



## ANALIZY KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ SYSTEMÓW IEEE 802.22 I NAZIEMNEJ TELEWIZJI CYFROWEJ DVB-T

Streszczenie: System IEEE 802.22 jest jednym z systemów, kandydujących do wykorzystania pasma 470 – 862 MHz na zasadzie służby drugiej ważności. W referacie przedstawiono wyniki analiz kompatybilności elektromagnetycznej systemu IEEE 802.22 i telewizji naziemnej DVB-T, która w największym stopniu, po wyłączeniu telewizji analogowej, będzie wykorzystywać pasmo 470 – 790 MHz jako służba pierwszej ważności.

### 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, wykonywanych już na etapie wstępnej analizy dostępności widma częstotliwości radiowych.

Zagadnienie zagwarantowania kompatybilności elektromagnetycznej pomiędzy systemami radiowymi jest jednym z najistotniejszych problemów podczas przygotowań do wdrożenia nowego systemu. Analizy 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 oraz w sąsiednich pasmach częstotliwości, w obecności planowanych nowych emisji i powstawania tym samym nowych zakłóceń. Ponieważ transmisja mobilna i łączność radiowa staje się obecnie dominującym sposobem komunikacji, intensywność i możliwość podniesienia efektywności wykorzystania widma radiowego jest jednym z kluczowych problemów współczesnej łączności. Aktualnie uruchamiane są na świecie pierwsze sieci łączności mobilnej następnej generacji: LTE, WiMax. Pojawiają się również nowe standardy takie jak Regionalne Sieci Bezprzewodowe (WRAN) IEEE 802.22 wykorzystujące proste mechanizmy radia kognitywnego. Trwają prace nad wymaganiami i przygotowana jest standaryzacja zaawansowanych przyszłych radiowych sieci kognitywnych (np. aktualna propozycja nowego standardu IEEE 1900.7 w ramach grupy IEEE SCC41), które w sposób dynamiczny będą zarządzać pasmem radiowym. Będą również 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.

### 2. KOMPATYBILNOŚĆ SYSTEMU IEEE 802.22 I DVB-T

Celem analiz kompatybilności jest zbadanie wpływu systemu IEEE 802.22 (WRAN - *Wireless Regional Area Network*) na system naziemnej telewizji cyfrowej w standardzie DVB-T, które będą mogły w przyszłości pracować w jednym paśmie częstotliwości 470 MHz - 790 MHz.

Standard IEEE 802.22 jest jednym z systemów radiowych, który może pracować na zasadzie systemu kognitywnego (*Cognitive Radio*) w paśmie wykorzystywanym przez służby licencjonowane (tu rozsiewcze systemy telewizyjne) na zasadzie drugiej ważności (*secondary service*) i oportunistycznego dostępu do widma (*opportunistic spectrum access*). Oznacza to, że nie będzie powodował zakłóceń i nie żądał ochrony przed zakłóceniami wykorzystując proste mechanizmy dostępu do widma np. za pomocą zapytań do baz geolokalizacyjnych. Pozwala on na uzyskanie bardzo dużych zasięgów sieci komputerowych (do 30 km) dzięki korzystnym właściwościom propagacyjnym pasm telewizyjnych, przy jednoczesnym wzroście efektywności wykorzystania widma radiowego.

Analizy kompatybilności pozwalają 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 pracować jako służba drugiej ważności (o ile zostanie podjęta taka decyzja przez Administrację po przeanalizowaniu aspektów kompatybilności elektromagnetycznej). Dlatego też, odbiornik telewizji cyfrowej leżący w zasięgu dobrego odbioru powinien być chroniony np. zapewniając obszar ochronny, w którym nie mogą pracować urządzenia systemu WRAN. Wyznaczenie obszarów ochronnych następuje przy użyciu dopuszczalnego maksymalnego stosunku SIR (*Signal to Interference Ratio*) będącego w tym przypadku współczynnikiem ochronnym 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 [1]. 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.

