



**INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI**  
**ODDZIAŁ WE WROCŁAWIU**  
ul. Swojczycka 38, 51-501 Wrocław

---

**ZAKŁAD KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ**

---

**Kompatybilność elektromagnetyczna telewizji cyfrowej DVB-T**  
**– metody badania**

Sprawozdanie Z21/21300020/590/00

WROCŁAW, grudzień 2000

Nr pracy: 21 30 002 0

Nazwa pracy: Kompatybilność elektromagnetyczna telewizji cyfrowej DVB-T  
metody badania

Zleceniodawca: Praca statutowa

Data rozpoczęcia: styczeń 2000

Data zakończenia: grudzień 2000

Wykonawcy Pracy:

Mgr Witold Kowal- kierownik tematu

Mgr inż. Andrzej Marszałek

Mgr inż. Marek Michalak

Dr inż. Wiktor Śęga

Dr inż. Janusz Sobolewski

Mgr inż. Mateusz Tomasz Waga

Mgr inż. Dariusz Więcek

Zespół obserwatorów:

Dr Tomasz Niewodniczański

Dr inż. Mirosław Pietranik

Mgr Witold Kowal

Mgr inż. Włodzimierz Stawski

Mgr inż. Dariusz Więcek

Mgr inż. Krzysztof Strawski

Mgr inż. Mateusz Tomasz Waga

Mgr inż. Marek Michalak

Mgr Halina Ługowska

Mgr inż. Grzegorz Lewandowski

Mgr inż. Radosław Tyniów

Mgr inż. Małgorzata Konrad

Zofia Gajderowicz

Wiesława Nowak

Rafał Bobrowski

Praca wykonywana w Zakładzie Z-21

Kierownik Zakładu: dr Tomasz Niewodniczański

*Spis treści:*

<b>1.</b>	<b>WSTĘP</b> .....	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>CEL PRACY</b> .....	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>KOMPATYBILNOŚĆ TVA Z TVA</b> .....	<b>7</b>
3.1	ZAŁOŻENIA .....	7
3.2	OPIS STANOWISKA.....	7
3.3	REALIZACJA BADAŃ .....	9
3.4	WNIOSKI.....	18
<b>4.</b>	<b>KOMPATYBILNOŚĆ DVB-T Z TVA</b> .....	<b>19</b>
4.1	ZAŁOŻENIA .....	19
4.2	OPIS METODY POMIAROWEJ .....	19
4.3	OPIS STANOWISKA POMIAROWEGO.....	21
4.4	REALIZACJA POMIARÓW.....	29
4.5	WNIOSKI.....	29
4.6	PODSUMOWANIE .....	30
<b>5.</b>	<b>KOMPATYBILNOŚĆ DVB-T Z SYSTEMAMI WOJSKOWYMI</b> .....	<b>31</b>
5.1	WSTĘP .....	31
5.2	BADANE SYSTEMY .....	31
5.3	KOMPATYBILNOŚĆ SYSTEMÓW WOJSKOWYCH Z DVB-T W KANAŁACH 44–46 I 54–55.	32
5.4	KOMPATYBILNOŚĆ MIĘDZY RSBN/PRMG I DVB-T (KANAŁY 61–63).....	34
5.4.2	<i>Transmisja samolot-samolot w systemie RSBN</i> .....	35
5.5	KOMPATYBILNOŚĆ SYSTEMÓW WOJSKOWYCH Z DVB-T W KANAŁACH 66-69 .....	35
5.5.1	<i>Oddziaływanie sygnałów telewizyjnych na odbiornik systemu radarowego</i> .....	36
5.6	PODSUMOWANIE .....	37
<b>6.</b>	<b>ANALIZA KOMPATYBILNOŚCI DVB-T Z ŁĄCZAMI ZWROTNYMI FONICZNYMI (TALKBACK) I Z ŁĄCZAMI POZA RADIODYFUZYJNYMI OB (OUTSIDE BROADCAST)</b> .....	<b>38</b>
6.1	ZAKŁÓCENIA OD DVB-T .....	38
6.1.1	<i>Parametry fonicznych łącz zwrotnych</i> .....	39
6.1.2	<i>Parametry łącz poza radiodyfuzyjnych OB</i> .....	39
6.1.3	<i>Rozważane scenariusze zakłóceń</i> .....	40
6.1.4	<i>Wyniki dla 8MHz sygnału DVB-T</i> .....	40
6.1.5	<i>Obliczenia dla masek widma DVB-T przyjętych przez CEPT SE PT 21</i> .....	43
6.2	ZAKŁÓCENIA OD ŁĄCZY FONICZNYCH I ŁĄCZY OB DO DVB-T .....	47
6.2.1	<i>Parametry łącz fonicznych</i> .....	47
6.2.2	<i>Obliczenia i wybór scenariuszy zakłóceń</i> .....	47
6.2.3	<i>Opis scenariuszy zakłóceń</i> .....	48
6.2.4	<i>Ustalenie modelu propagacyjnego</i> .....	52
6.3	WYNIKI ANALIZY .....	52
6.4	INTERPRETACJA WYNIKÓW .....	55
6.5	WNIOSKI.....	55
<b>7.</b>	<b>KOMPATYBILNOŚĆ DVB-T Z SYSTEMEM IS-95</b> .....	<b>58</b>
7.1	OPIS SYSTEMU DO CELÓW ANALIZY .....	58
7.1.1	<i>Dane systemu IS-95</i> .....	58
7.2	ANALIZA SYSTEMU DO CELÓW KOMPATYBILNOŚCI .....	58
7.2.1	<i>Analiza zakłóceń wnoszonych do IS-95</i> .....	58
7.2.2	<i>Analiza zakłóceń wnoszonych do DVB-T przez terminale IS-95</i> .....	60
7.3	WNIOSKI.....	61
<b>8.</b>	<b>PROBLEMATYKA ZAKŁÓCENÍ WNO SZONYCH DO DVB-T</b> .....	<b>61</b>
8.1	KRYTERIA KOMPATYBILNOŚCI.....	62
8.2	MODELOWANIE ODBIORNIKA DVB-T .....	63
<b>9.</b>	<b>MOŻLIWOŚĆ WPROWADZENIA DVB-T W POLSCE</b> .....	<b>65</b>
9.1	PLAN SIECI 1-2 DVB-T .....	66
9.1.1	<i>Mapki potencjalnych zasięgów dla sieci 1-2 DVB-T</i> .....	67

