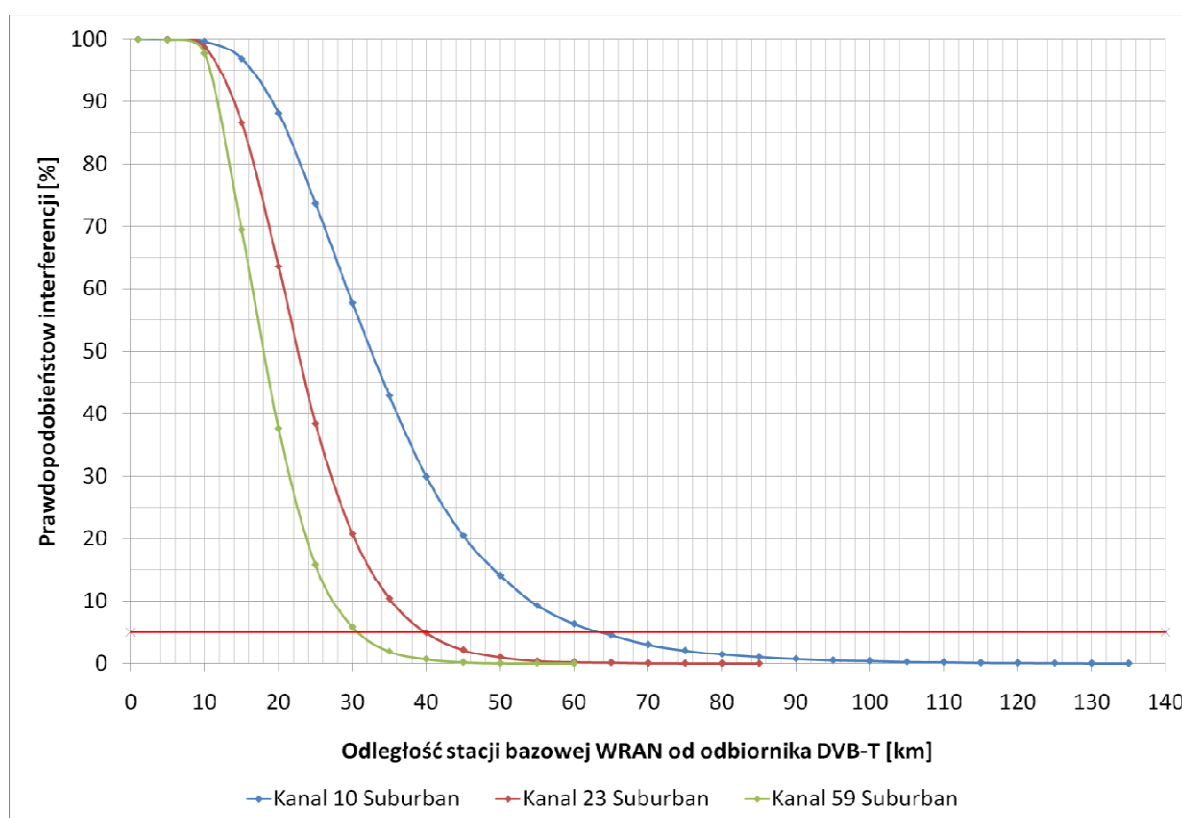
3.3.1 Praca systemu DVB-T i systemu WRAN w tym samym kanale telewizyjnym

Analizę kompatybilności obu systemów pracujących w tym samym kanale można przeprowadzić na podstawie wyników otrzymanych podczas analiz symulacyjnych w oprogramowaniu SEAMCAT. Za ich pomocą można określić, że różne parametry zarówno nadajnika DVB-T jak również urządzeń wykorzystywanych przez system WRAN mają odmienny wpływ na odległości ochronne BS i CPE jakie należy zastosować przy projektowaniu bezprzewodowego szerokopasmowego dostępu do Internetu na terenach podmiejskich z wykorzystaniem systemu WRAN.

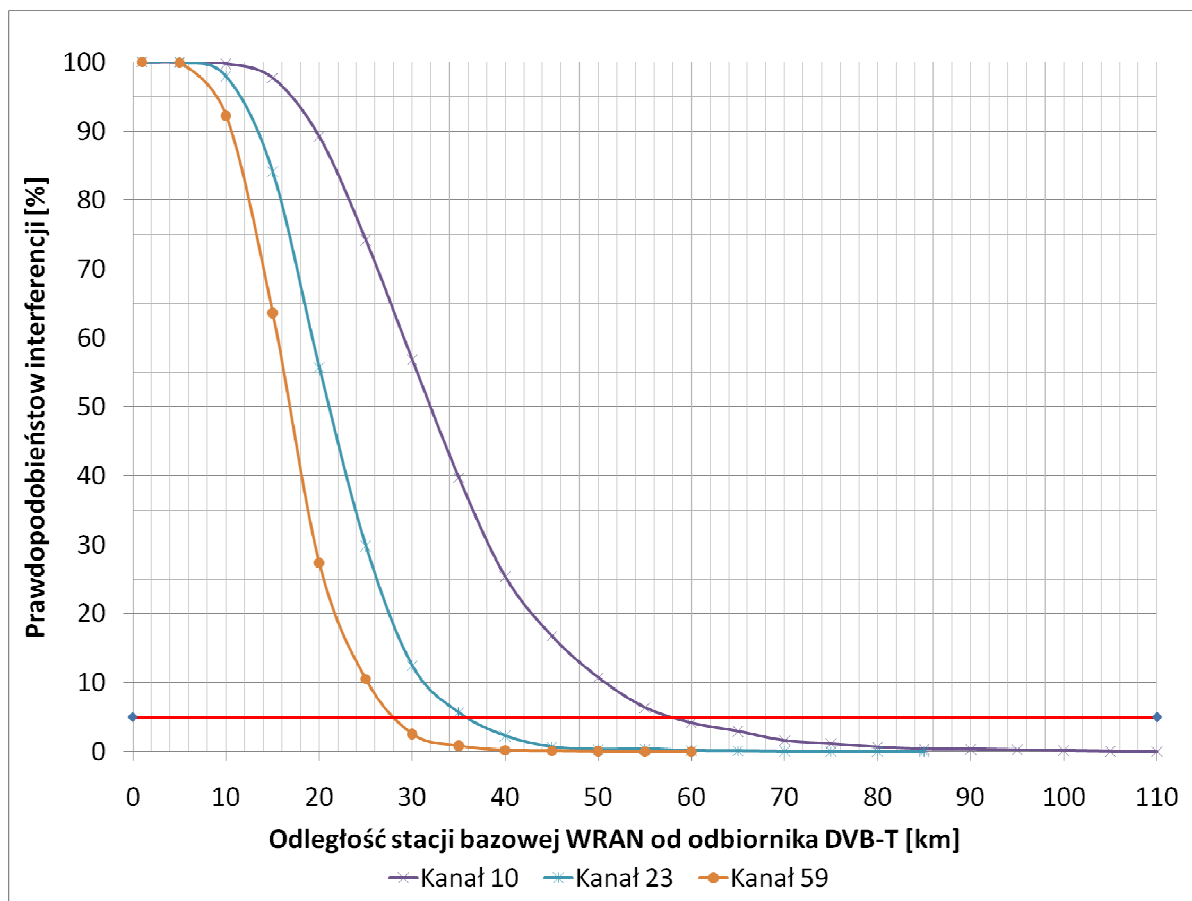
Wysokość zawieszenia anteny nadawczej jak również moc nadajnika DVB-T nie ma większego wpływu na odległość ochronną BS. Jest to spowodowane tym, że przy zmianie któregoś z podanych parametrów zmienia się także zasięg użyteczny

systemu telewizyjnego, a zgodnie z użytym scenariuszem odbiornik telewizyjny znajduje się na skraju zasięgu nadajnika telewizyjnego, czyli odbierany poziom sygnału natężenia pola elektrycznego jest bliski minimalnemu natężeniu pola zgodnemu z danym trybem (modulacją, kodowaniem itp.). Dlatego jedynym wynikiem zmiany powyższych parametrów jest zmiana wielkości zasięgu użytecznego systemu DVB-T, a tym samym wymagana minimalna odległość nadajnika WRAN od nadajnika DVB-T.

Pierwszym parametrem, który ma znaczący wpływ na odległość ochronną BS ma częstotliwość kanału wykorzystywanego podczas transmisji sygnału telewizyjnego. Zależność opisującą prawdopodobieństwo wystąpienia szkodliwych interferencji od odległości ochronnej BS dla różnych częstotliwości pracy (trzech różnych kanałów telewizyjnych) systemu DVB-T przedstawiono poniżej.



Rysunek 13. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości ochronnej BS dla kanału 10, 23 i 59 pracy systemu DVB-T i WRAN, DVB-T 64QAM kod 5/6

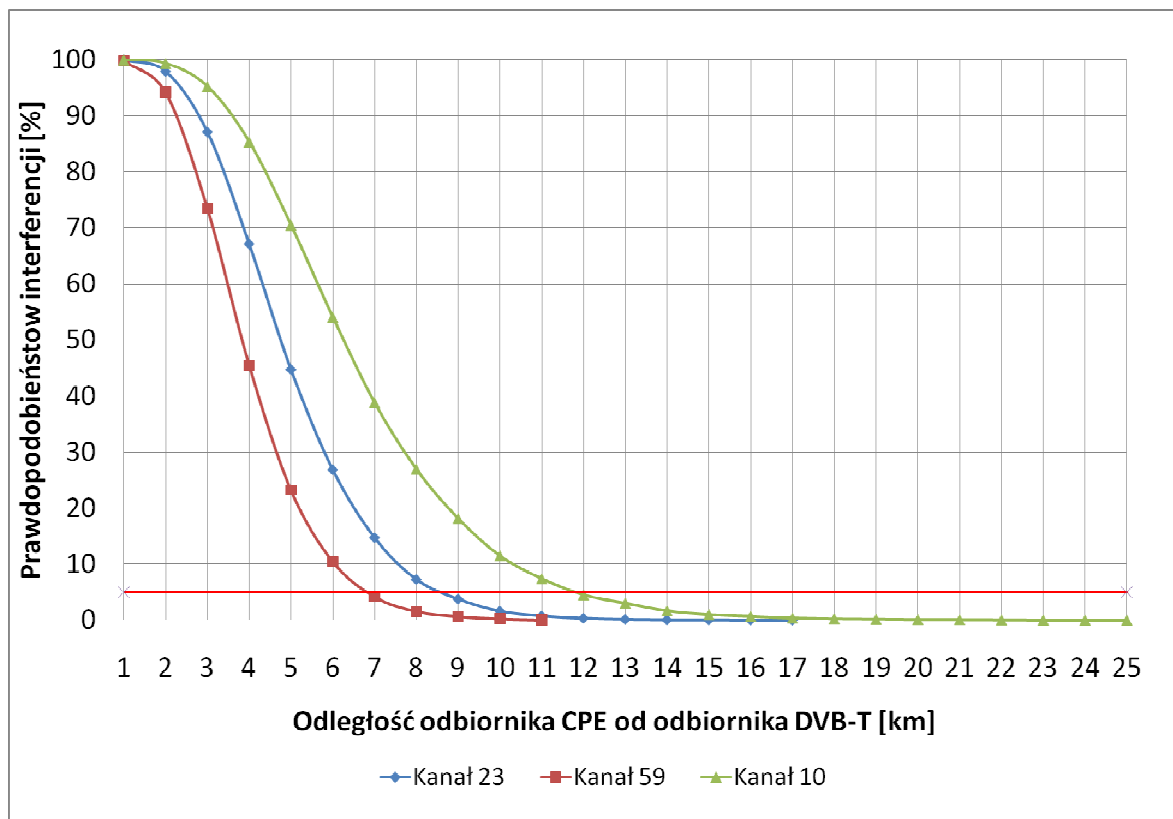


Rysunek 14. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości ochronnej BS dla kanału 10, 23 i 59 pracy systemu DVB-T i WRAN, DVB-T 16QAM kod 3/4

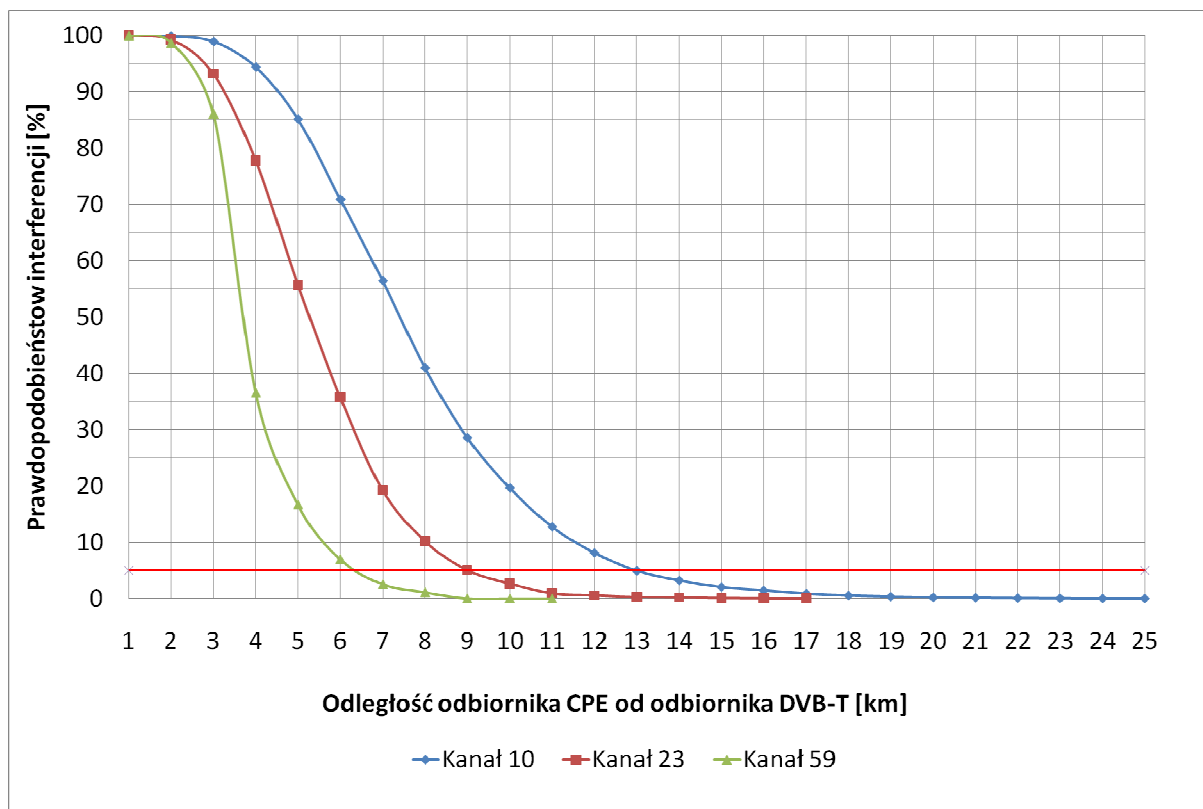
Minimalne odległości ochronne BS dla kanału 10, 23 i 59 wynoszą odpowiednio 64, 40 i 31 km przy modulacji 64QAM oraz odpowiednio 57, 35 i 28 km dla modulacji 16QAM. Wpływ na taki wynik ma podstawowa zależność występująca przy propagacji fali elektromagnetycznej, czyli wzrost tłumienia wraz ze wzrostem częstotliwości. W przedstawionej sytuacji dotyczy to sygnału zakłócającego, a więc sygnału transmitowanego od stacji bazowej WRAN do urządzenia konsumenckiego CPE, dlatego odległość ochronna dla wyższych kanałów może być mniejsza.

Podobna sytuacja występuje podczas transmisji od urządzenia CPE do stacji bazowej systemu WRAN. Różnica polega na tym, iż antena CPE nadaje sygnał z dużo mniejszą mocą równą 4W. To powoduje, że minimalne odległości ochronne CPE od odbiornika telewizyjnego mogą być zdecydowanie mniejsze. Zależność opisującą prawdopodobieństwo wystąpienia szkodliwych interferencji od odległości

ochronnej CPE dla różnych częstotliwości pracy systemu DVB-T przedstawiono na rysunku poniżej.