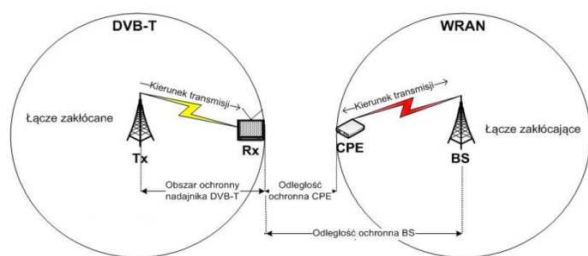
W wyniku analiz określono odległości separacyjne (ochronne) dla pracujących w bliskiej odległości systemów DVB-T i WRAN dla różnych zadanych parametrów obu systemów.

## 2.1. Scenariusz analizy kompatybilności

Analizy zostały wykonane za pomocą oprogramowania SEAMCAT 3.2.0. Obszary zasięgu użytecznego zostały wyznaczone na podstawie modelu propagacyjnego ITU-R.1546-3 [2] dla 50% czasu i 50% miejsc, natomiast dla emisji 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 1. Scenariusz I zakłada, że zmianie podczas analiz ulega odległość ochronna BS (*base station*), która jest odległością stacji bazowej BS systemu WRAN od odbiornika TV. Natomiast scenariusz II zakłada, że zmianie podczas analiz ulega odległość ochronna CPE (*customer-premises equipment*) – czyli odległość urządzenia konsumenckiego CPE od odbiornika TV. Wartości współczynników ochronnych wykorzystane podczas analiz dotyczą systemu DVB-T i zostały przedstawione poniżej w tabeli 1.

Tab. 1. Wartości współczynników ochronnych przyjęte podczas badań kompatybilności

Kanał systemu WRAN (w kanale N pracuje DVB-T)	Modulacja	Współczynnik ochronny [dB]
N	16-QAM	14
N±1		-30
N	64-QAM	20
N±1		-30



Rys. 1. Scenariusz wykorzystany podczas analizy, scenariusz I - analiza odległości ochronnej BS, scenariusz II - analiza odległości ochronnej CPE

## 2.2. Parametry systemu DVB-T

W przeprowadzonej analizie system telewizji naziemnej DVB-T pełnił rolę łącza zakłócanego. Analiza prawdopodobieństwa wystąpienia zakłóceń została prze-

prowadzona dla trzech kanałów z pasma VHF i UHF. Kanały testowe wraz z częstotliwościami środkowymi, jak również zasięgami użytecznymi dla poszczególnych częstotliwości przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Kanały DVB-T wykorzystywane 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 główne parametry, które zostały użyte podczas wyznaczania prawdopodobieństwa wystąpienia interferencji.

Tab. 3. Parametry nadajnika DVB-T

Wysokość zawieszenia anteny [m]	ERP [kW]	Ch-ka anteny	Szerokość kanału [MHz]
200	100	ND	7,61

Tab. 4. Parametry odbiornika DVB-T

Wysokość zawieszenia anteny [m]	Czułość [dBm]	Ch-ka anteny	Zysk anteny odbiorczej [dBi]
10	-75	ND	12

Dodatkowo istotną cechą odbiornika jaką trzeba było uwzględnić w pomiarach była maska odbiornika telewizyjnego.

## 2.3. Parametry systemu IEEE 802.22

W przeprowadzonej analizie system IEEE 802.22 pełnił rolę łącza zakłócającego. W odróżnieniu od systemu DVB-T transmisja mogła się odbywać zarówno od stacji BS do CPE (Downlink), jak również od stacji CPE do stacji nadawczej BS (Uplink). Parametry nadajnika WRAN i urządzenia CPE wykorzystane podczas pomiarów przedstawiono w tabelach poniżej [3]. Ponadto w symulacjach uwzględniono maskę emisji nadajnika WRAN.