9.2	PLAN SIECI 3-4 DVB-T .....	68
9.2.1	<i>Spodziewane pokrycie ludnościowe i powierzchniowe sieci 3-4 DVB-T .....</i>	69
9.2.2	<i>Próba tworzenia sieci SFN.....</i>	70
9.2.3	<i>Próby doboru kanałów.....</i>	70
9.2.4	<i>Koordinacja międzynarodowa .....</i>	70
<b>10.</b>	<b>WNIOSKI.....</b>	<b>71</b>
<b>11.</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>72</b>
<b>12.</b>	<b>WYKAZ SKRÓTÓW: .....</b>	<b>73</b>

## 1. Wstęp

Praca niniejsza stanowi kontynuację pracy statutowej prowadzonej w roku 1998 [8]. Ze względu na trwające obecnie w Europie prace zmierzające do określenia metod analiz kompatybilności naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T z innymi służbami w bieżącym roku zaktualizowano informacje zawarte w sprawozdaniu z poprzedniego etapu oraz dodano nowe fragmenty, które zostały opracowane w 2000 roku. Prace w zakresie współużytkowania widma przez naziemną telewizję cyfrową DVB-T z innymi służbami (radiodyfuzyjnymi i nie) trwają od kilku lat. Mimo tego, ze względu na nieustanny brak informacji technicznych oraz brak wyników pomiarów, nie wszystkie kryteria kompatybilności zostały ustalone do tej pory. Tempo prac poświęconych wprowadzeniu telewizji cyfrowej DVB jest coraz szybsze - w Europie prowadzi się jednocześnie wiele prac zarówno badawczych jak i normalizacyjnych. W zaleceniu ITU-R BT.1368 [3] przedstawiono między innymi współczynniki ochronne dla TVA zakłócaną sygnałem DVB-T dla różnych systemów telewizji analogowej, lecz nie uwzględniono przyjętego dla Polski systemu D1/PAL. Aby móc wdrożyć DVB-T w Polsce istnieje potrzeba opracowania metod badań kompatybilności nowego systemu telewizji cyfrowej z istniejącymi służbami, zestawienia stanowiska pomiarowego oraz przeprowadzenia samych pomiarów określających współczynniki ochronne. Wyniki tych badań w postaci współczynników ochronnych są niezbędne dla zaprojektowania sieci naziemnej telewizji cyfrowej. Praca ma więc aspekty: pomiarowy i analityczny.