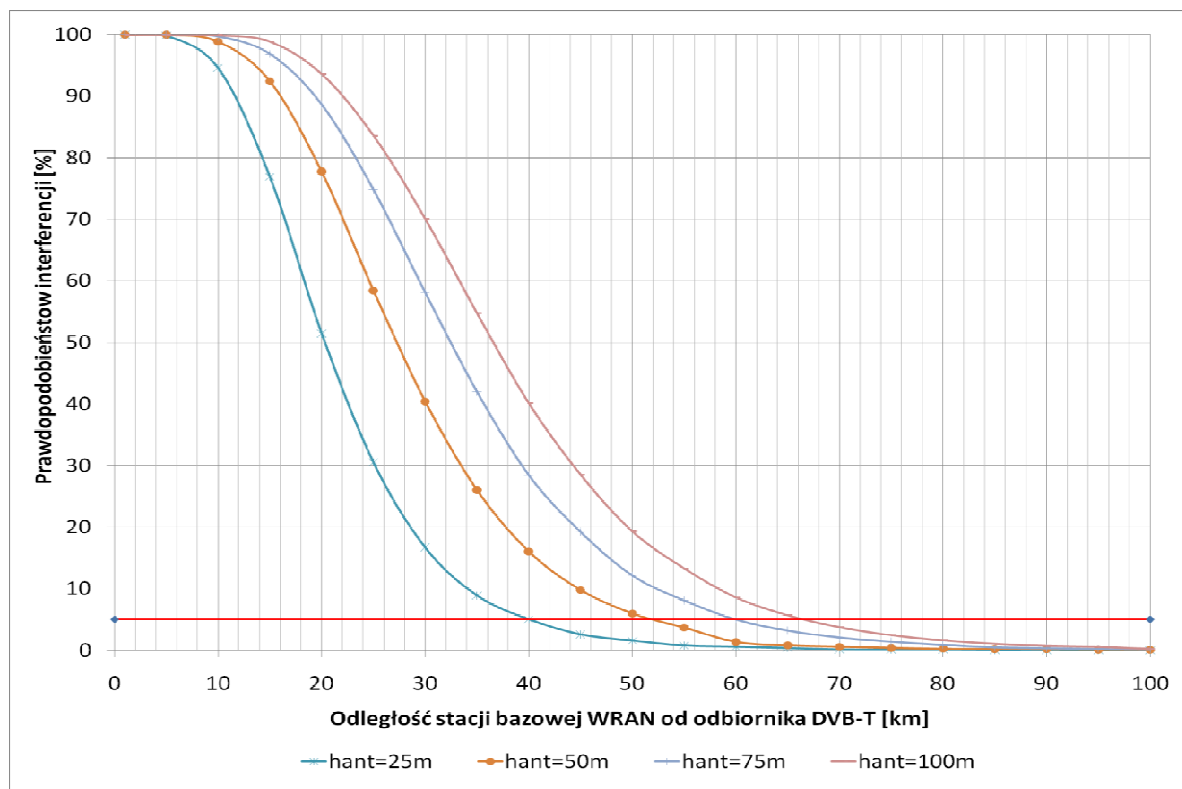
Rysunek 15. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości ochronnej CPE dla kanału 10, 23 i 59 pracy systemu DVB-T i WRAN, DVB-T 64QAM kod 5/6



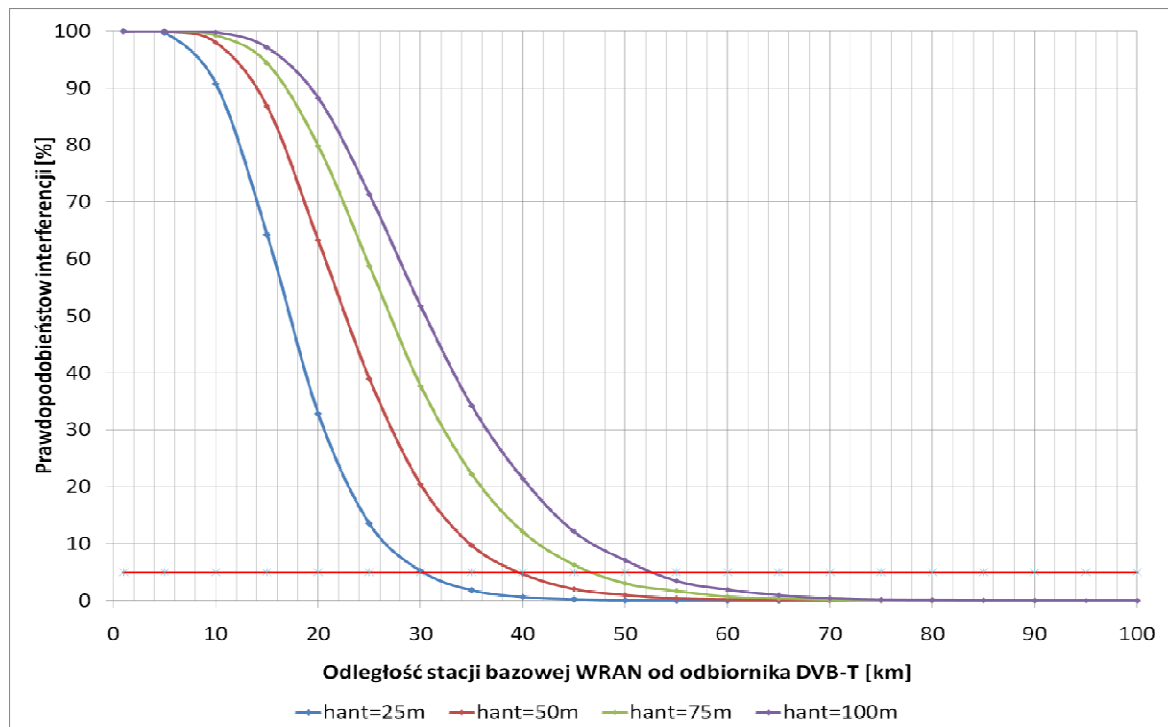
Rysunek 16. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości ochronnej CPE dla kanału 10, 23 i 59 pracy systemu DVB-T i WRAN, DVB-T 16QAM kod 3/4

W tym przypadku również można zaobserwować, że najmniejsza odległość ochronna występuje dla kanału 59, a największa dla kanału 10. Wartości te przyjmują mniejsze wartości dla modulacji 16QAM użytej do emisji DVB-T niż modulacji 64QAM. Odległości ochronne CPE dla kanału 10, 23 i 59 wynoszą odpowiednio wartości 12, 8.5, 6.8 km dla emisji DVB-T 64QAM, oraz 13, 9, 6.4 km.

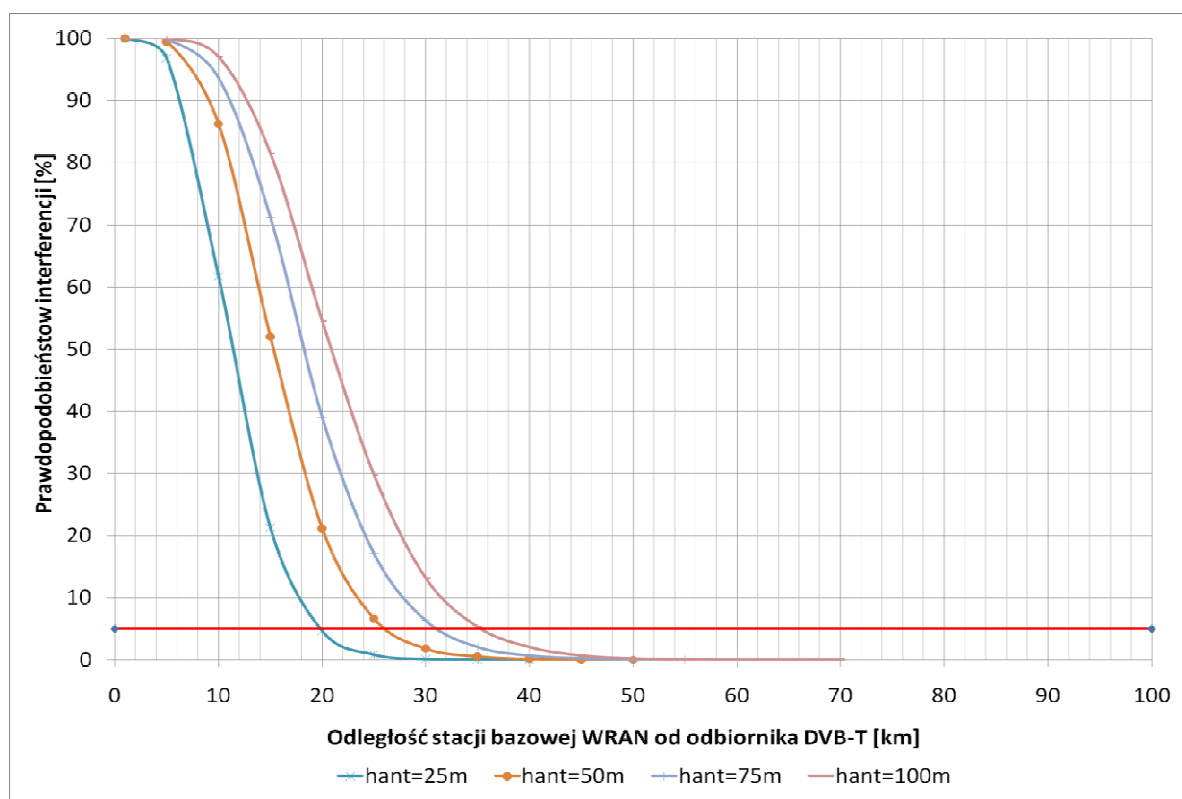
Kolejnym parametrem, od którego zależy odległość ochronna BS jest wysokość zawieszenia anteny nadawczej stacji bazowej WRAN. Zależność opisującą prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji od odległości ochronnej BS dla różnych wysokości zawieszenia anteny nadawczej WRAN przedstawiono poniżej na wykresach.



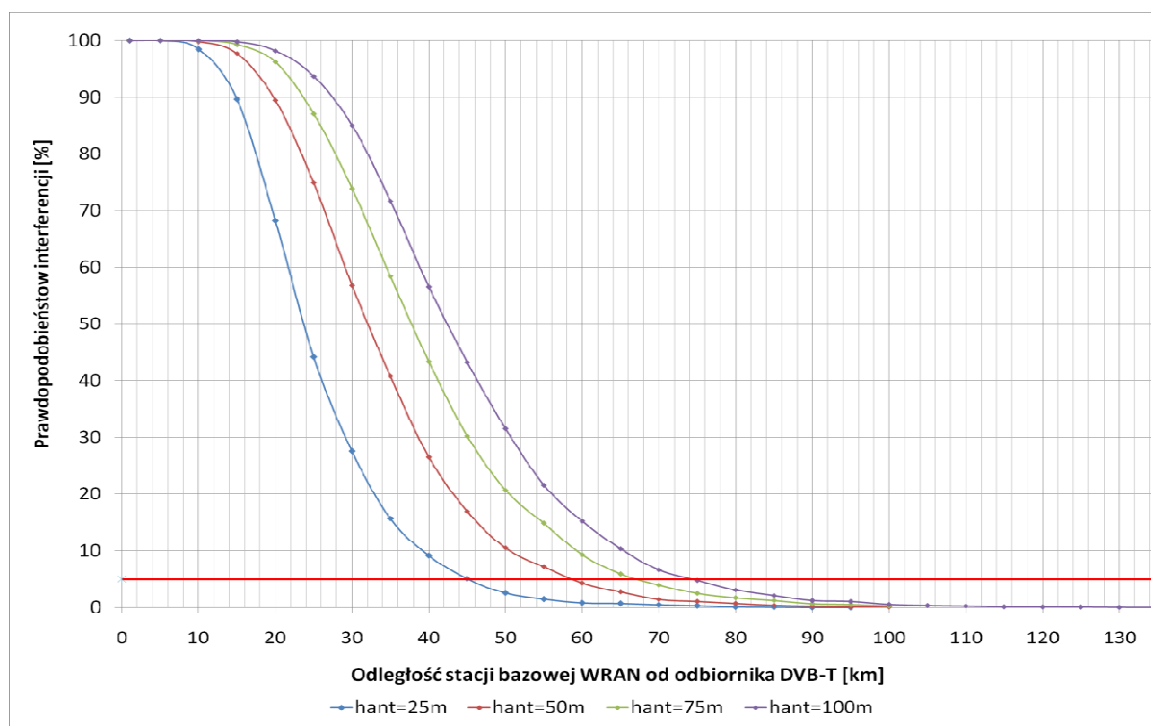
Rysunek 17. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T dla kanału 10, DVB-T 64QAM kod 5/6



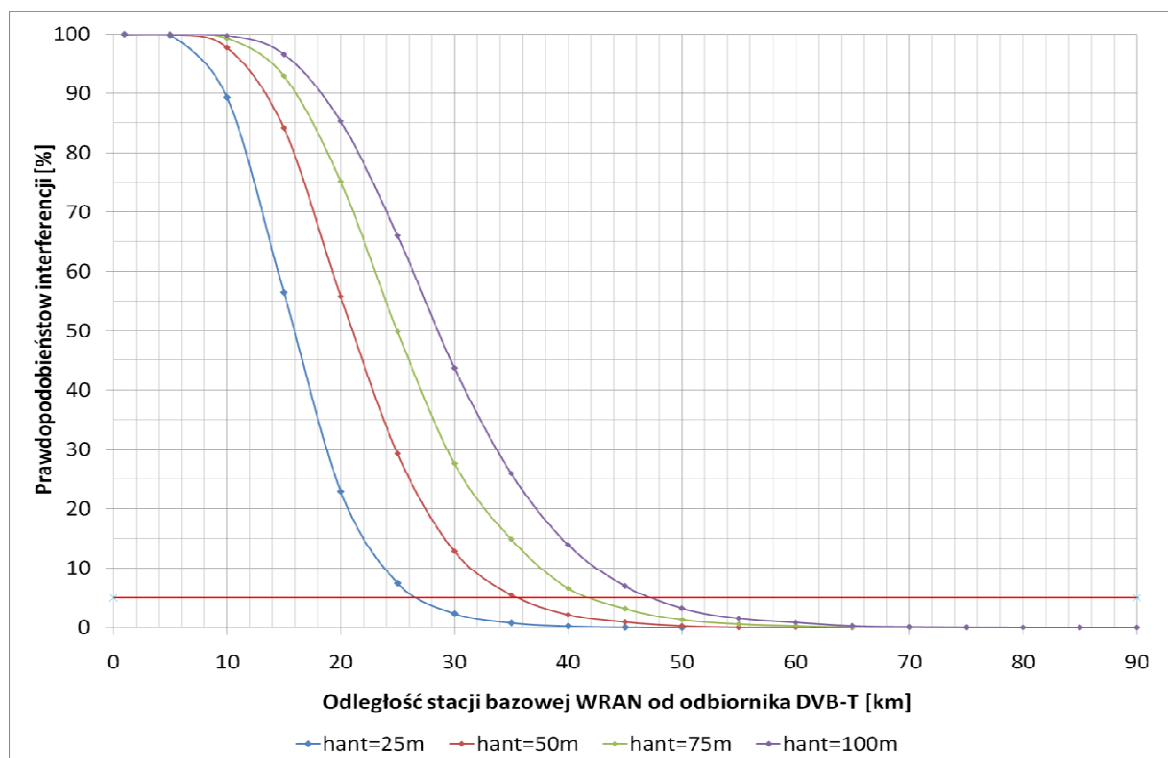
Rysunek 18. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T dla kanału 23, DVB-T 64QAM kod 5/6



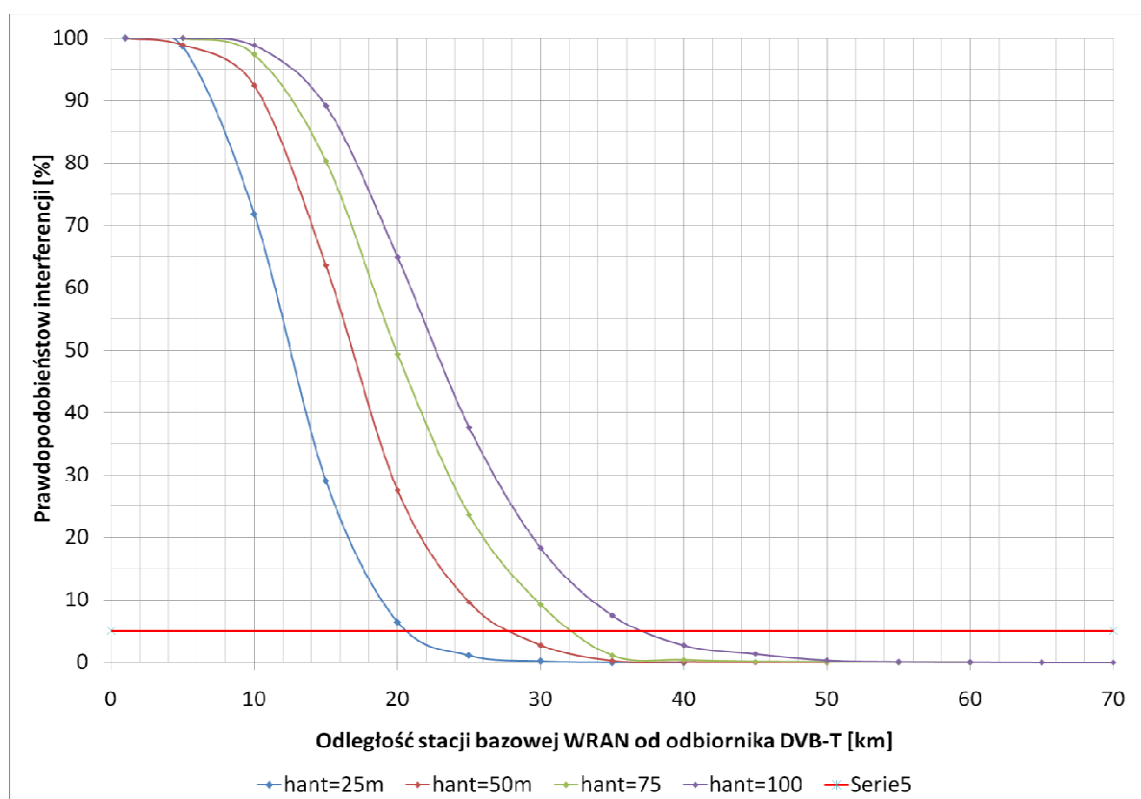
Rysunek 19. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T dla kanału 59, DVB-T 64QAM kod 5/6



Rysunek 20. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T dla kanału 10, DVB-T 16QAM kod 3/4



Rysunek 21. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T dla kanału 23, DVB-T 16QAM kod 3/4



Rysunek 22. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T dla kanału 59, DVB-T 16QAM kod 3/4

Minimalne odległości ochronne BS, wyrażono jako odległość ochronna BS dla której prawdopodobieństwo interferencji wynosi poniżej 5 %. Wyniki dla zawieszenia anteny nadawczej WRAN na wysokości 25, 50, 75 i 100 m przedstawiono w tabeli poniżej, zarówno dla modulacji 64QAM jak i 16QAM.