Tab. 5. Parametry nadajnika WRAN

Wysokość zawieszenia anteny [m]	Moc nadawania [W]	Ch-ka anteny	Zysk anteny nadawczej [dBi]	Szerokość kanału [MHz]
25	100	D	12	7,49
50				
75				
100				

Tab. 6. Parametry terminala CPE

Wysokość zawieszenia anteny [m]	Czułość [dBm]	Ch-ka anteny	Zysk anteny odbiorczej [dBi]	Szerokość kanału [MHz]
10	-75	D	10	7,61

### 3. WYNIKI ANALIZ

Przeprowadzone analizy kompatybilności miały na celu zbadanie wzajemnej kompatybilności systemu telewizji naziemnej w standardzie DVB-T oraz systemu IEEE 802.22. Prawdopodobnie w przyszłości oba systemy będą mogły koegzystować w paśmie VHF i UHF (WRAN jako służba drugiej ważności). Dzięki przeprowadzeniu analiz możliwe było wyznaczenie odległości ochronnych dla odbiorników telewizyjnych. Powinny one być uwzględniane podczas projektowania i pracy systemu WRAN w paśmie wykorzystywanym przez systemy telewizji rozsiewczej. Są również istotne 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 niepożądanych interferencji dla odbiorników telewizji naziemnej DVB-T. W analizach systemu SEAMCAT charakter probabilistyczny ma odległość pomiędzy stacją bazową a odbiornikiem TV. W analizie wyników jako wartość krytyczną prawdopodobieństwa interferencji przyjęto 5% dopuszczalnych zakłóceń. Ostateczna decyzja odnośnie wymaganego poziomu ochrony odbioru DVB-T wymagać będzie uzgodnień między Administracją i użytkownikami widma pierwszej ważności.

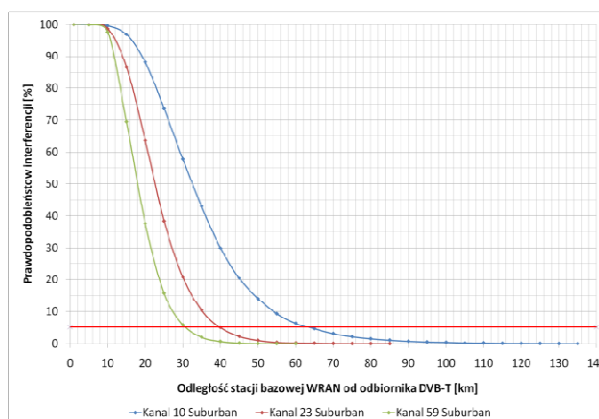
#### 3.1. Praca systemów w tym samym kanale

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, jak parametry, zarówno nadajnika DVB-T, jak również urządzeń wykorzystywanych przez system WRAN, wpływają na odległości ochronne BS i CPE. Wyniki można 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 jednego z podanych parametrów zmienia się także zasięg użyteczny systemu telewizyjnego, a zgodnie z użytym scenariuszem odbiornik telewizyjny znajduje się na skraju zasięgu nadajnika telewizyjnego. Zatem odbierany poziom sygnału natężenia pola elektrycznego jest bliski minimalnemu natężeniu pola zgodnemu z danym trybem (modulacją, kodowaniem

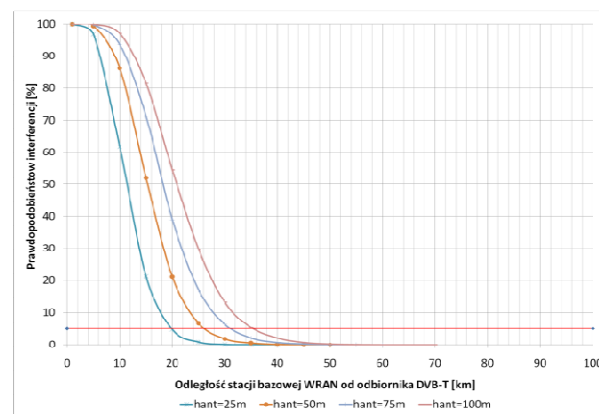
itp.). Dlatego jedynym wynikiem zmiany powyższych parametrów jest zmiana wielkości zasięgu użytecznego systemu DVB-T, a tym samym wymagana minimalna odległość nadajnika WRAN od nadajnika DVB-T.