Prace dotyczące kompatybilności DVB-T prowadzone są w krajach należących do CEPT w ramach Zespołu Projektowego PT FM24 zajmującego się kompatybilnością DVB-T z innymi służbami radiodyfuzyjnymi oraz w ramach Zespołu Projektowego PT SE27 zajmującego się kompatybilnością DVB-T z innymi niż radiodyfuzyjne służbami. Wykonano szereg prac pozwalających na uaktualnienie wcześniej ustalonych wartości natężeń pól i współczynników ochronnych. W związku z tym informacje prezentowane w niniejszym sprawozdaniu obejmują zagadnienia dotychczas opracowywane, które w przyszłości na skutek nowych danych i nowych pomiarów mogą zostać zaktualizowane.

## 2. Cel pracy

Niniejsza praca stanowi kontynuację prac i badań prowadzonych w poprzednich latach, wyniki w niej zawarte stanowią uzupełnienie i rozwinięcie rezultatów uzyskanych wcześniej.

Część pierwsza niniejszej pracy dotyczy weryfikacji stanowiska pomiarowego dla sygnałów analogowych telewizyjnych zakłócanych sygnałem telewizji analogowej dla offsetu precyzyjnego i nieprecyzyjnego oraz przedstawia proces przygotowania stanowiska do pomiarów kompatybilności sąsiedniokanałowej pomiędzy naziemną telewizją cyfrową DVB-T a telewizją analogową TVA. Celem pracy jest, poprzez wstępne ustalenie kryteriów kompatybilności naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T z innymi służbami, zaprojektowanie i zbudowanie stanowiska pomiarowego do badań kompatybilności pomiędzy DVB-T i TVA oraz opracowanie odpowiednich procedur pomiarowych i przygotowanie odpowiedniego zaplecza badawczego dla potrzeb administracji państwowej - URT.

W drugiej części pracy wykonano przegląd prac prowadzonych w dziedzinie kompatybilności DVB-T zarówno w Polsce jak i w Europie. Opracowano również teoretyczne podstawy do analitycznego wyznaczania współczynników ochronnych oraz pokazano propozycje planów sieci DVB-T dla 3 i 4 multipleksu.

Badania zostały przeprowadzone w oparciu o ogólnie przyjętą metodę SCM (ang. Subjective Comparison Method), zaproponowaną w Dodatku 5 do Zalecenia ITU-R BT.655-3 [4], opisanej w Zaleceniu ITU-R BT.500-9 [2] oraz w Zaleceniu ITU-R BT.1368 [3]. Świadomy wybór tej metody oparto na założeniu, że metoda SCM zwana subiektywną metodą porównawczą, niewątpliwie

uproszczona pod względem organizacyjnym i aparaturowym daje wyniki pomiarów współczynników ochronnych dla telewizji nie odbiegające od wartości podanych w Zaleceniu 655 [4]. Subiektywne metody służące do określania stopnia pogorszenia jakości wiążą się z przeprowadzaniem obszernych testów, są czasochłonne, wymagają dużej liczby obserwatorów i dotyczą raczej pełnego zakresu pogorszenia jakości. Dla odniesienia mierzonych wartości do przyjętej skali zakłóceń wykorzystano pięciostopniową skalę jakości i zakłóceń wg ITU-R. Zastosowanie określonego stałego sygnału zakłócającego powoduje pojawienie się odtwarzalnego zestawu liczb z niską dewiacją (standardowa dewiacja około plus minus 1dB). Konieczna jest niewielka liczba obserwatorów - 3 do 5 (niekoniecznie ekspertów). Stanowisko pomiarowe zainstalowano w specjalnie wybudowanym w tym celu odpowiednim pomieszczeniu laboratorium spełniającym wymagania PN-T-05151. Założono, że badania będą przeprowadzane przy jak największym wykorzystaniu aparatury pomiarowej będącej już na wyposażeniu Instytutu. Przy wyborze urządzeń dla stanowiska pomiarowego kierowano się zasadą stworzenia warunków jak najbardziej zbliżonych do rzeczywistych warunków emisji sygnałów telewizyjnych.