Tabela 22. Wyniki minimalnej odległości ochronnej BS dla zadanej odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika TV

Wysokość zawieszenia anteny WRAN [m]	DVB-T Modulacja 64QAM			DVB-T Modulacja 16QAM		
	k.10	k.23	k.59	k.10	k.23	k.59
	Minimalna odległość ochronna BS [km]					
25	40	30	20	44	27	21
50	52	39	26	58	35	28
75	60	47	31	67	42	32
10	66	53	35	74	47	37

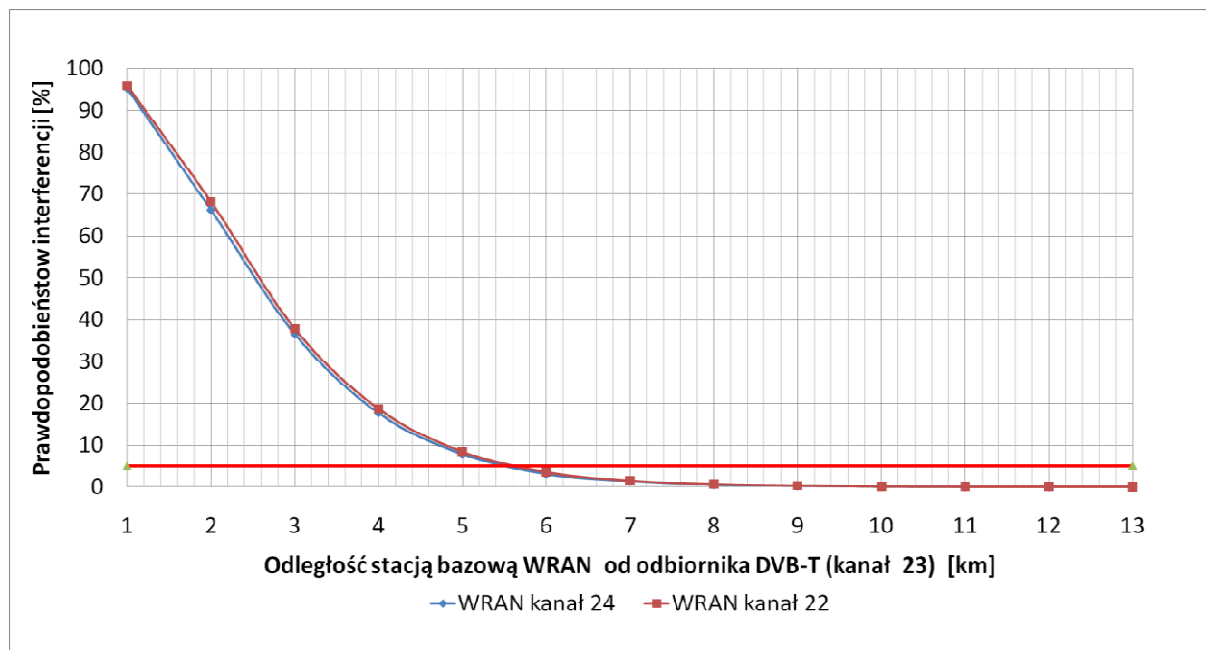
Zgodnie z oczekiwaniami, im wyższa wysokość zawieszenia anteny systemu zakłócającego tym większą odległość ochronna BS musi być zastosowana, tak aby nie powodować szkodliwych zakłóceń dla transmisji pożądanej.

Zastosowanie modulacji 64QAM w porównaniu do modulacji 16QAM powoduje zwiększenie minimalnych odległości ochronnych.

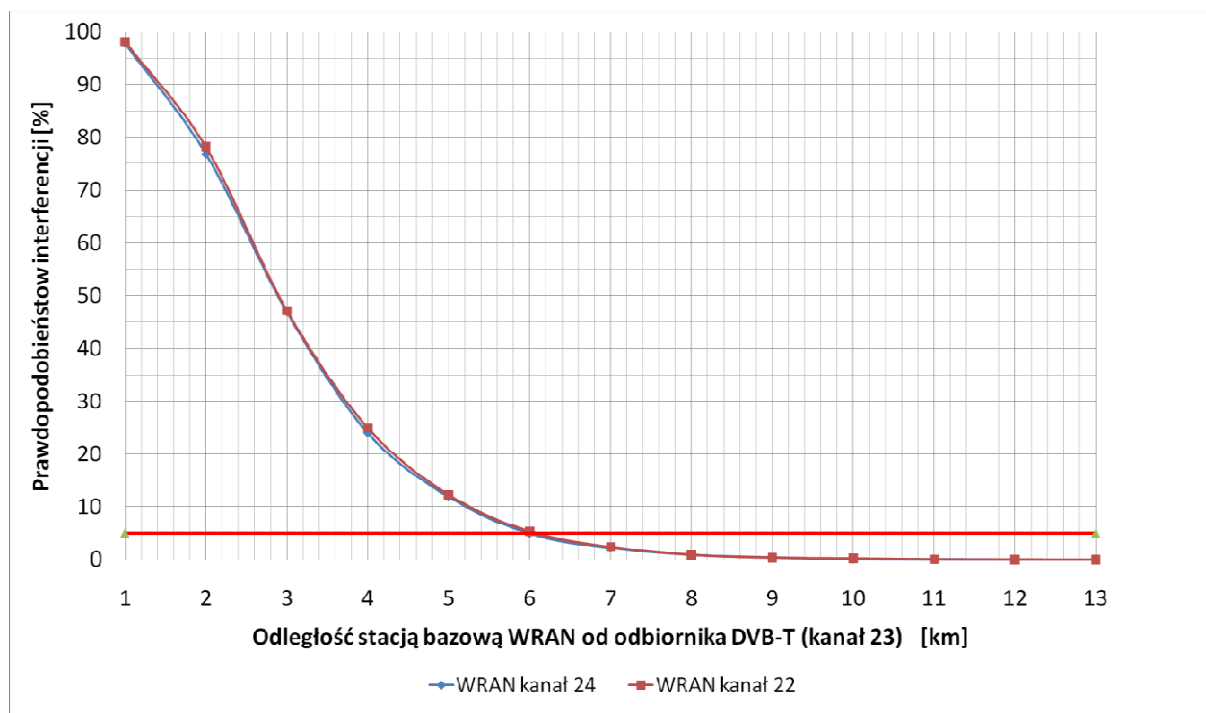
3.3.2 Praca systemu DVB-T i systemu WRAN w kanałach sąsiednich

Analizę kompatybilności obu systemów pracujących w kanale sąsiednim przeprowadzono dla dwóch różnych częstotliwości pracy systemu DVB-T. Było to spowodowane uzyskanymi wynikami w poprzednim podrozdziale. Dokonano symulacji dla sygnału zakłócającego pochodzącego od stacji bazowej WRAN. Zależność opisującą prawdopodobieństwo wystąpienia szkodliwych interferencji od

odległości ochronnej BS dla różnych częstotliwości pracy systemu DVB-T przedstawiono na rysunku poniżej.



Rysunek 23. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T (kanał 23), DVB-T 64QAM kod 5/6



Rysunek 24. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T (kanał 23), DVB-T 16QAM kod 3/4

Zgodnie z wynikami analiz transmisja w kanale sąsiednim powoduje znacznie mniejsze zakłócenia dla transmisji sygnał telewizyjnego niż w przypadku tego samego kanału, co skutkuje znacznie mniejszymi odległościami ochronnymi BS. Wartości minimalnej odległości ochronnej BS dla analizowanych przypadków wynoszą 5,5 km dla modulacji 64QAM i 6 km dla 16QAM. Są one zatem kilkukrotnie mniejsze niż dla przypadku kiedy emisja WRAN jest w tym samym kanale. Podczas podejmowania decyzji o dopuszczeniu systemu radiowego do wdrożenia konieczne będzie jednak uwzględnianie ochrony przed zakłóceniami także w kanałach sąsiednich.

Na podstawie wszystkich przeprowadzonych symulacji wyznaczenie zasięgów ochronnych możliwe jest tylko dla ściśle określonych warunków pracy obu systemu. Przeprowadzone analizy wykazały, że możliwe jest współistnienie systemu naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T i systemu WRAN. Jednak w każdym przypadku projektowania systemu WRAN, jak systemu pracującego w paśmie VHF i UHF na zasadzie służby drugiej ważności, należy uwzględniać wzajemną kompatybilność, wykorzystując konkretne parametry emisji DVB-T (moc promieniowana, wysokość zawieszenia anteny nadawczej itd.) dopasowując do niej odpowiednie parametry emisji WRAN z zachowaniem wymaganych odległości ochronnych (separacyjnych). Wyznaczone parametry (odległości ochronne) czy przyjęcie dopuszczalnych parametrów pracy systemu WRAN (np. maksymalne wysokości zawieszenia anten, maksymalne moce promieniowane) powinny być uwzględnione w przyszłych warunkach decyzji o rezerwacji częstotliwości lub też w wymaganiach administracyjnych dopuszczających wdrożenie systemu WRAN w Polsce. Mogą one też służyć do zdefiniowania i wyznaczania obszarów białych przestrzeni widma radiowego wpisywanych np. na stałe do baz geolokalizacyjnych systemu kognitywnego WRAN 802.22.

4. Kompatybilność systemów IEEE 802.22 i DAB+

Celem tej analizy kompatybilności jest zbadanie wpływu działania systemu IEEE 802.22 (WRAN - Wireless Regional Area Network) na system radiofonii cyfrowej DAB+. Oba systemy mogą w przyszłości pracować w jednym paśmie częstotliwościowym 174 MHz - 230 MHz.

Analizy pozwolą określić w jaki sposób system bezprzewodowego dostępu do Internetu wpłynie na odbiorniki radiofoniczne DAB+ pracujące w pobliżu urządzeń WRAN. Emisje DAB+ w tym paśmie będą pracować na zasadzie służby pierwszej ważności dla służby radiodifuzyjnej, natomiast urządzenia systemu WRAN jako służba drugiej ważności. Wyznaczenie obszarów ochronnych następuje poprzez określenie współczynników ochronnych. Wartości współczynników ochronnych pochodzą z Porozumienia GE06 [5] i bazują na zachowaniu wymaganego stosunku sygnał/szum C/N systemu DAB.

4.1 Scenariusz analizy kompatybilność systemów IEEE 802.22 (WRAN) i DAB+

Analizy kompatybilności systemu WRAN i DAB+ zostały wykonane analogicznie, tak jak analizy kompatybilności z systemem DVB-T. Wykorzystano oprogramowanie SEAMCAT 3.2.0. Wyznaczone obszary zasięgu użytecznego zostały wyznaczone na podstawie modelu propagacyjnego ITU-R.1546 [4] dla 50% czasu i 50% miejsc, natomiast dla promieniowania niepożądanego dla 1% czasu i 50% miejsc.

Scenariusz wykorzystany w analizach zakładał najgorszy przypadek tzn. taki, w którym odbiornik telewizyjny znajduje się na skraju zasięgu użytecznego (minimalny użyteczny poziom natężenia pola). Sytuację tą przedstawia Rysunek 10 w rozdziale 2.

Scenariusz I zakłada, że zmianie podczas analiz ulega odległość ochronna BS, która jest odległością stacji bazowej BS systemu WRAN od odbiornika DAB+. Natomiast scenariusz II zakłada, że zmianie podczas analiz ulega odległość ochronna CPE – czyli odległość urządzenia konsumenckiego CPE od odbiornika DAB+.

Wartości współczynników ochronnych wykorzystane podczas analiz dotyczą systemu DAB+. Przyjęto współczynnik ochronny przedstawiono w tabeli.

Tabela 23. Współczynniki ochronne wspólnokanałowe dla systemu DAB+ przyjęte do analiz zgodnie z [5]

Tryb odbioru	Współczynnik ochronny [dB]
Stacjonarny	9
Przenośny zewnętrzny	13
Mobilny	13

4.1.1 Parametry systemów

Parametry analizowanych systemów, które zostały wykorzystane do przeprowadzonych analiz w oprogramowaniu SEAMCAT, przedstawiono w kolejnych podrozdziałach.

4.1.1.1 System radiofonii cyfrowej DAB+

W przeprowadzonej analizie system radiofonii cyfrowej DAB+ zawsze pełnił rolę łącza zakłócanego. Analiza prawdopodobieństwa wystąpienia zakłóceń została przeprowadzona dla pasma VHF.

Ponadto w środowisku symulacyjnym SEAMCAT konieczne było wprowadzenie oddzielnych parametrów dla nadajnika i odbiornika DAB+. Poniżej w tabelach przedstawiono wszystkie parametry, które zostały użyte podczas wyznaczania prawdopodobieństwa wystąpienia interferencji.

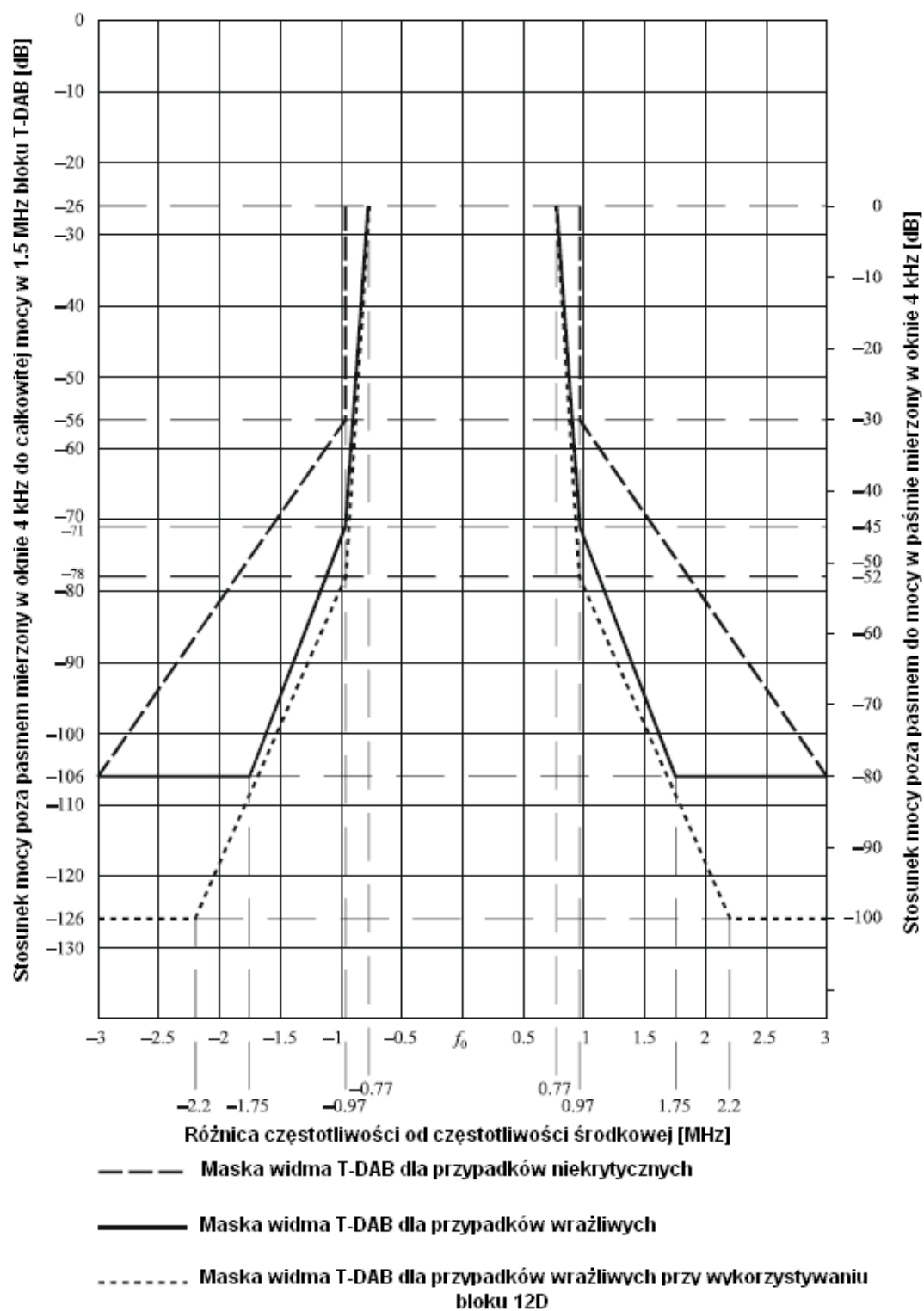
Tabela 24. Parametry nadajnika DAB+

Wysokość zawieszenia anteny [m]	ERP [kW]	Charakterystyka promieniowania	Szerokość kanału
50	10	Dookólna	1,712 MHz

Tabela 25. Parametry odbiornika DAB+

Wysokość zawieszenia anteny	Czułość	Charakterystyka promieniowania	Zysk anteny nadawczej	Szerokość kanału
10 m dla odbioru stacjonarnego 1,5 m dla odbioru przenośnego i mobilnego	-88 dBm	Dookólna	12 dBi	1,712 MHz

Dla systemu DAB+ zachodzi pełna zgodność z charakterystykami emisyjnymi T-DAB.



Rysunek 25. Maska widma dla systemu T-DAB na podstawie normy ETSI [6]

4.1.1.2 System IEEE 802.22 (WRAN)

W przeprowadzonej analizie system IEEE 802.22 zawsze pełnił rolę łącza zakłócającego. W odróżnieniu od systemu analiz dla telewizji naziemnej DVB-T transmisja mogła się odbywać od stacji bazowej do CPE (Downlink). Parametry nadajnika WRAN i urządzenia konsumenckiego CPE wykorzystane podczas pomiarów przedstawiono w tabelach poniżej.

Tabela 26. Parametry nadajnika WRAN

Wysokość zawieszenia anteny [m]	Moc nadawania	Charakterystyka promieniowania	Zysk anteny nadawczej	Straty doprowadzeń	Szerokość kanału
25 50 75 100	100 W	Kierunkowa	12 dBi	3 dB	7,49 MHz

Tabela 27. Parametry urządzenia konsumenckiego CPE

Wysokość zawieszenia anteny	Czułość	Charakterystyka promieniowania	Zysk anteny nadawczej	Straty doprowadzeń	Szerokość kanału
10 m	-75 dBm	Kierunkowa	10 dBi	4 dB	7,61 MHz

Ponadto w symulacjach uwzględniono maskę emisji nadajnika WRAN, którą przedstawiono w rozdziale 2.

4.2 Wyniki analiz

4.2.1 Wpływ wysokości anteny nadawczej WRAN na odległość ochronną BS

Przeprowadzona analiza miała na celu zbadanie wpływu zawieszenia anteny nadawczej WRAN na prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w odbiorniku telewizyjnym w funkcji odległości ochronnej BS w przypadku transmisji od nadajnika WRAN do urządzenia CPE. Do analizy wykorzystano kanał 10 dla emisji WRAN oraz blok 10B dla emisji DAB+. Wysokość zawieszenia anteny nadawczej DAB była równa 50 m, a moc promieniowana 10 kW. Analizy przeprowadzono dla różnych trybów odbioru systemu DAB+ tj.: odbioru stacjonarnego, odbioru przenośnego zewnętrznego i odbioru przenośnego wewnętrznego.