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 kanałów telewizyjnych) systemu DVB-T przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. 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

Zależność opisującą prawdopodobieństwo wystąpienia szkodliwych interferencji w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika TV dla wybranych parametrów systemu DVB-T przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T dla kanału 59, DVB-T 64QAM kod 5/6

Minimalne odległości ochronne BS, wyrażono jako odległość ochronną 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 dla modulacji 16QAM i 64QAM.

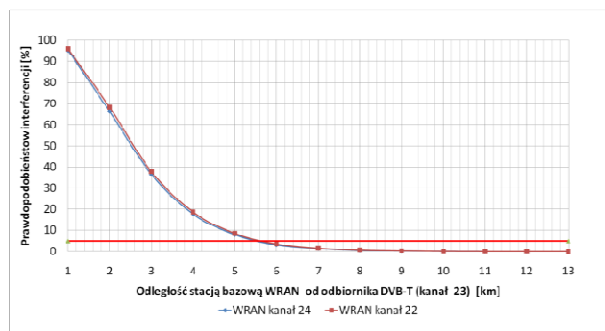
Tab. 7. Wyniki minimalnej odległości ochronnej BS dla zadanej odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika TV

Wysokość zawieszenia anteny WRAN [m]	DVB-T 64QAM			DVB-T 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
100	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 požądanej. Zastosowanie modulacji 64QAM w porównaniu do modulacji 16QAM powoduje zwiększenie minimalnych odległości ochronnych.

### 3.2. Praca systemów w kanałach sąsiednich

Analizę kompatybilności obu systemów pracujących w kanale sąsiednim przeprowadzono dla dwóch różnych częstotliwości pracy systemu DVB-T. Dokonano symulacji dla sygnału zakłócającego pochodzącego od stacji bazowej WRAN. Zależność opisującą prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji od odległości ochronnej BS dla kanału 23 i wybranego wariantu systemu DVB-T przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w funkcji odległości stacji bazowej WRAN od odbiornika DVB-T (kanał 23), DVB-T 64QAM kod 5/6

Zgodnie z wynikami analiz transmisja w kanale sąsiednim powoduje znacznie mniejsze zakłócenia dla transmisji sygnał telewizyjnego niż w przypadku pracy współkanałowej. Skutkuje to 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 współkanałowej emisji DVB-T i WRAN. Podczas podejmowania decyzji o dopuszczeniu systemu radiowego do wdrożenia konieczne będzie jednak

uwzględnianie ochrony przed zakłóceniami także w kanałach sąsiednich.

## 4. WNIOSKI

Prowadzenie analiz kompatybilności elektromagnetycznej nowych systemów radiowych jest konieczne na etapie przygotowania do ich wdrożenia. Jest to związane 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 należytą ochronę, oraz przewidzieć ryzyko zakłóceń, którym podlegać będą nowe systemy. Działania takie prowadzone są zasadniczo na forum międzynarodowym (ITU, CEPT). Jednak także w każdym kraju, muszą być wykonywane dodatkowo własne analizy ze względu na specyfikę wykorzystywania widma radiowego, często różną w innych krajach.

Na podstawie przeprowadzonych symulacji wyznaczenie zasięgów ochronnych możliwe jest tylko dla ściśle określonych warunków pracy obu systemów. Przeprowadzone analizy wykazały, że możliwe jest współistnienie systemu naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T i systemu WRAN. Pomimo to, w każdym przypadku projektowania systemu WRAN, jako systemu pracującego w paśmie VHF i UHF na zasadzie służby drugiej ważności, należy uwzględniać wzajemną kompatybilność międzysystemową. Przy wykorzystywaniu konkretnych parametrów emisji DVB-T (m.in. moc promieniowana, wysokość zawieszenia anteny nadawczej) 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, z których będą mogły korzystać systemy kognitywne, takie jak np. WRAN 802.22.

## SPIS LITERATURY

- [1] Planning criteria for digital terrestrial services in the VHF/UHF bands, Rec. ITU-R, BT. 1368-7, 2007;
- [2] 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;
- [3] Dokumenty grupy roboczej WG 802.22, <https://mentor.ieee.org/802.22/documents>;