Współczynniki ochronne określamy jako minimalną wartość stosunku sygnału pożądanego do niepożądanego, wyrażoną zwykle w decybelach na wejściu odbiornika. Wartość tę podajemy dla konkretnych parametrów odbioru na wyjściu odbiornika. Parametry te związane są ściśle z jakością odbioru (funkcja jakości odbioru). Wartości współczynnika ochronnego określamy dla zakłóceń interferencyjnych emitowanych przez jedno źródło sygnału. Najczęściej współczynniki mierzymy dla zakłóceń interferencyjnych troposferycznych (T) co odpowiada warunkom lekko dokuczliwego pogorszenia jakości odbioru. Zakładamy przy tym że, takie pogorszenie jakości jest dopuszczalne jedynie w małym procencie czasu. Przyjmujemy, że stanowi on od 1% do 10% całego czasu nadawania. W warunkach rzeczywistych kiedy sygnały zakłócające przybierają charakter sygnałów ciągłych wymagamy zapewnienia większego stopnia ochrony jakości odbioru. Lekko dokuczliwe pogorszenie jakości odbioru staje się nie do zaakceptowania przez dłuższy czas oglądalności. Dopuszczamy w takim przypadku jedynie zauważalne lecz nie dokuczliwe pogorszenie jakości odbioru. Dla takiego przypadku mierzymy inne minimalne wartości stosunku sygnału pożądanego do niepożądanego. Określone w takich warunkach współczynniki ochronne odpowiadają ciągłym zakłóceniom interferencyjnym (C). Trzeba pamiętać przy tym, że dla polepszenia jakości odbioru nie można stosować znacząco silnych wejściowych sygnałów użytecznych. Na skutek występowania nieliniowych efektów w odbiorniku może nastąpić znaczne pogorszenie jakości odbioru co powoduje zwiększenie wartości współczynników ochronnych. W trakcie pomiarów założono, zgodnie z dokumentami ITU, że poziomem odniesienia pogorszenia jakości jest ten, który odpowiada współczynnikom ochronnym 30 dB i 40 dB z offsetem częstotliwości między nośnymi wizji bliskim dwóm-trzecim częstotliwości linii lecz ustawionym na maksymalne pogorszenie, przy dokładnej różnicy między częstotliwościami równej 10416 kHz. Warunki te odpowiadają mniej więcej (zgodnie z nomenklaturą ITU) stopniu pogorszenia 3 (lekko dokuczliwe) i 4 (zauważalne lecz nie dokuczliwe) i odpowiadają, jak już wspomniano wcześniej, kolejno zakłóceniom ciągłym (C) i troposferycznym (T). Podstawowe terminy i związki dla metody SCM przedstawiono w tablicy 2.1.

Pogorszenie jakości	Stopień 3	Stopień 4
Typ interferencji	troposferyczne	ciągłe
Czas trwania	1% do 5% czasu	50% czasu
Określenie pogorszenia	Lekko dokuczliwe	Zauważalne, lecz nie dokuczliwe
Zakłócenie wzorcowe	60 mV <sub>p-p</sub>	20 mV <sub>p-p</sub>
Współczynnik ochronny RF	30 dB	40 dB

Tablica 2.1. Podstawowe pojęcia metody SCM.