Tabela 28. Wyniki analiz prawdopodobieństwa interferencji [%] w funkcji odległości ochronnej BS dla różnych wartości zawieszenia nadajnika WRAN (kanał 10 dla WRAN, DAB+ blok 10B, środowisko suburban, odbiór stacjonarny)

Odległość BS – odb. DAB+ [km]	Wysokość zawieszenie anteny nadajnika WRAN [m]			
	25	50	75	100
1	2,14	6,36	10,69	15,1
1,2	1,28	3,82	6,86	10,29
1,4	0,66	2,49	4,67	7,03
1,6	0,42	1,63	3,2	4,95
1,8	0,23	1	2,2	3,6
2	0,12	0,73	1,6	2,61
2,2	0,08	0,55	1,09	1,93
2,4	0,05	0,38	0,74	1,43
2,6	0,03	0,24	0,57	1,09
2,8	0,02	0,17	0,4	0,76
3	0,01	0,11	0,31	0,54
3,2	0	0,07	0,27	0,45
3,4		0,04	0,14	0,33
3,6	0	0,02	0,11	0,31
3,8	0	0	0,1	0,23

Odległość BS – odb. DAB+ [km]	Wysokość zawieszenie anteny nadajnika WRAN [m]			
	25	50	75	100
4	0	0	0,09	0,19
4,2	0	0	0,08	0,16
4,4	0	0	0,04	0,13
4,6	0	0	0,03	0,08
4,8	0	0	0,01	0,07
5	0	0	0	0,05
5,2	0	0	0	0,04
5,4	0	0	0	0,03
5,6	0	0	0	0,02
5,8	0	0	0	0,01
6	0	0	0	0

Tabela 29. Wyniki analiz wystąpienia interferencji [%] w funkcji odległości ochronnej BS dla różnych wartości zawieszenia nadajnika WRAN (kanał 10 dla WRAN, DAB+ blok 10B, środowisko suburban, odbiór przenośny zewnętrzny)

Odległość BS – odb. DAB+ [km]	Wysokość zawieszenie anteny nadajnika WRAN [m]			
	25	50	75	100
1	12,1	25,56	37,08	46,59
1,5	3,9	11,19	18,45	25,9
2	1,38	3,46	9,21	14,1
2,5	0,44	1,15	5,19	7,89
3	0,17	0,85	2,44	4,7
3,5	0,07	0,68	1,51	2,67
4	0,05	0,37	0,98	1,76
4,5	0,03	0,21	0,56	1,12
5	0,02	0,11	0,26	0,65
5,5	0,01	0,06	0,21	0,34
6	0	0,03	0,11	0,26
6,5	0	0,02	0,07	0,24
7	0	0,01	0,04	0,13
7,5	0	0	0,06	0,08

Odległość BS – odb. DAB+ [km]	Wysokość zawieszenie anteny nadajnika WRAN [m]			
	25	50	75	100
8	0	0	0,03	0,05
8,5	0	0	0,01	0,04
9	0	0	0	0,03
9,5	0	0	0	0,02
10	0	0	0	0,01
10,5	0	0	0	0

Tabela 30. Wyniki analiz wystąpienia interferencji [%] w funkcji odległości ochronnej BS dla różnych wartości zawieszenia nadajnika WRAN (kanał 10 dla WRAN, DAB+ blok 10B, środowisko suburban, odbiór przenośny wewnętrzny)

Odległość BS – odb. DAB+ [km]	Wysokość zawieszenie anteny nadajnika WRAN [m]			
	25	50	75	100
1	8,56	18,75	27,43	35,44
1,5	2,58	7,2	12,34	17,71
2	0,81	3,15	6,27	9,21
2,5	0,36	1,48	3,03	5,31
3	0,12	0,72	1,61	3,02
3,5	0,07	0,31	0,92	1,71
4	0,03	0,21	0,53	1,06
4,5	0,02	0,09	0,18	0,63
5	0,01	0,06	0,15	0,4
5,5	0	0,03	0,08	0,19
6	0	0,02	0,06	0,16
6,5	0	0,01	0,04	0,09
7	0	0	0,03	0,07
7,5	0	0	0,01	0,04
8	0	0	0	0,03
8,5	0	0	0	0,02
9	0	0	0	0

4.2.2 Analiza kompatybilności odbiornika DAB+ i urządzenia CPE

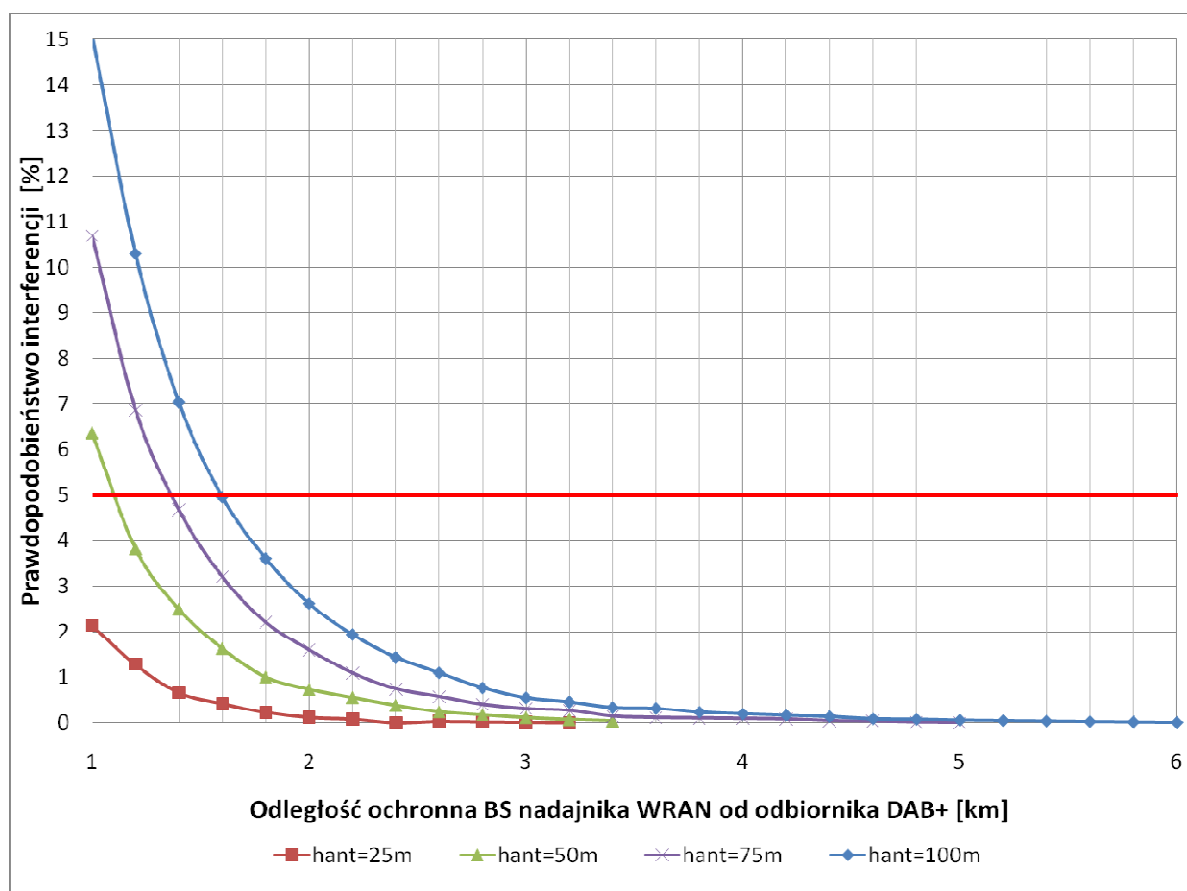
Przeprowadzona analiza miała na celu zbadanie wpływu pracy nadajnika urządzenia CPE na prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w odbiorniku radiofonicznym DAB+ w funkcji odległości ochronnej CPE w przypadku transmisji od urządzenia CPE do nadajnika WRAN.

Dla przypadku pracy wspólnokanałowej odbiornika DAB+ i urządzenia CPE systemu WRAN w analizach wykonanych oprogramowaniem SEAMCAT otrzymano wartość prawdopodobieństwa interferencji na poziomie 0,5% dla odległości pomiędzy odbiornikiem DAB+ i urządzeniem CPE równej 1 km.

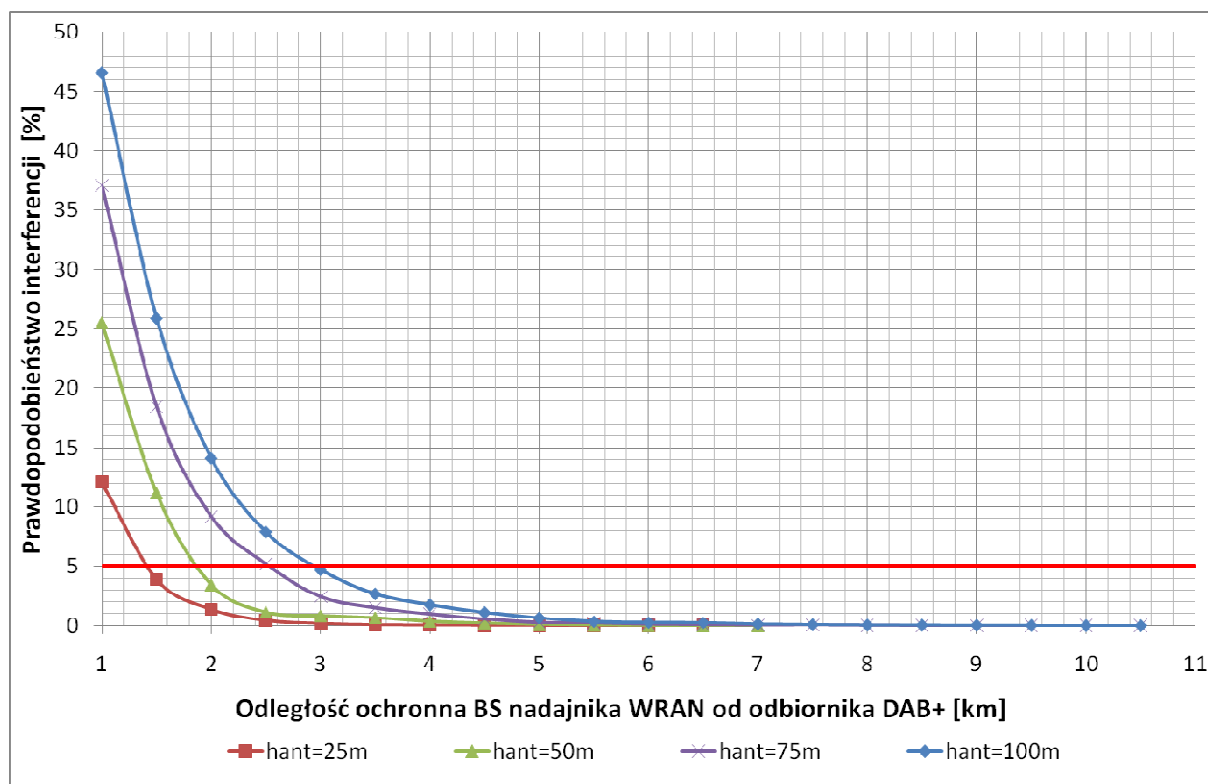
Dla przypadku pracy sąsiednio kanałowej, wykorzystano model opierający się na analizach tłumienia wolnej przestrzeni i wartościach C/N. W ten sposób wyznaczono wartości odległości separacyjnych obu systemów dla najbardziej krytycznego przypadku otrzymano wyniki odległości separacyjnej pomiędzy odbiornikiem DAB+ i urządzeniem CPE systemu WRAN wynoszące ok. 7-10 m, zależnie od rodzaju odbioru systemu DAB+.

4.3 Omówienie wyników analiz kompatybilności systemu DAB+ i systemu WRAN

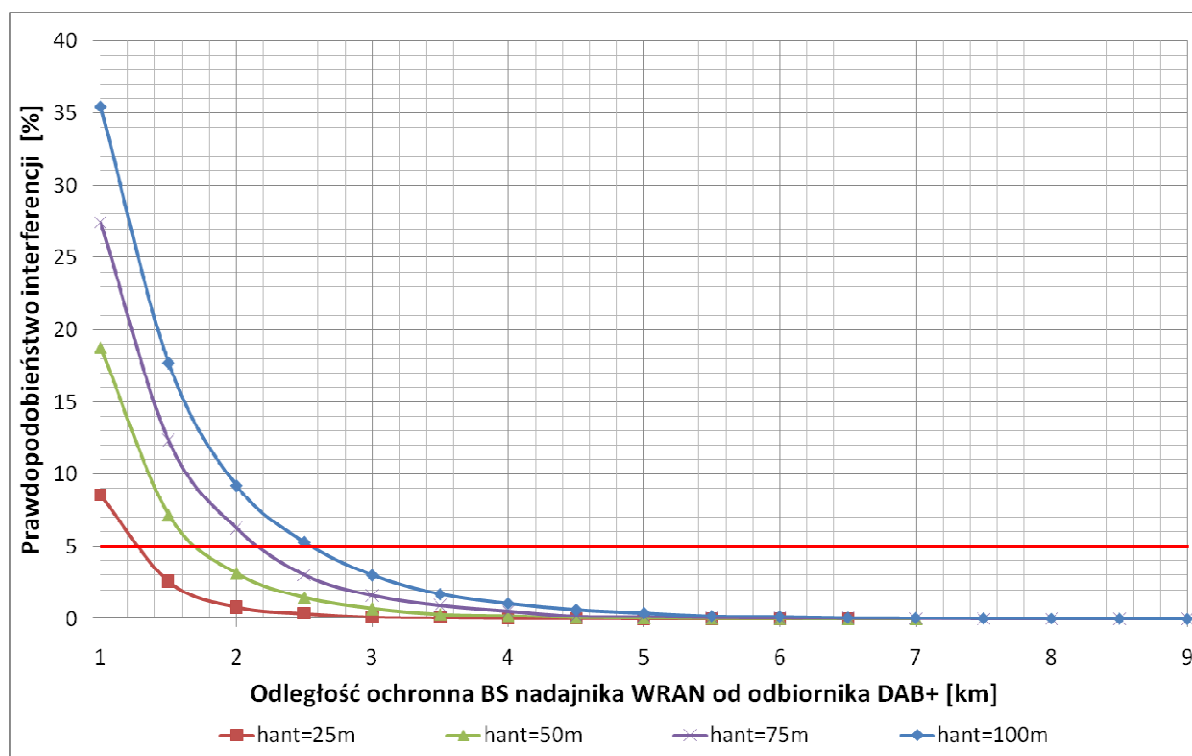
Przeprowadzone analizy kompatybilności miały na celu zbadanie kompatybilności systemu radiofonii cyfrowej w standardzie DAB+ oraz systemu WRAN, mogącego w przyszłości pracować jako służba drugiej ważności w zakresach VHF i UHF. Dzięki przeprowadzeniu analiz możliwe było wyznaczenie odległości ochronnych dla odbiorników radiofonicznych, które powinny być uwzględniane podczas projektowania i wykorzystywania systemu WRAN w paśmie gdzie mogą być wykorzystywane systemy cyfrowej radiofonii rozsiewczej. Analizy wykonane przy wykorzystaniu oprogramowania SEAMCAT pozwalają określić, w jakiej odległości powinny się znajdować urządzenia systemu WRAN, aby nie powodowały szkodliwych interferencji dla odbiorników radiofonicznych DAB+. W analizie wyników jako wartość krytyczną prawdopodobieństwa interferencji przyjęto 5%.



Rysunek 26. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości ochronnej BS stacji bazowej WRAN od odbiornika DAB+ w odbiorze stacjonarnym



Rysunek 27. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości ochronnej BS stacji bazowej WRAN od odbiornika DAB+ w odbiorze przenośnym zewnętrznym



Rysunek 28. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości ochronnej BS stacji bazowej WRAN od odbiornika DAB+ w odbiorze przenośnym wewnętrznym

W przypadku rzeczywistych projektów sieci WRAN, należałoby przeprowadzać

każdorazowo analizy kompatybilności z systemem radiofonii cyfrowej DAB+, z uwzględnieniem rzeczywistych parametrów zarówno jednej jak i drugiej sieci lub też z góry założyć bezpieczne odległości ochronne na bazie decyzji administracyjnej. W przeprowadzonej analizie wzięto pod uwagę typowe i jedynie przykładowe parametry emisji dla systemu radiofonii DAB+, które jednak wykazały, że problem wzajemnych interferencji istnieje i powinien być uwzględniany.

5. Kompatybilność systemów DVB-T i LTE

Zgodnie z wynikami konferencji WRC-07 [6] zakres 790-862 MHz („pasmo 800 MHz” kanały telewizyjne 61-69) po 17 czerwca 2015 roku będą mogły być wykorzystywane na zasadzie służby pierwszej ważności także przez systemy mobilne. W niektórych krajach europejskich, możliwe jest ich wykorzystywanie przed tym terminem. W związku z tym, wzajemna kompatybilność systemów naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T i systemów mobilnych, z których w tym paśmie będzie wykorzystany system LTE. W przyszłości możliwa mogłaby być, też praca terminali mobilnych LTE na zasadzie radia kognitywnego w zakresie 470-790 MHz, przeznaczonego wciąż na zasadzie pierwszej ważności dla systemów stałych radiodfuzyjnych, czyli naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T. Pasma to cieszy się szczególnym zainteresowaniem wszystkich operatorów mobilnych w związku z małym tłumieniem trasy i możliwością stosowania małych anten wewnętrznych w terminalach. Stąd w aukcjach na częstotliwości pasma 800 MHz uzyskiwane są wielomiliardowe kwoty (np. aukcja w Niemczech) a problem kompatybilności systemów w tym paśmie jest bardzo istotny,

Przeprowadzono zatem analizy, mogące wskazać ryzyko potencjalnych interferencji dla obu tych systemów. Do przeprowadzenia analiz wykorzystano model opierający się na analizach tłumienia wolnej przestrzeni i współczynnikach ochronnych dla systemu DVB-T od systemu LTE. W ten sposób wyznaczono wartości odległości separacyjnych obu systemów dla odbiornika telewizyjnego DVB-T i terminala LTE.

5.1.1 Parametry systemów

Parametry analizowanych systemów, które zostały wykorzystane do przeprowadzonych analiz, przedstawiono w kolejnych podrozdziałach.

5.1.1.1 System telewizji naziemnej DVB-T

W przeprowadzonej analizie system telewizji naziemnej DVB-T zawsze pełnił rolę łączą zakłócanego. Kanały wraz z częstotliwościami środkowymi dla poszczególnych częstotliwości przedstawiono poniżej.

Tabela 31. Kanały DVB-T używane podczas analiz

Numer kanału TV	Częstotliwość środkowa kanału [MHz]
21	474
60	786

Analiza odległości separacyjnych, dla których prawdopodobieństwo wystąpienia zakłóceń jest mniejsze niż 5% została przeprowadzona dla współczynników ochronnych przedstawionych w tabeli poniżej. Współczynniki te pochodzą z Raportu 148 CEPT [10]. Do analiz wybrano najgorsze przypadki współczynników z podanych w [10] wartości zmierzonych doświadczalnie, dla trzech typów odbiorników telewizyjnych DVB-T: Can [STB/iDTV], Silicon [STB/iDTV], Silicon [USB]. Spełnianych dla 90% przebadanych odbiorników. Raport [7] zawiera również wartości współczynników ochronnych spełnianych dla 10% i 50% odbiorników telewizyjnych DVB-T, które zostały przebadane.

Tabela 32. Wartości współczynników ochronnych dla zakłóceń DVB-T przez LTE użyte do analiz [10]

Odległość kanału LTE od kanału TV	Współczynnik ochronny w [dB] dla danego typu odbiornika DVB-T		
	Can	Silicon	Silicon USB
1	-12	-13	-18
2	-42	-32	-31
3	-40	-35	-32

4	-54	-36	-31
5	-50	-37	-31
6	-49	-38	-31
7	-47	-40	-30
8	-52	-37	-30
9	-33	-37	-32

Analizy przeprowadzono dla trzech różnych trybów odbioru DVB-T:

- stacjonarnego (fixed),
- mobilnego (mobile),
- przenośnego zewnętrznego (portable outdoor).

Minimalne poziomy natężenia pola elektromagnetycznego dla odbioru DVB-T określono zgodnie z GE06 [5] dla trybu wykorzystującego modulację 64QAM i kod 2/3. Podyktowane było to tym, że wykorzystywane wartości współczynników ochronnych zostały wyznaczone dla takiego trybu emisji DVB-T.

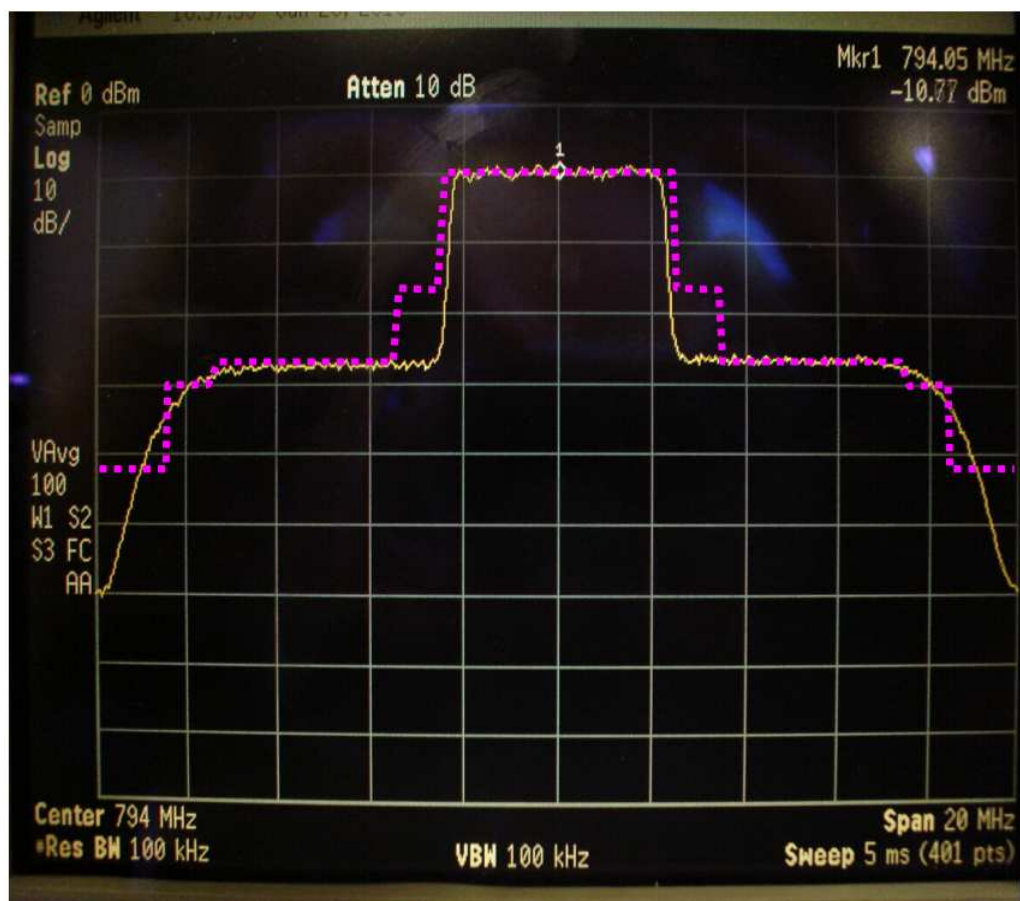
5.1.1.2 System LTE

Parametry sygnału terminala mobilnego LTE UE przedstawiono poniżej. Również przedstawiono widmo sygnału terminala LTE UE. Dla tych parametrów zostały wyznaczone w [10] współczynniki ochronne wykorzystane do przeprowadzonych analiz odległości separacyjnych.

Tabela 33. Parametry terminala UE systemu LTE zakłócającego odbiornik DVB-T [10]

Parametr	Wartość
Metoda wielodostępu	SC-FDMA
Duplex	FDD

Szerokość pasma	5 MHz
Długość pod-ramki	1 ms
Liczba bloków	25
Pasmo podnośnej	15 kHz
Liczba użytkowników	1
Moc promieniowana	20 dBm



Rysunek 29. Widmo sygnału terminala LTE UE po wzmacnieniu i filtracji oraz maska widma zgodna ze specyfikacją 3GPP [12] (dla szerokości pasma 5 MHz)

5.2 Wyniki analiz

5.2.1 Analiza odległości ochronnych odbiornika TV i terminala LTE UE

W tabelach przedstawiono wyniki analizy odległości ochronnych, dla odbiornika telewizyjnego DVB-T i terminala mobilnego LTE. Założono, że terminal LTE UE może pracować także na zasadzie urządzenia radia kognitywnego w dowolnych kanałach TV (także poniżej k. 60). Analizowano dwa skrajne kanały telewizyjne (21 i 60) będące na brzegach pasma telewizyjnego 470-790 MHz. Pierwszy przypadek dotyczy sytuacji teoretycznego dopuszczenia emisji LTE w pasmach telewizyjnych a drugi praktycznej pracy systemu LTE w paśmie 790-862 MHz.

Tabela 34. Wyniki analizy odległości ochronnej DVB-T i terminala LTE UE, kanał 21, odbiór stacjonarny DVB-T

Kanał: 21			
Tryb: stały, antena odb. 10 m			
Procent czasu: 95%			
EIRP LTE UE: 20 dBm			
Odległość kanału LTE od kanału TV	Rodzaj odbiornika		
	Can [STB/iDTV]	Silicon [STB/iDTV]	Silicon [USB]
	Odległość ochronna [m]		
1	1200	1000	550
2	35	120	140
3	45	80	120
4	9	70	140
5	15	62	140
6	17	55	130
7	20	45	150
8	12	65	150
9	100	65	120

Tabela 35. Wyniki analizy odległości ochronnej DVB-T i terminala LTE UE, kanał 21, odbiór mobilny DVB-T

Kanał: 21 Tryb: mobilny, antena odb. 1,5 m Procent czasu: 95% EIRP LTE UE: 20 dBm			
Odległość kanału LTE od kanału TV	Rodzaj odbiornika		
	Can [STB/iDTV]	Silicon [STB/iDTV]	Silicon [USB]
	Odległość ochronna [m]		
1	270	250	140
2	9	26	30
3	12	19	27
4	2,2	18	30
5	3,5	16	30
6	3,8	15	30
7	4,6	12	35
8	2,6	16	25
9	25	16	26

Tabela 36. Wyniki analizy odległości ochronnej DVB-T i terminala LTE UE, kanał 21, odbiór przenośny zewnętrzny DVB-T

Kanał: 21 Tryb: przenośny zewnętrzny, antena odb. 1,5 m Procent czasu: 95% EIRP LTE UE: 20 dBm			
Odległość kanału LTE od kanału TV	Rodzaj odbiornika		
	Can [STB/iDTV]	Silicon [STB/iDTV]	Silicon [USB]
	Odległość ochronna [m]		
1	380	340	180
2	13	38	43
3	16	26	38

4	3	24	43
5	4,8	22	42
6	5,3	18	43
7	6,5	16	48
8	3,6	22	48
9	34	22	38

Tabela 37. Wyniki analizy odległości ochronnej DVB-T i terminala LTE UE, kanał 60, odbiór stacjonarny DVB-T

Kanał: 60 Tryb: stały, antena odb. 10 m Procent czasu: 95% EIRP LTE UE: 20 dBm			
Odległość kanału LTE od kanału TV	Rodzaj odbiornika		
	Can [STB/iDTV]	Silicon [STB/iDTV]	Silicon [USB]
	Odległość ochronna [m]		
1	650	600	230
2	22	65	75
3	26	45	65
4	5,4	42	75
5	8,5	37	75
6	9,3	33	75
7	13	26	85
8	5,5	37	85
9	57	37	75

Tabela 38. Wyniki analizy odległości ochronnej DVB-T i terminala LTE UE, kanał 60, odbiór mobilny DVB-T

Kanał: 60 Tryb: mobilny, antena odb. 1,5 m Procent czasu: 95% EIRP LTE UE: 20 dBm			
Odległość kanału LTE od kanału TV	Rodzaj odbiornika		
	Can [STB/iDTV]	Silicon [STB/iDTV]	Silicon [USB]
	Odległość ochronna [m]		
1	180	150	81
2	5	17	18
3	6,5	12	17
4	1,3	11	18
5	2,1	9,5	18
6	2,4	8,2	18
7	2,9	6,5	20
8	1,7	9	20
9	15	9,2	16

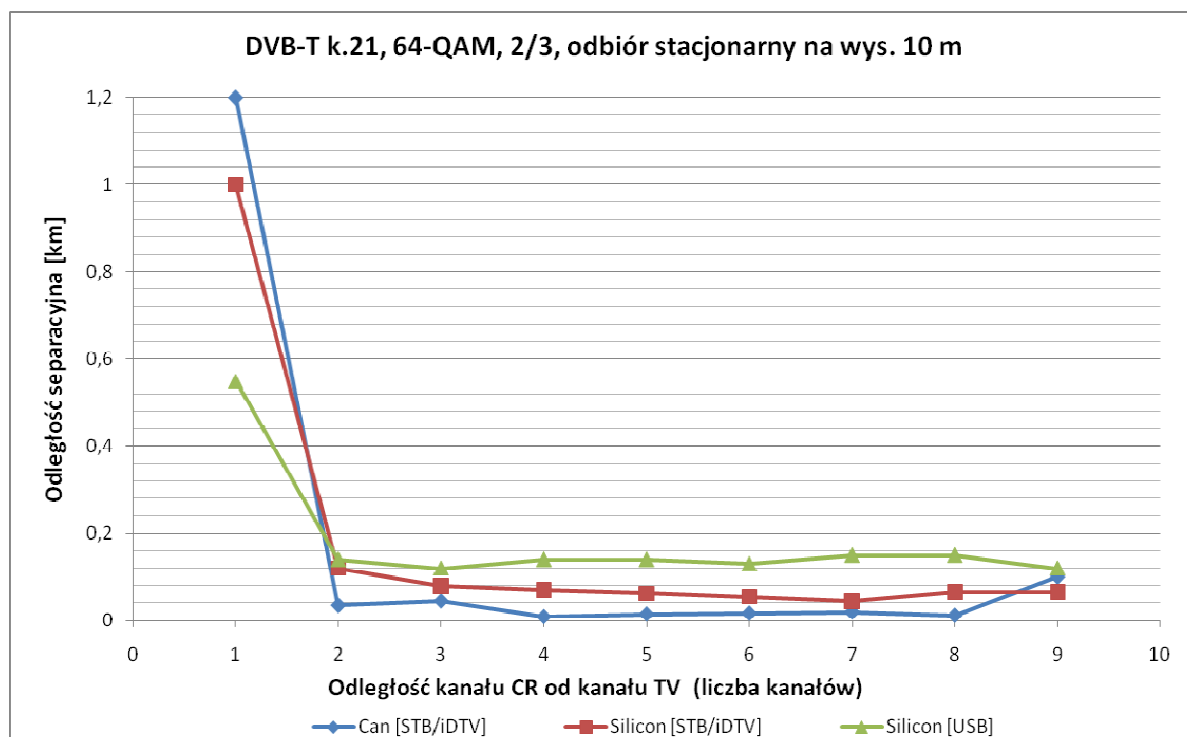
Tabela 39. Wyniki analizy odległości ochronnej DVB-T i terminala LTE UE, kanał 60, odbiór przenośny zewnętrzny DVB-T

Kanał: 60 Tryb: przenośny zewnętrzny, antena odb. 1,5 m Procent czasu: 95% EIRP LTE UE: 20 dBm			
Odległość kanału LTE od kanału TV	Rodzaj odbiornika		
	Can [STB/iDTV]	Silicon [STB/iDTV]	Silicon [USB]
	Odległość ochronna [m]		
1	230	200	120
2	7,5	22	25

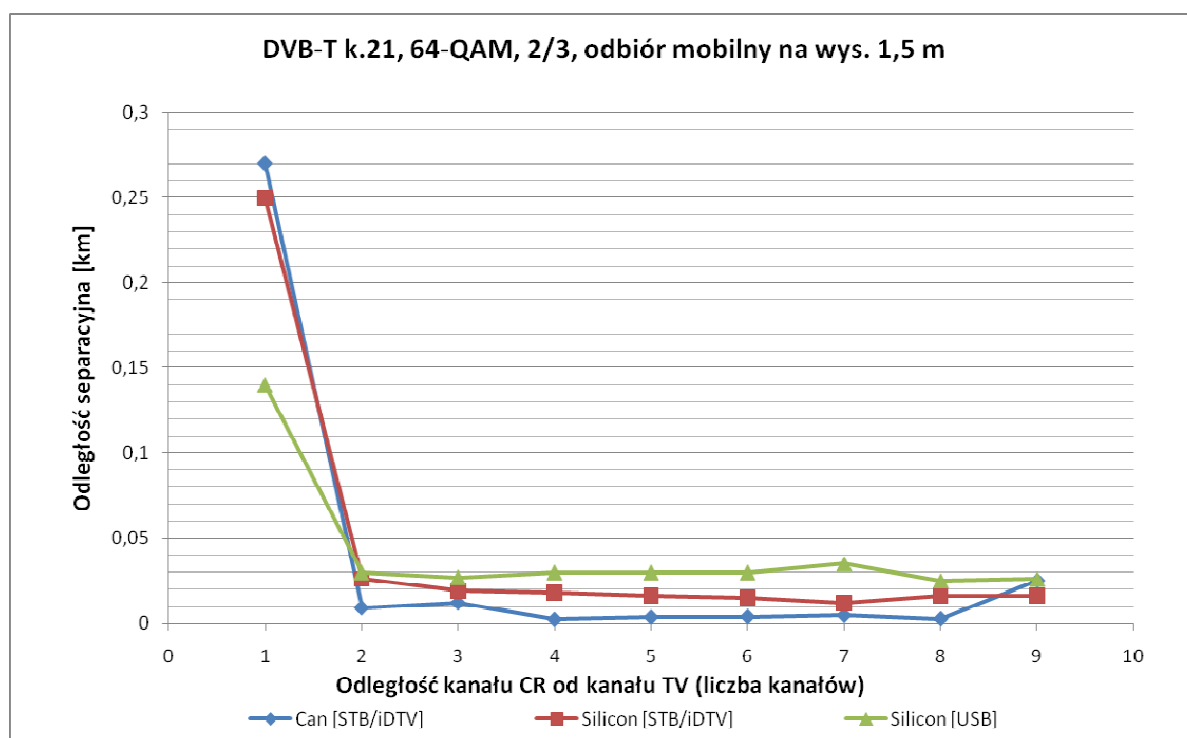
3	9,5	17	23
4	1,8	16	25
5	2,8	14	25
6	3,3	13	25
7	4	9,5	29
8	2,3	14	29
9	20	15	23

5.3 Omówienie wyników

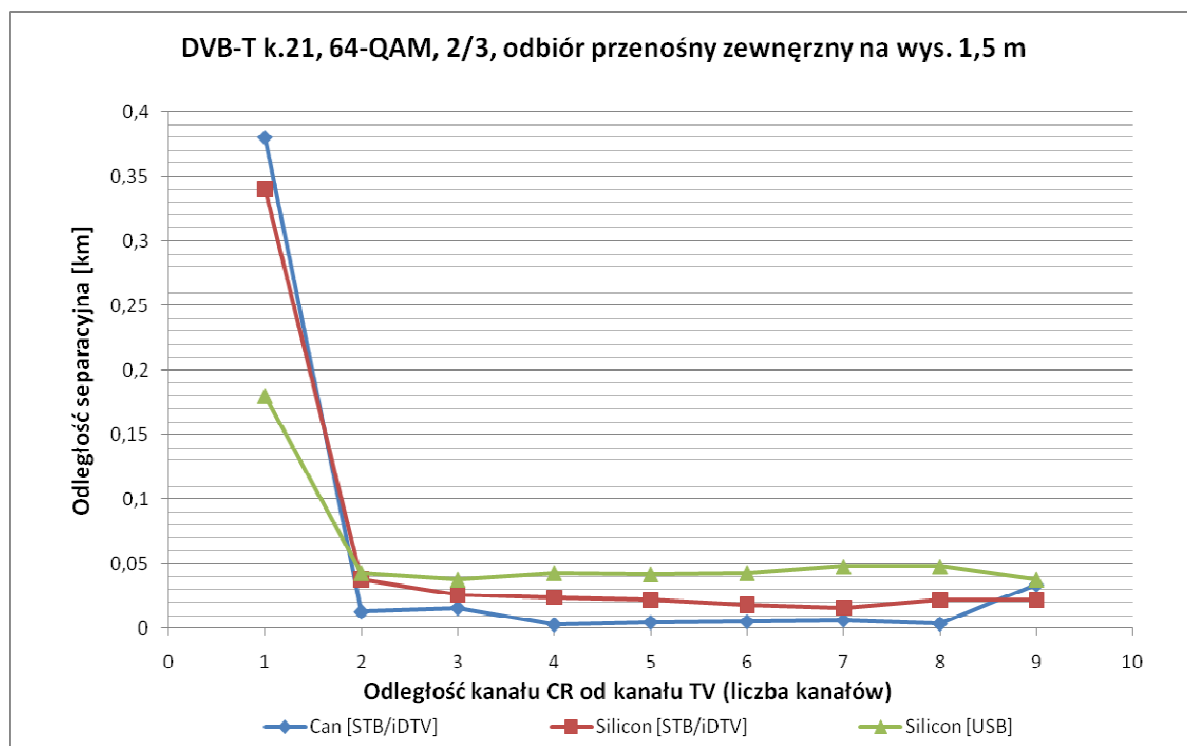
Przeprowadzone analizy miały na celu zbadanie wzajemnej kompatybilności systemu telewizji naziemnej w standardzie DVB-T oraz terminali LTE UE. Analizy tego typu oraz ich wyniki są istotne, ponieważ terminale mobilne LTE będą mogły być noszone przez użytkowników w każdym miejscu, zbliżając się do odbiorników telewizyjnych DVB-T, mogą powodować interferencje i zakłócać odbiór telewizyjny. Dzięki przeprowadzeniu analiz możliwe było wyznaczenie odległości ochronnych dla odbiorników telewizyjnych, które mogą być uwzględniane podczas projektowania i wykorzystywania systemu LTE. Na poniższych rysunkach przedstawiono na wykresach otrzymane wyniki odległości separacyjnej.