### 3. Kompatybilność TVA z TVA

#### 3.1 Założenia

Pierwsza część niniejszej pracy stanowi dopełnienie pracy nr 21 4 14 6 pt.: **‘Organizacja laboratorium do badań kompatybilności elektromagnetycznej w odbiorze radiowym, telewizyjnym i innych służbach’** [1] przeprowadzonej w 1998 roku na zlecenie PAR-u. Opierając się na doświadczeniu zdobytym w czasie wykonywania ww. pracy i na sformułowanych w niej wnioskach, stwierdzono, że głównym problemem występującym przy konstrukcji stanowiska do pomiarów współczynników ochronnych dla telewizji analogowej zakłócanej telewizją analogową jest poprawne określenie indywidualnych wartości amplitud sygnałów zakłóceń wzorcowych, jak również innych sygnałów przechodzących przez układ pomiarowy tak, by odpowiadały one podanemu w Zaleceniu BT.655 [4] zakłóceniu wywoływanemu przez niemodulowaną nośną oddaloną od nośnej sygnału pożądanego o  $2/3$  częstotliwości linii sygnału TV (10416 Hz), stłumioną w stosunku do nośnej sygnału pożądanego o 30 dB (dla zakłóceń troposferycznych) lub 40 dB (dla zakłóceń ciągłych). Kolejnym znaczącym problemem jest uzyskanie stabilności nadajników na poziomie 1 Hz. Pierwsza część niniejszej pracy opisuje próby rozwiązania tych problemów i kolejne kroki prowadzące do stworzenia w pełni sprawnego stanowiska laboratoryjnego.

#### 3.2 Opis stanowiska

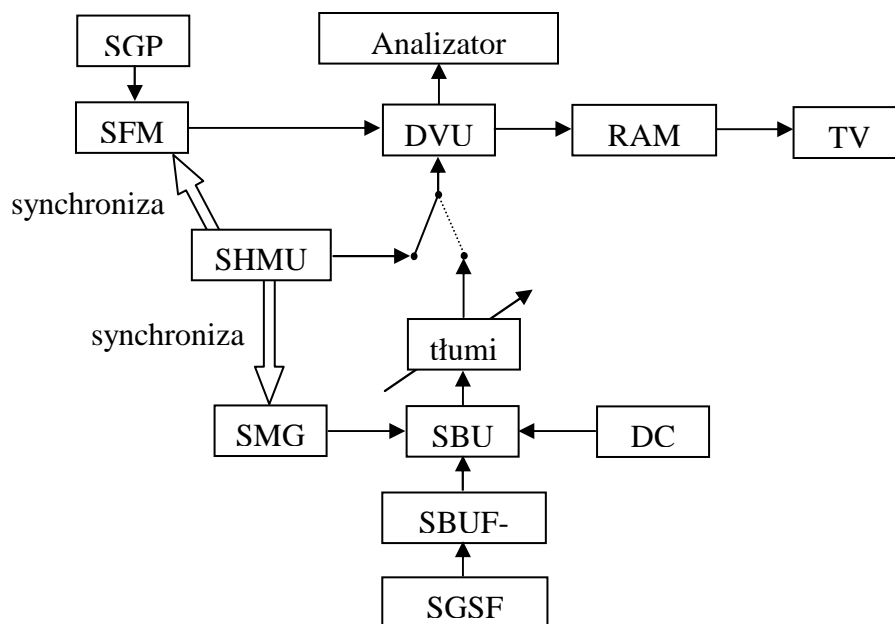
Stanowisko pomiarowe, przedstawione na rysunku 1 jest rozwinięciem stanowiska pomiarowego stosowanego w poprzednio prowadzonych pracach dotyczących kompatybilności sąsiedniokanałowych analogowych systemów telewizyjnych.

Ważniejsze dane opisujące przyjęty w Polsce system telewizji analogowej przedstawiono w tablicy 3.2.1.

Parametr	Opis
Składowa wizji	jak w systemie B/G
Nominalna szerokość wstęgi bocznej	5 MHz
System kolorów	PAL
Składowa dźwięku analogowego	jak w systemie D/K
Nośna fonii analogowej	6,5 MHz od nośnej wizji
Stosunek mocy nośnej wizji do nośnej fonii analogowej	20:1 (13 dB)
Rodzaj modulacji	F3E
Składowa dźwięku analogowego	NiCAM
Rodzaj modulacji	QPSK
Przepustowość	728 kbps $\pm$ 10 ppm
Nośna fonii cyfrowej	5,85 MHz od nośnej wizji
Stosunek mocy nośnej wizji do nośnej fonii cyfrowej	100:1 (20 dB)
Widmo	dolnoprzepustowe, jak dla systemów B, G, H i L
Nominalny odstęp kanałów	8 MHz, jak dla systemów D/K
Kanały VHF	R6 do R12
Kanały UHF	21 do 60

Tablica 3.2.1. Główne parametry systemu D1/PAL.

Stanowisko pomiarowe do badania współczynników ochronnych telewizji analogowej zakłócanie telewizją analogową przedstawiono na rysunku 3.2.1.



Rysunek 3.2.1. Stanowisko pomiarowe służące do określania współczynników ochronnych dla telewizji analogowej zakłócanie telewizją analogową.

Sygnal użyteczny jest generowany przez nadajnik Rohde & Schwarz SFM. Ponieważ przyrząd ten nie został wyposażony w wewnętrzny generator sygnałów testowych konieczne było dołączenie zewnętrznego generatora sygnałów testowych PAL Rohde & Schwarz SGPF. Sygnal użyteczny podawany jest na czwornik Rohde & Schwarz DVU4. Wzorcowy sygnal zakłócający (zgodnie z Zaleceniem BT.655 [4] – nośna sygnału wizji odstrojona od sygnału użytecznego o 10416 Hz) jest generowany przez generator Rohde & Schwarz SMHU. Sygnal zakłócający jest wytwarzany przez układ nadajnika SBUF i modulatora SBUF-E1. Nadajnik SBUF został przystosowany do generowania sygnału zgodnego ze specyfikacją D1/PAL. Źródłem sygnałów testowych jest znajdujący się na wyposażeniu laboratorium generator sygnałów testowych SECAM Rohde & Schwarz SGSF. Aby zastosować stabilny generator zewnętrzny Rohde & Schwarz SMG konieczne było podanie na odpowiednie wejścia nadajnika SBUF odpowiedniego napięcia stałego z zewnętrznego źródła. Następnie badany sygnal zakłócający podawany był na nastawny tłumik. Sygnaly zakłócające, zarówno wzorcowy jak i badany doprowadzone były do selektora źródła, a następnie na czwornik DVU4. Do czwornika został też dołączony analizator widma Anritsu MS2665C pozwalający na bieżąco śledzić badane przebiegi w dziedzinie częstotliwości. Sygnal wyjściowy został podany na odbiorca telewizyjny THOMPSON 25DU21E poprzez układ Rohde & Schwarz RAM dopasowujący impedancję 50 Ω / 75 Ω. W pierwszej wersji powyższego układu, nie zastosowano wspólnej synchronizacji wszystkich trzech nadajników, co jednak prowadziło do znacząco dużych rozbieżności uzyskiwanych wyników. Zauważalny był efekt ‘pływania’ nadajników. Stąd druga seria pomiarów została przeprowadzona przy użyciu wspólnego sygnału synchronizacyjnego, generator SMHU jest wyposażony w wyjście częstotliwości odniesienia 10 MHz o poziomie 7 dBm. Sygnal ten podano na wejście zewnętrznej częstotliwości odniesienia nadajnika SFM oraz generatora SMG.

Sygnal użyteczny był nadawany w standardzie D1/PAL z podnośną dźwięku systemu NiCAM, nadając jednocześnie dźwięk monofoniczny oraz NiCAM. Poziom sygnału użytecznego tak dobrano, aby na wejściu odbiorca TV uzyskać sygnal o wartości 70 dBμV. Ponieważ czwornik DVU4 wprowadza 10 dB tłumienie sygnału a układ dopasowujący 50 Ω / 75 Ω RAM 4 dB to, uwzględniając



tłumienie kabli, aby uzyskać sygnał o pożądanej wartości poziom wyjściowy nadajnika SFM ustalono na 86 dB $\mu$ V. Do badań wybrano 55 kanał, częstotliwość nośnej 743,25 MHz.

Poziom wzorcowego sygnału zakłócającego zgodnie z Zaleceniem BT.655 [4] ustalono na 30 dB (dla zakłóceń troposferycznych) lub 40 dB (dla zakłóceń ciągłych) poniżej poziomu sygnału użytecznego na wejściu odbiornika. Stąd uwzględniając tłumienie kabli, czwórnika DVU4 oraz układu RAM dopasowującego impedancję 50  $\Omega$  / 75  $\Omega$  ustalono odpowiednio poziomy 53,8 i 43,8 dB $\mu$ V. Częstotliwość wzorcowego sygnału zakłócającego ustawiono o 10416 Hz wyżej niż częstotliwość nośnej sygnału użytecznego, czyli 743,260416 MHz.