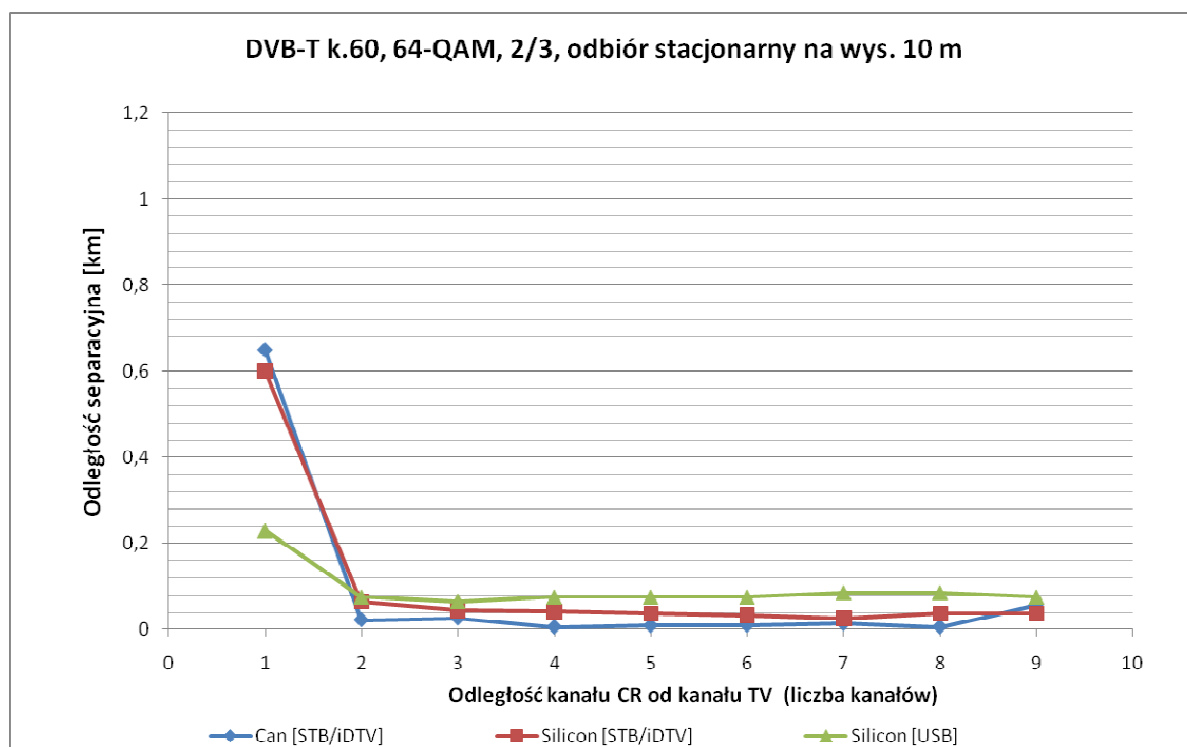
Rysunek 30. Wyniki analizy odległości separacyjnych, kanał 21, odbiór stacjonarny



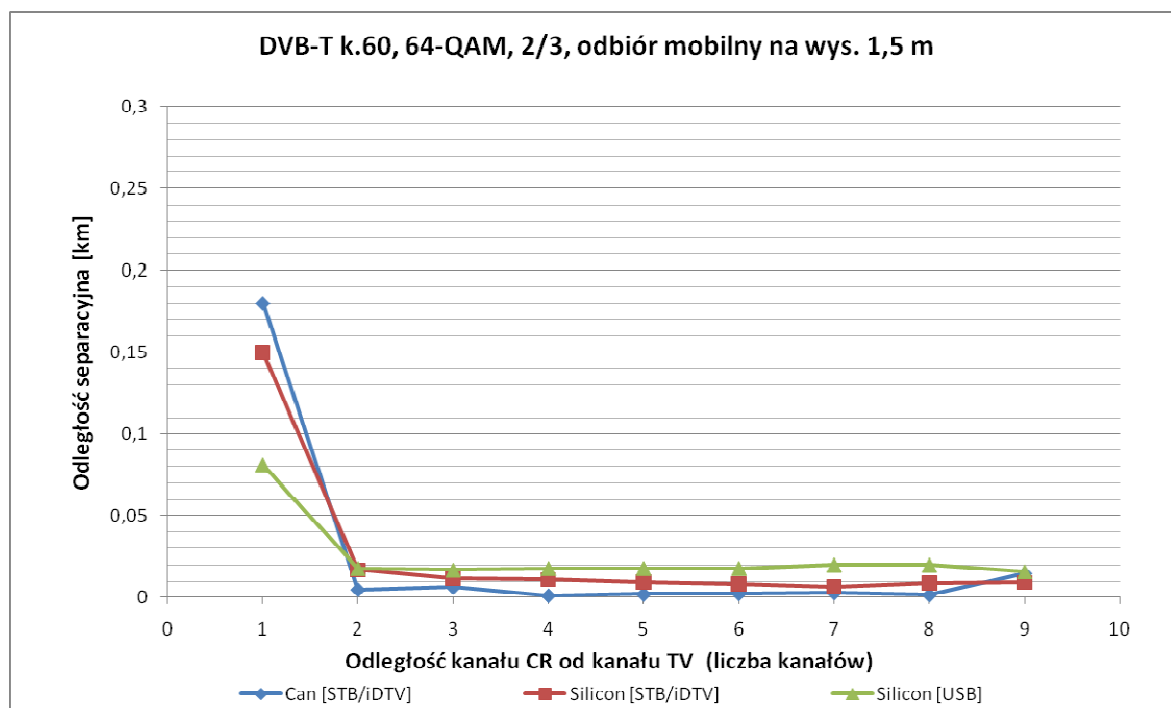
Rysunek 31. Wyniki analizy odległości separacyjnych, kanał 21, odbiór mobilny



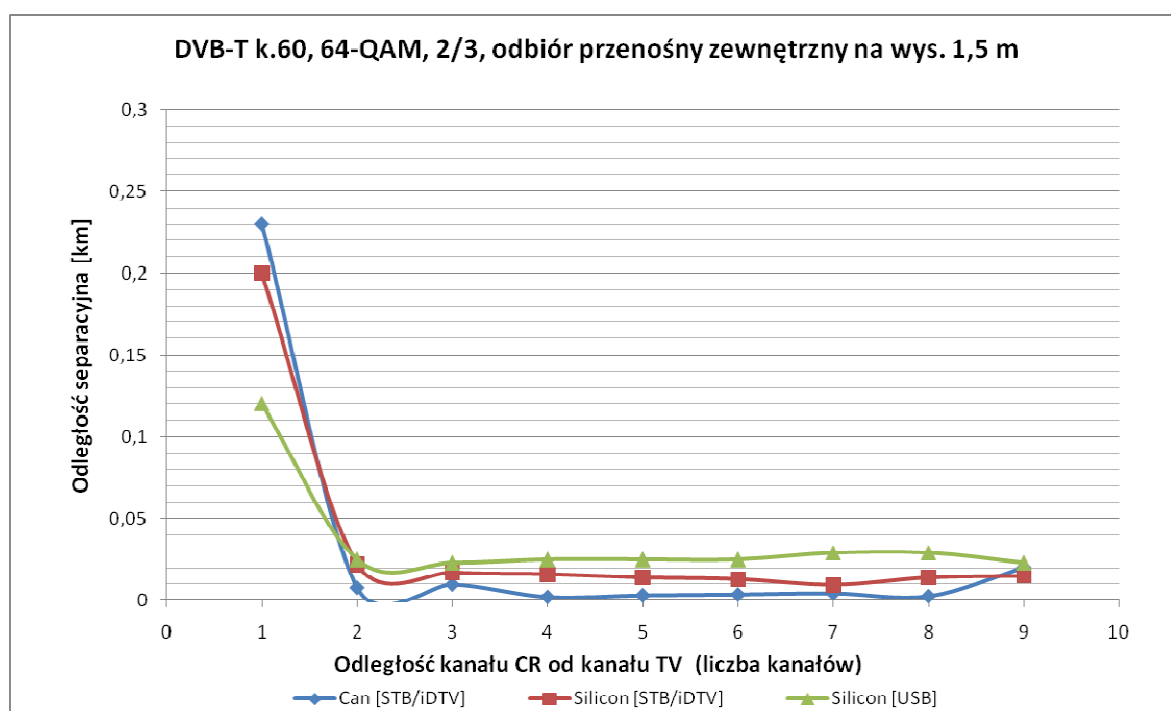
Rysunek 32. Wyniki analizy odległości separacyjnych, kanał 21, odbiór przenośny zewnętrzny



Rysunek 33. Wyniki analizy odległości separacyjnych, kanał 60, odbiór stacjonarny



Rysunek 34. Wyniki analizy odległości separacyjnych, kanał 60, odbiór mobilny



Rysunek 35. Wyniki analizy odległości separacyjnych, kanał 60, odbiór przenośny zewnętrzny

W kanale 60, minimalne odległości separacyjne wynoszą pracy sąsiedniokanałowej w odbiorze stacjonarnym od 230 m do 650 m w zależności od rodzaju odbiornika telewizyjnego. W odbiorze mobilnym i przenośnym zewnętrznym wartości te są mniejsze. Wynoszą odpowiednio od 81 m do 180 m oraz od 120 m do 230 m. Wraz ze wzrostem różnicy częstotliwości pracy terminala LTE od odbiornika telewizyjnego, minimalne odległości separacyjne są znacznie mniejsze. Maleją one do wartości nawet kilku do kilkunastu metrów, zależnie od trybu odbioru DVB-T i typu odbiornika. Dla kanału 21 wartości minimalnych odległości separacyjnych są większe niż dla kanału 60, związane jest to z inną charakterystyką propagacyjną tego zakresu częstotliwości. Przy pracy sąsiednio kanałowej dla kanału 21 odległości separacyjne wynoszą od 1200 m do 550 m w odbiorze stacjonarnym, zależnie od typu odbiornika. Natomiast w przypadkach gdy odległość kanałowa pracy terminala LTE jest większa wartości odległości separacyjnej wynoszą kilkadziesiąt metrów. Z tego powodu w niektórych krajach rezygnuje się z wykorzystywania kanału 60 TV do emisji DVB-T celem zapewnienia większej kompatybilności z przyszłymi systemami LTE.

6. Wykorzystanie technik Cognitive Radio w paśmie 490-790 MHz

Wykorzystując możliwości oprogramowania SEAMCAT, przeprowadzono wstępne analizy kompatybilności systemu naziemnej telewizji DVB-T z urządzeniami mogącymi pracować w technice radia kognitywnego, jako urządzenia WSD (White Space Device), wykorzystując mechanizmy detekcji widma (sensing) i dynamiczny przydział zasobów częstotliwości minimalizujący kolizje i interferencje do systemów już pracujących. W rozdziale tym wykonano wstępną ocenę kompatybilności przyszłych systemów kognitywnych z telewizją naziemną. Dokładne i praktyczne analizy kompatybilności przyszłych systemów kognitywnych będą kontynuowane w trakcie opracowywania i ustalania szczegółowych parametrów systemu, co jest związane z toczącym się procesem uzgadniania wymagań i standaryzacji na forum światowym.

Analizowany scenariusz zakładał pracę odbiornika telewizyjnego DVB-T, w którego otoczeniu może znajdować się jeden bądź więcej urządzeń WSD.

Poniższe tabele przedstawiają parametry obu analizowanych systemów wpisane do oprogramowania SEAMCAT.

Tabela 40. Parametry łącza zakłócanego przyjęte do analiz

Victim Link – łącze zakłócanie			
System		DVB-T fixed, outdoor, dense Urban, 95%	
Częstotliwość		474 – 786 MHz	
Victim Receiver – odbiornik zakłócanie		Wanted Transmitter – nadajnik zakłócanie	
Wysokość anteny	10 m	Wysokość anteny	100 m
Azymut	0°	Azymut	0
Kąt elewacji	0°	Kąt elewacji	0
Zysk anteny	0 dB	Zysk anteny	9,15 dB
Czułość	-77,2 dBm	Moc	72,15 dBm
Pasmo	8000 kHz	CR Emission Mask	funkcja
Tryb blokowania	Protection Ratio (funkcja)		
C/I	0 dB		
C/(N+I)	-3 dB		

(N+I)/N	3 dB	
I/N	0 dB	

Tabela 41. Parametry łącza zakłócającego przyjęte do analiz

Interfering Link – łącze zakłócające			
System		CR mobile outdoor	
Częstotliwość		474 – 786 MHz	
Wanted Receiver		Victim Transmitter	
Wysokość anteny	1.5 m	Wysokość anteny	1,5 m
Azymut	0°	Azymut	0°
Kąt elewacji	0°	Kąt elewacji	0°
Zysk anteny	0 dB	Zysk anteny	0 dB
Czułość	-77,2 dBm	Moc	30 dBm
		Emission Mask	funkcja

Tabela 42. Parametry poszczególnych łączy przyjęte do analiz w oprogramowaniu SEAMCAT

Vr – It Path	
Tryb	Brak
Promień	3 km
Aktywnych nadajników	10
Model propagacyjny	Extended Hata
It – Wr Path	
Promień 0 dB	2 km
Azymut -77,2 dBm	0-360° 73 dBm
Współczynnik odległości 8000 kHz	0.1 - 1 funkcja
Model propagacyjny Protection Ratio (funkcja)	Extended Hata
Wt – It Path	

Próg detekcji	-118,3 dBm
Prawdopodobieństwo błędnej detekcji -77,2 dBm	0% 73 dBm
In-Block Limit	Funkcja
Pasma (detekcji)	8 000 kHz
Margines dla węzła ukrytego	(2,7+13) 15,7 <- (95%)
Model propagacyjny	Extended Hata
Wt – Vr Path	
Promień 0 dB	31,15 km
Azymut -77,2 dBm	0-360° 73 dBm
Współczynnik odległości 8000 kHz	0.1 - 1 funkcja
Model propagacyjny Protection Ratio (funkcja)	ITU-R P-1546-1

W poniższej tabeli przedstawiono wyznaczone parametry zaproponowane w [12], przedstawiające wyznaczony poziom detekcji dla systemu telewizji DVB-T.

Tabela 43. Parametry poziomu detekcji dla urządzenia WSD przyjęte dla detekcji sygnału DVB-T

Parametry	
Link BW	7,6
Thermal Noise	-173,98
NF	7
Receiver Noise Floor	-98,17
Cell Edge reliability	95,00%
Shadowing variance	5,5
Wall variance	0
Total Loss variance	5,50
Loss margin	9,05
min SNR at Edge	21,0

P_{\min} , minimum DTT signal level	-77,2
P_{target} , target DTT signal level	-68,1
DTT BPL	0
Frequency	650
Antenna Gain	9,15
$E_{\text{med,min}}$	47,14
$E_{\text{med,plan}}$	56,18
Target DTT Field strength (outdoor)	56,18
$L_{\text{HDTT}} - \text{HWSD}$	16,00
$\sigma_{1,5\text{m}}$	5,50
BPL	8,00
σ_{BPL}	5,50
σ_{indoor}	3,50
Sensing reliability	95,00%
μ_{sense}	1,64
$m_{\text{sense}} \sqrt{(\sigma_{1,5\text{m}}^2 + \sigma_{\text{BPL}}^2 + \sigma_{\text{indoor}}^2)}$	14,03
f_{sense}	650,00
G_{sense}	0,00
L_{pol}	3,00
E_{sense}	15,15
$P_{\text{sense}_{1,5\text{m}}}$	-118,3

6.1 Wyniki analiz

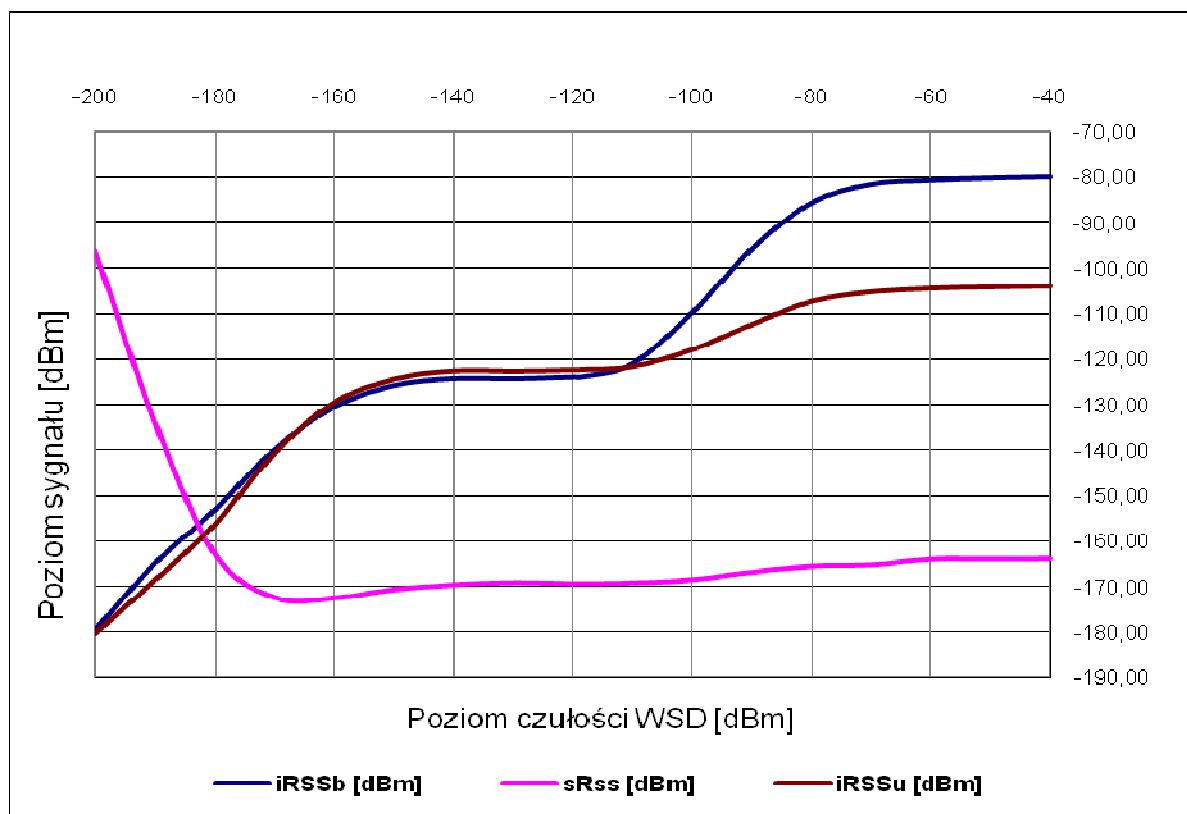
6.1.1 Wpływ poziomu detekcji na prawdopodobieństwo interferencji

Analiza przedstawia wyniki wpływu poziomu detekcji urządzenia WSD na prawdopodobieństwo interferencji do odbiornika systemu DVB-T. W symulacji wykorzystano 5000 próbek i przyjęto 40 aktywnych urządzeń WSD. Tabela przedstawia wyniki analizy prawdopodobieństwa interferencji w funkcji wartości poziomu detekcji. Kolorem czerwonym w tabeli oznaczono wyniki dla poziomu detekcji równego -118,3 dBm, którego wyznaczono w [12].