Badany sygnał zakłócający zgodny był z przyjętym w Polsce systemem D1/PAL lecz bez nośnej NiCAM. Jego poziom ustalono na 86 dB $\mu$ V, co przy tłumieniu tłumika ustawionym na 0 odpowiada poziomowi sygnału użytecznego z SFM.

Istotnym wymaganiem jest utrzymanie stałości częstotliwości nośnych wizji i sygnału zakłócającego. Zapewniono to poprzez zastosowanie dodatkowych generatorów synchronizujących. Testowy nadajnik telewizyjny Rohde & Schwarz typu SBUF składa się z części p.cz. zespołu modulatorów, do którego doprowadza się standardowy sygnał telewizyjny CVBS 1V p-p, oraz z części nadawczej, w której następuje przeniesienie sygnału o częstotliwości pośredniej do odpowiedniego kanału telewizyjnego. Nadajnik jest sterowany z zewnętrznego generatora sterującego SMG. W całym układzie zapewniono odpowiednie dopasowania impedancji wszystkich torów sygnału, oraz zastosowano sprzęgacze dla dodawania sygnałów.

### 3.3 Realizacja badań

Przeprowadzono kilka serii badań mających na celu weryfikację różnych konfiguracji stanowiska pomiarowego do określania współczynników ochronnych TVA vs. TVA. Wybrany do badań obrazem testowym był Mire. Częstotliwości generatora SMG odpowiadające wartości offsetu przedstawiono w tablicy 3.3.1.

Offset	Częstotliwość
0/12	193,250000
1/12	193,251302
2/12	193,252604
3/12	193,253906
4/12	193,255208
5/12	193,256510
6/12	193,257813
7/12	193,259115
8/12	193,260417
9/12	193,261719
10/12	193,263021
11/12	193,264323
12/12	193,265625

Tablica 3.3.1. Częstotliwości generatora SMG.

Przy konfiguracji układu pomiarowego analogicznej do przedstawionej na rysunku 1 lecz bez synchronizacji pomiędzy generatorami nadajników przebadano 6 obserwatorów. Wyniki tych badań przedstawiono w tablicy 3.3.2.

Offset f linii	Obserwator 1		Obserwator 2		Obserwator 3		Obserwator 4		Obserwator 5		Obserwator 6		Średnia	
	Trop	Ciągłe	Trop	Ciągłe	Trop	Ciągłe	Trop	Ciągłe	Trop	Ciągłe	Trop	Ciągłe	Trop	Ciągłe
0/12	20	37	42	41	23	30	22	29	26	17	35	42	28	32,66
1/12	21	33	39	37	25	33	23	32	26	24	39	49	28,8 3	34,66
2/12	19	33	42	38	22	29	25	30	25	24	41	47	29	33,5
3/12	21	34	39	36	22	28	27	31	25	24	47	48	30,1 6	33,5
4/12	23	38	41	39	23	29	25	31	28	26	47	50	31,1 6	35,5
5/12	24	37	38	42	24	29	25	31	25	27	49	52	30,8 3	36,33
6/12	25	37	39	40	25	30	34	32	21	28	50	53	32,3 3	36,66
7/12	26	38	42	39	26	33	24	34	20	27	50	54	31,3 3	37,5
8/12	23	35	43	42	28	31	27	32	19	30	48	54	31,3 3	37,33
9/12	25	36	42	46	29	31	25	30	27	31	52	53	33,3 3	37,83
10/12	27	39	42	46	31	33	27	32	28	29	49	52	34	38,5
11/12	27	39	45	50	30	34	26	33	29	23	49	53	34,3 3	38,66
12/12	28	41	44	47	31	36	27	35	30	25	51	53	35,1 6	39,5

Tablica 3.3.2. Wyniki pierwszej serii pomiarów.