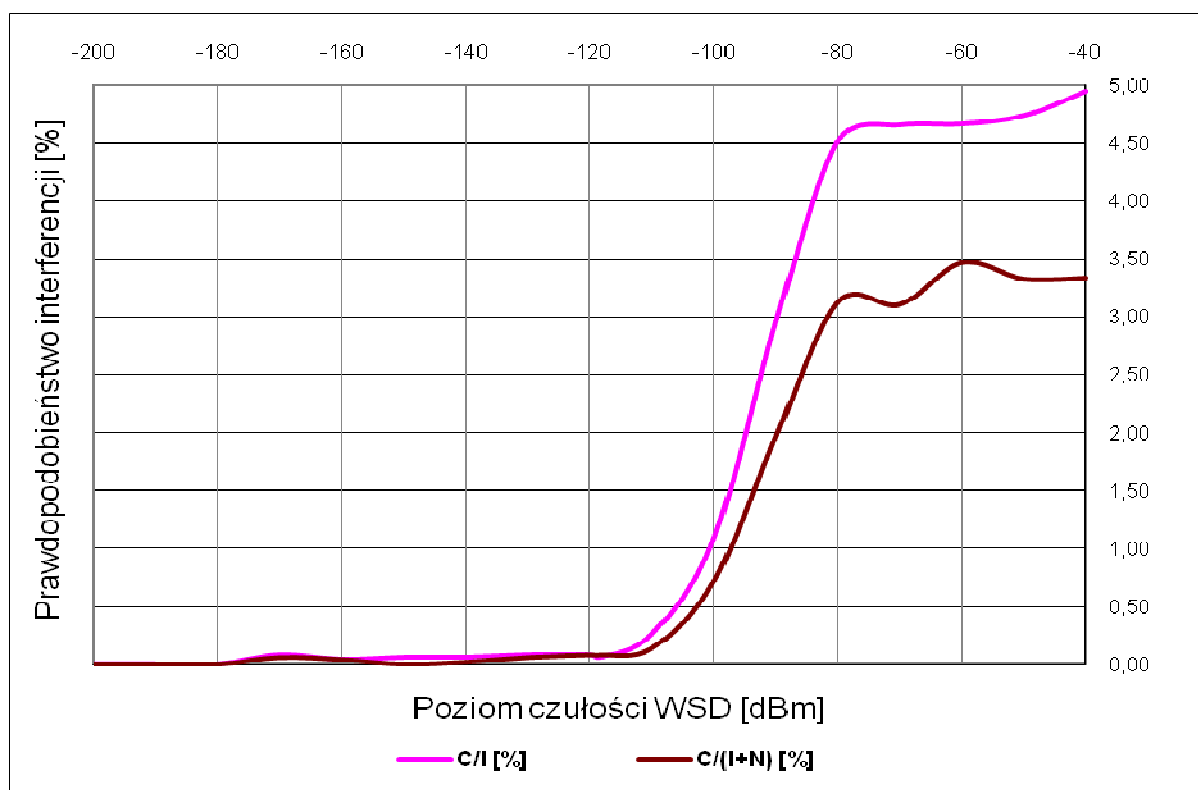
Poziom sRSS oznacza poziom mocy przy którym urządzenie WSD decyduje kiedy może uruchomić nadawanie.

Tabela 44. Wyniki analizy zmiany wartości poziomu detekcji WSD

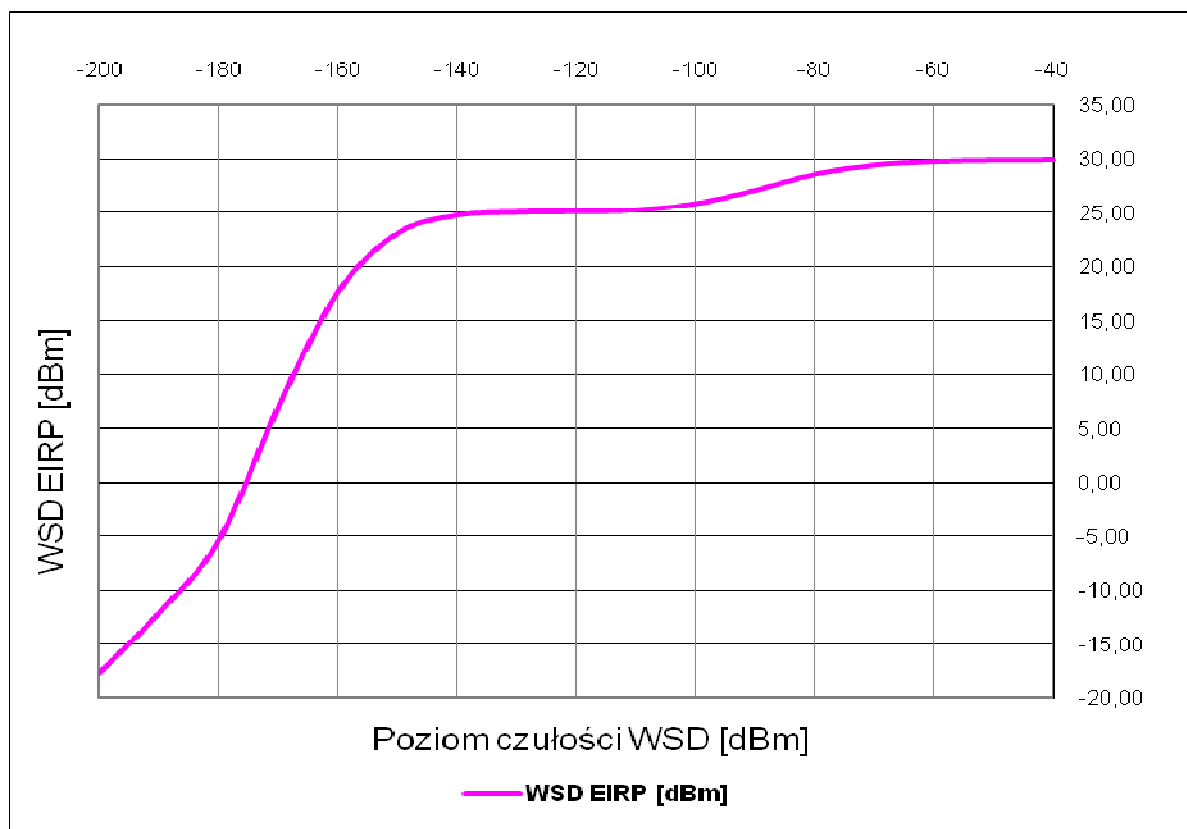
Poziom detekcji [dBm]	Poziom sygnału		Prawdopodobieństwo intrefereencji		Poziom sygnału	WSD EIRP [dBm]
	iRSSu [dBm]	iRSSb [dBm]	C/I [%]	C/(N+I) [%]	sRSS [dBm]	
-200	-180,43	-179,42	0,00	0,00	-96,27	-17,77
-190	-168,70	-164,84	0,00	0,00	-133,77	-12,10
-180	-156,47	-153,08	0,00	0,00	-162,65	-5,46
-170	-140,82	-139,81	0,08	0,06	-172,25	6,98
-160	-129,63	-130,42	0,04	0,04	-172,41	17,68
-150	-124,53	-125,68	0,06	0,00	-170,54	23,13
-140	-122,67	-124,16	0,06	0,02	-169,52	24,83
-130	-122,72	-124,20	0,08	0,06	-169,05	25,14
-120	-122,50	-123,79	0,08	0,08	-169,30	25,20
-118,3	-122,46	-123,72	0,06	0,08	-169,33	25,21
-110	-121,77	-120,93	0,26	0,14	-169,11	25,32
-100	-118,03	-109,77	1,09	0,72	-168,44	25,93
-90	-112,50	-95,71	2,96	1,97	-166,74	27,19
-80	-107,44	-85,55	4,52	3,13	-165,44	28,68
-70	-105,31	-81,45	4,66	3,11	-165,15	29,53
-60	-104,53	-80,52	4,67	3,47	-163,85	29,88
-50	-104,22	-80,07	4,74	3,33	-163,80	29,98
-40	-104,01	-79,78	4,95	3,34	-163,75	30,00



Rysunek 36. Zależność poziomów sygnałów iRSSb, sRSS, iRSSu w funkcji poziomu czułości WSD



Rysunek 37. Zależność prawdopodobieństwa interferencji i poziomu czułości WSD



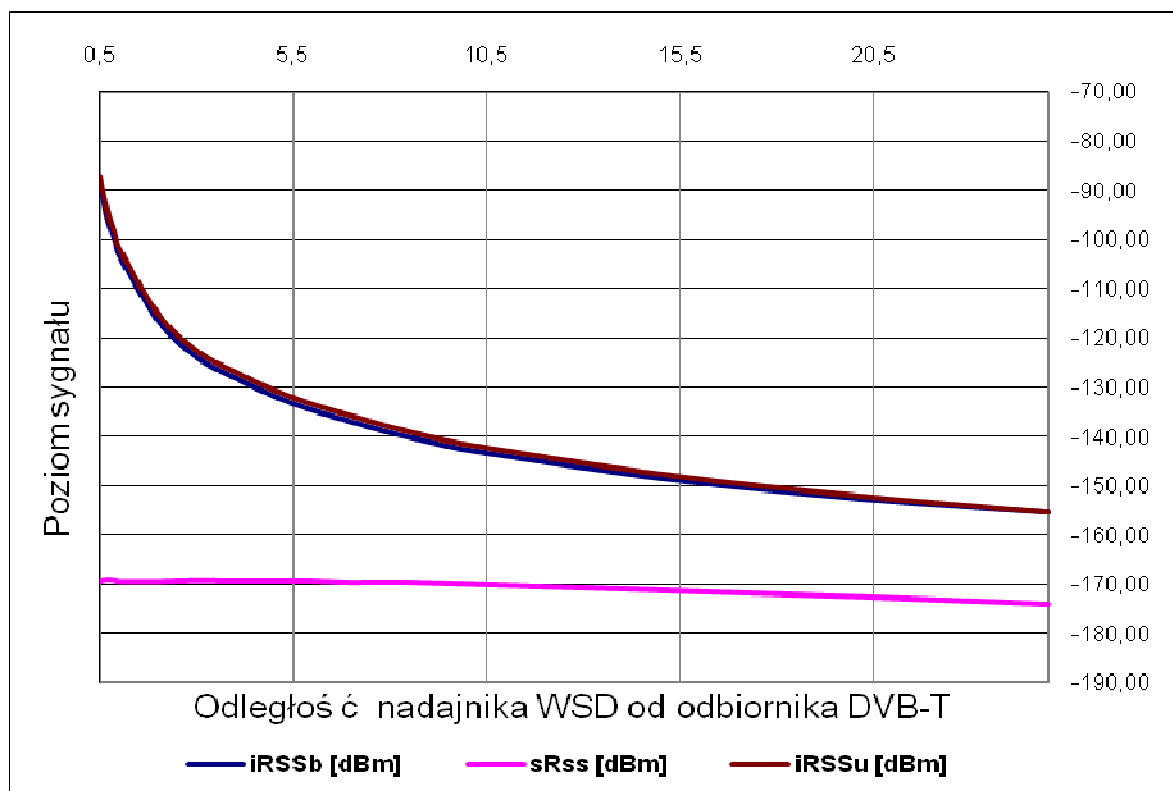
Rysunek 38. Zależność mocy EIRP WSD i poziomu czułości WSD

6.1.2 Wpływ odległości WSD na prawdopodobieństwo interferencji

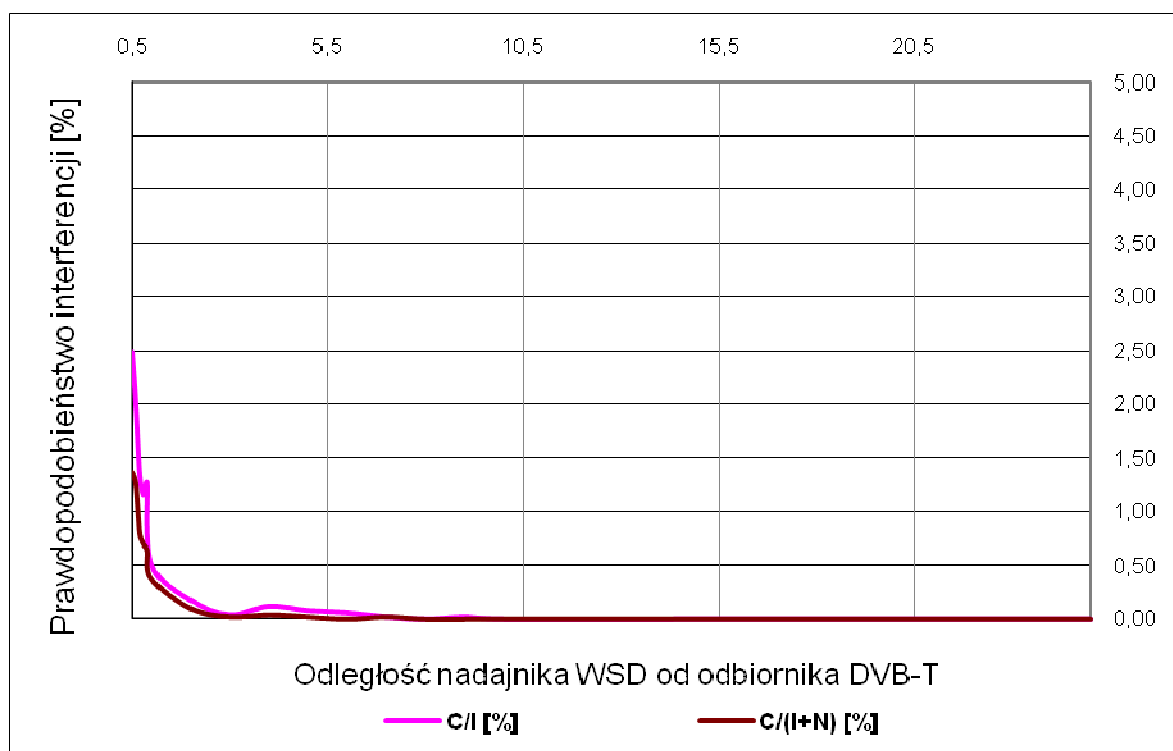
Analiza przedstawia wyniki wpływu odległości urządzenia zakłócającego WSD, na prawdopodobieństwo interferencji do odbiornika systemu DVB-T. W symulacji wykorzystano 5000 próbek i przyjęto 40 aktywnych urządzeń WSD. Tabela przedstawia wyniki analizy prawdopodobieństwa interferencji w funkcji wartości odległości urządzenia zakłócającego WSD i odbiornika zakłócanego DVB-T. Kolorem czerwonym w tabeli oznaczono wyniki dla odległości 3 km, którą wyznaczono w [12].

Tabela 45. Wyniki analizy zmiany odległości WSD od odbiornika zakłócanego DVB-T

Odległość Vr-lt [km]	Poziom sygnału		Prawdopodobieństwo interferencji wg kryterium		Poziom sygnału
	iRSSu [dBm]	iRSSb [dBm]	C/I [%]	C/(N+I) [%]	sRSS [dBm]
0,5	-87,32	-88,59	2,49	1,37	-169,28
0,6	-91,17	-92,38	1,99	1,26	-169,09
0,7	-94,54	-95,80	1,35	0,80	-169,02
0,8	-97,05	-98,26	1,16	0,70	-169,06
0,9	-99,32	-100,54	1,27	0,64	-169,19
1	-101,91	-103,18	0,52	0,38	-169,39
2	-115,14	-116,38	0,18	0,10	-169,40
3	-122,66	-123,89	0,04	0,02	-169,17
4	-126,94	-128,11	0,12	0,04	-169,29
5	-130,65	-131,80	0,08	0,02	-169,25
6	-133,52	-134,70	0,06	0,00	-169,28
7	-135,84	-137,01	0,02	0,02	-169,58
8	-138,07	-139,22	0,00	0,00	-169,50
9	-140,01	-141,06	0,02	0,00	-169,69
10	-141,69	-142,76	0,00	0,00	-169,94
15	-147,70	-148,53	0,00	0,00	-171,19
20	-152,04	-152,57	0,00	0,00	-172,50
25	-155,45	-155,46	0,00	0,00	-174,05



Rysunek 39. Zależność poziomu sygnału i odległości nadajnika WSD od odbiornika DVB-T



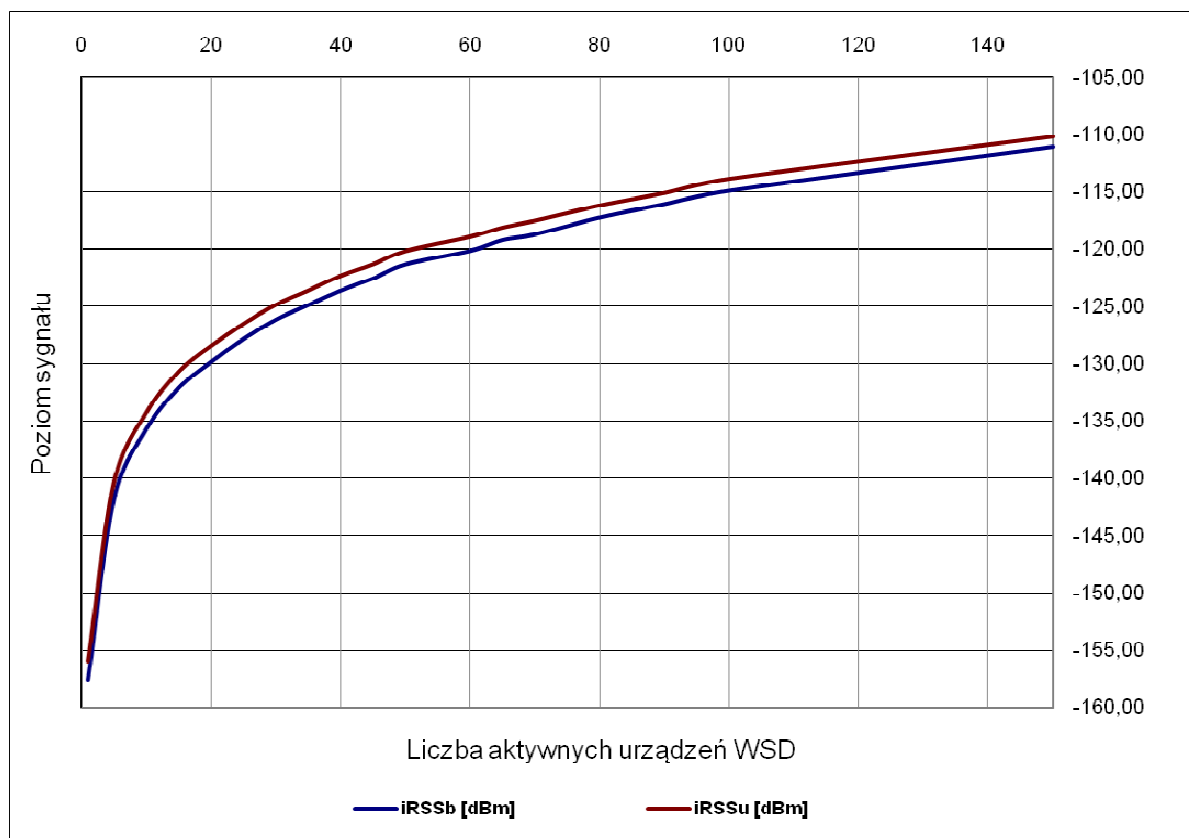
Rysunek 40. Zależność prawdopodobieństwa interferencji i odległości nadajnika WSD od odbiornika DVB-T

6.1.3 Wpływ liczby urządzeń WSD na prawdopodobieństwo interferencji

Analiza przedstawia wyniki wpływu odległości urządzenia zakłócającego WSD, na prawdopodobieństwo interferencji do odbiornika systemu DVB-T. W symulacji wykorzystano 5000 próbek i zmieniano liczbę aktywnych urządzeń WSD. Tabela przedstawia wyniki analizy prawdopodobieństwa interferencji i poziomów sygnałów w funkcji liczby urządzeń zakłócających WSD. Kolorem czerwonym w tabeli oznaczono wyniki dla liczby 10 urządzeń, którą wyznaczono w [12]. Analiza nie uwzględnia statystycznego sumowania zakłóceń, którego wpływ można szacować (w przypadku dużych liczb WSD) na kilka-kilkanaście dB.

Tabela 46. Wyniki analizy zmiany liczby aktywnych urządzeń WSD

Liczba WSD	Poziom sygnału		Prawdopodobieństwo interferencji	
	iRSSu [dBm]	iRSSb [dBm]	C/I [%]	C/(N+I) [%]
1	-156,00	-157,56	0,00	0,00
5	-140,39	-141,80	0,00	0,00
10	-134,29	-135,67	0,04	0,00
15	-130,72	-132,08	0,06	0,04
20	-128,46	-129,82	0,08	0,04
25	-126,55	-127,80	0,04	0,00
30	-124,87	-126,13	0,10	0,04
35	-123,63	-124,84	0,04	0,02
40	-122,34	-123,58	0,14	0,12
45	-121,35	-122,52	0,06	0,04
50	-120,18	-121,31	0,08	0,06
60	-118,93	-120,10	0,12	0,02
65	-118,13	-119,17	0,16	0,08
70	-117,53	-118,68	0,12	0,08
80	-116,21	-117,21	0,20	0,10
90	-115,11	-116,04	0,18	0,10
100	-113,88	-114,86	0,18	0,08
150	-110,17	-111,03	0,26	0,14



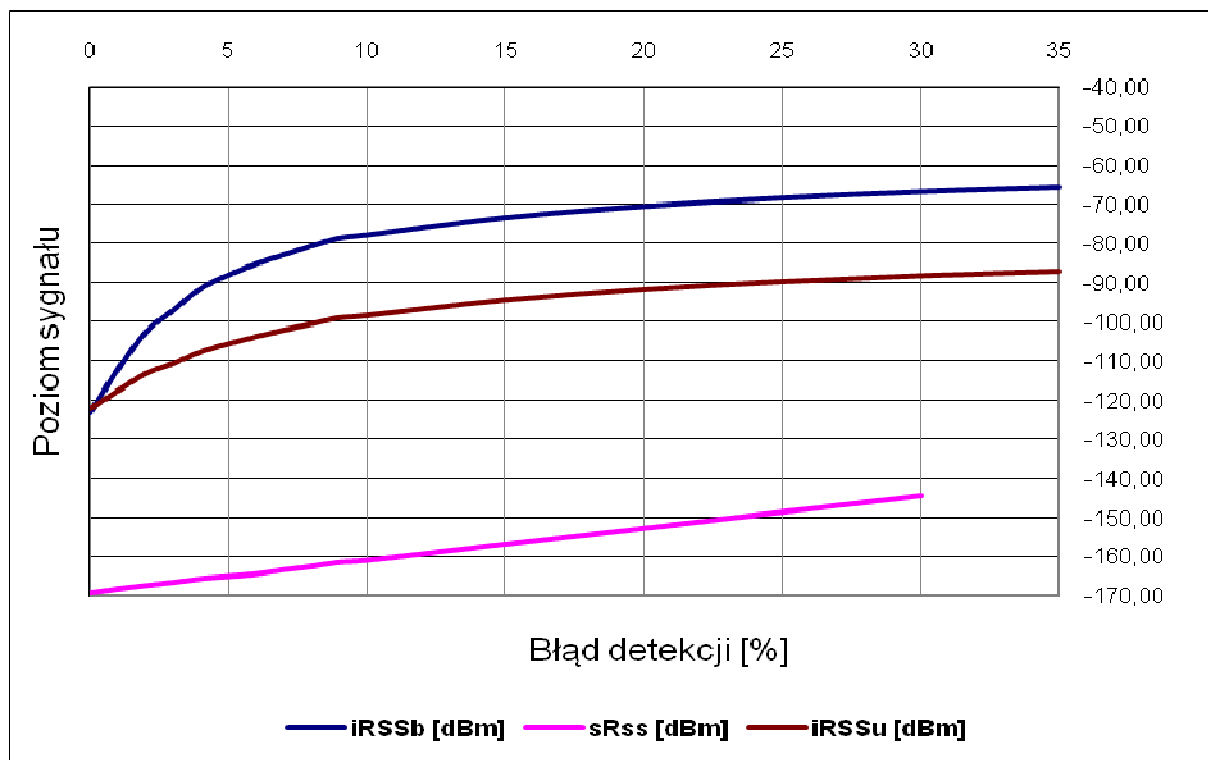
Rysunek 41. Zależność poziomu sygnałów i liczby aktywnych urządzeń WSD

6.1.4 Wpływ poziomu błędu detekcji na prawdopodobieństwo interferencji

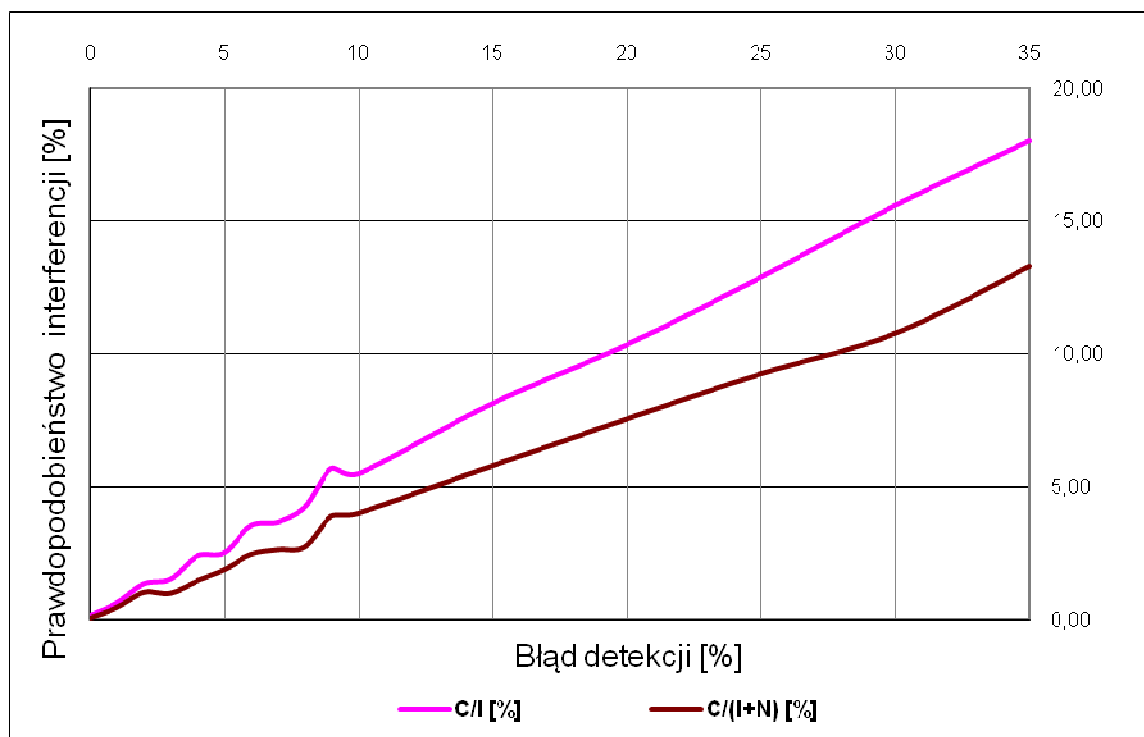
Analiza przedstawia wyniki wpływu poziomu błędu detekcji WSD, na prawdopodobieństwo interferencji do odbiornika systemu DVB-T. W symulacji wykorzystano 5000 próbek, liczba aktywnych urządzeń WSD to 40. Tabela przedstawia wyniki analizy prawdopodobieństwa interferencji i poziomów sygnałów w funkcji liczby urządzeń zakłócających WSD. Kolorem czerwonym w tabeli oznaczono wyniki dla liczby 0% błędu poziomu detekcji, którą wyznaczono w [12].

Tabela 47. Wyniki analizy wartości błędu poziomu detekcji

Błąd detekcji [%]	Poziom sygnału		Prawdopodobieństwo interferencji		Poziom sygnału
	iRSSu [dBm]	iRSSb [dBm]	C/I [%]	C/(N+I) [%]	sRSS [dBm]
0	-122,02	-123,24	0,14	0,04	-169,30
1	-117,53	-112,29	0,62	0,44	-168,26
2	-113,23	-102,77	1,34	1,02	-167,38
3	-110,61	-97,17	1,51	0,98	-166,59
4	-107,56	-91,52	2,39	1,45	-165,63
5	-105,51	-88,04	2,51	1,87	-165,07
6	-103,72	-85,28	3,53	2,45	-164,43
7	-102,07	-83,03	3,67	2,63	-163,40
8	-100,55	-80,75	4,23	2,73	-162,53
9	-98,99	-78,73	5,69	3,89	-161,44
10	-98,40	-77,92	5,49	4,00	-161,00
15	-94,51	-73,45	8,14	5,79	-156,80
20	-91,73	-70,56	10,34	7,55	-152,65
25	-89,74	-68,47	12,89	9,25	-148,50
30	-88,24	-66,92	15,59	10,77	-144,40



Rysunek 42. Zależność poziomów sygnałów i liczby aktywnych urządzeń WSD



Rysunek 43. Zależność prawdopodobieństwa interferencji i błędu detekcji urządzenia WSD

6.2 Omówienie wyników analiz

Dzięki możliwości wykorzystaniem oprogramowania SEAMCAT do analizowania kompatybilności systemów z urządzeniami mogącymi pracować technice radia kognitywnego, jako urządzenia WSD (White Space Device), wykorzystujące mechanizmy detekcji widma i dynamiczny przydział zasobów częstotliwości, przeprowadzono wstępne analizy kompatybilności takich urządzeń WSD z odbiornikami systemu telewizji DVB-T. Przeprowadzono analizy wpływu poziomu detekcji urządzenia WSD, poziomu błędów detekcji urządzenia WSD czy odległości pomiędzy urządzeniami WSD a odbiornikiem DVB-T. Ponieważ standard dla systemów WSD i warunki jego kompatybilności nie są jeszcze znane, wyniki te mają charakter roboczy. Niemniej wstępne wyniki wskazują, że wiele parametrów pracy i zasad pracy urządzenia WSD ma wpływ na poziom interferencji do innych urządzeń, w tym przypadku do odbiorników DVB-T, np. poziom czułości detekcji widma urządzenia WSD. W związku tego typu analizy są też istotne w celu określenia zasad i wymagań w stosunku do urządzeń WSD oraz prowadzenia działalności standaryzacyjnej związanej z wymogami regulacji dostępu do widma radiowego.

7. Podsumowanie

Prowadzenie analiz kompatybilności elektromagnetycznej nowych systemów radiowych jest konieczne na etapie przygotowania do ich wdrożenia związku z coraz większą liczbą systemów radiowych, które w sposób naturalny muszą wykorzystywać to samo lub sąsiednie pasmo częstotliwości. Przed wprowadzeniem nowego systemu należy ocenić możliwe problemy zakłóceń do systemów już istniejących i zapewnić im należyłą ochronę oraz przewidzieć ryzyko zakłóceń, którym podlegać będą nowe systemy. Działania takie prowadzone są zasadniczo na forum międzynarodowym (ITU, CEPT) ale także poza nim w każdym kraju muszą być wykonywane dodatkowo własne analizy ze względu na specyfikę wykorzystywania widma radiowego, często różną w innych krajach. W niniejszej pracy zajęto się niektórymi problemami kompatybilności systemów radiowych najnowszych generacji takich jak LTE, IEEE 802.22 (WRAN), przyszłe systemy kognitywne (Cognitive Radio). Ich wdrożenie w Polsce wymaga zdefiniowania parametrów ochronnych systemów już pracujących takich jak np. DVB-T czy DAB+, które są lub będą wdrażane w najbliższej przyszłości. Przeprowadzone analizy pozwalają również na przyszłe zdefiniowanie białych przestrzeni widma radiowego, mogą więc zostać wykorzystane do ustalenia warunków pracy systemów kognitywnych w Polsce, np. stanowić podstawę przyszłych danych baz geolokalizacyjnych. Wyniki pracy posłużą do publikacji na forum krajowym i międzynarodowym oraz, mogą też zostać wykorzystane przez Administrację w fazie oceny możliwości wdrożenia przyszłych systemów radiowych i do celów specyfikacji technicznej wymagań ochronnych systemów już pracujących. W przyszłości posłużą do dalszych, głębszych analiz kompatybilności systemów kognitywnych, które to systemy w szczególny sposób przyczynią się do wzrostu efektywności wykorzystania widma radiowego, a których wdrożenie musi być poprzedzone precyzyjnymi analizami technicznymi i sformułowaniem wymagań techniczno-regulacyjnych akceptowanych później przez Administrację. Metody badawcze rozwijane przy okazji prowadzonych analiz kompatybilności mogą zostać też wykorzystane w realizacji przyszłych prac biznesowych np. na potrzeby operatorów telekomunikacyjnych.

8. Literatura

- [1] Więcek D., *Model odbiornika DVB-T do analizy kompatybilności*, Telekomunikacja i Techniki Informacyjne, 3-4/2003, Warszawa;
- [2] Więcek D. *Metody badania kompatybilności naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T z wybranymi systemami radiowymi*, Raport nr I28/PRE-005/05 (praca doktorska), Politechnika Wrocławska, Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki, Wrocław 2005, 84 s.
- [3] Planning criteria for digital terrestrial services in the VHF/UHF bands, Rec. ITU-R, BT. 1368-7, 2007;
- [4] ITU-R, Recommendation P,1546-3, *Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz*, 2006, Geneva;
- [5] Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06), Geneva, 2006;
- [6] ETSI EN 300 401, *Radio broadcasting systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers*, ETSI, 1995-2001;
- [7] Final Acts of World Radiocommunication Conference, Geneva, November, 2007;
- [8] C. Cordeiro, K. Challapali, D. Birru, S. Shankar, *IEEE 802.22: The First Worldwide Wireless Standard based on Cognitive Radios*, 2005 1st IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 8-11 Nov. 2005;
- [9] Dokumenty grupy roboczej WG 802.22,
http://www.ieee802.org/22/Meeting_documents/;
- [10] ECC Report 148, *Measurements on the performance of DVB-T receivers in*

the presence of interference from the mobile service (especially from LTE), Marseille, June 2010;

[11] 3GPP TS 36.101 V8.5.1 “User Equipment (UE) radio transmission and reception”;

[12] Draft ECC Report 159, *Technical and operational requirements for the possible operation of cognitive radio systems in the “white spaces” of the frequency band 470-79 MHz*;