Obserwator 1 – Tomasz Niewodniczański

Obserwator 2 – Mirosław Pietranik

Obserwator 3 – Włodzimierz Stawski

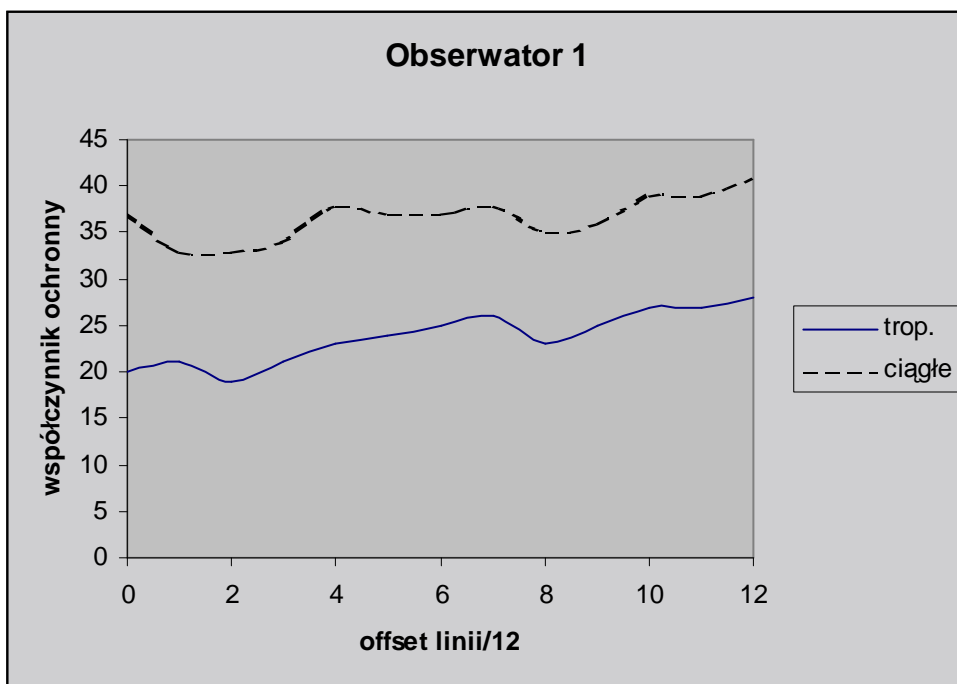
Obserwator 4 – Dariusz Więcek

Obserwator 5 – Krzysztof Strawski

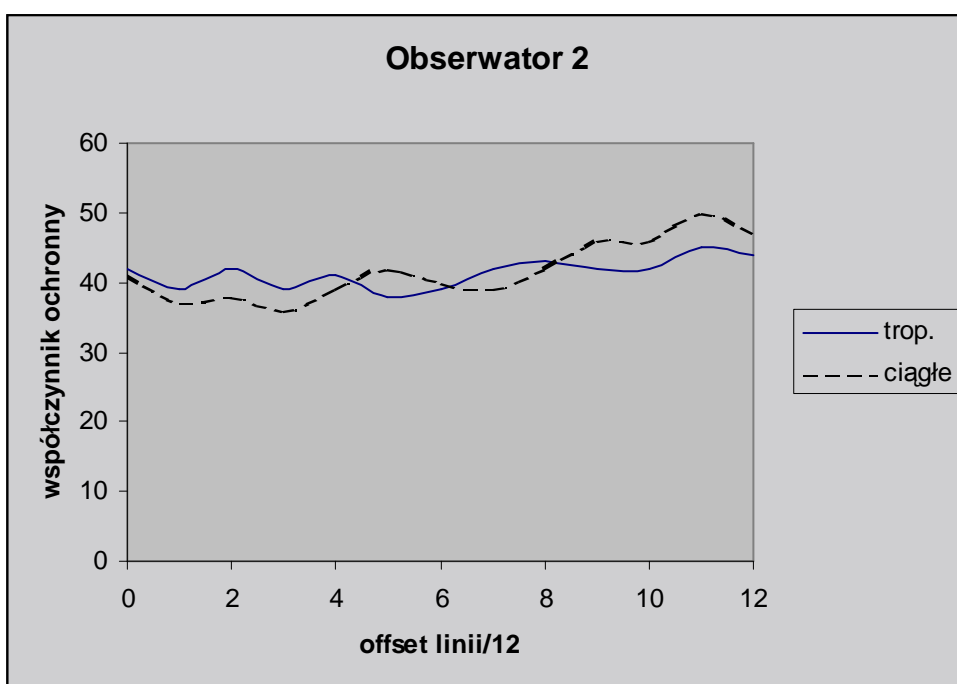
Obserwator 6 – Rafał Bobrowski

Obserwator 7 – Marek Michalak

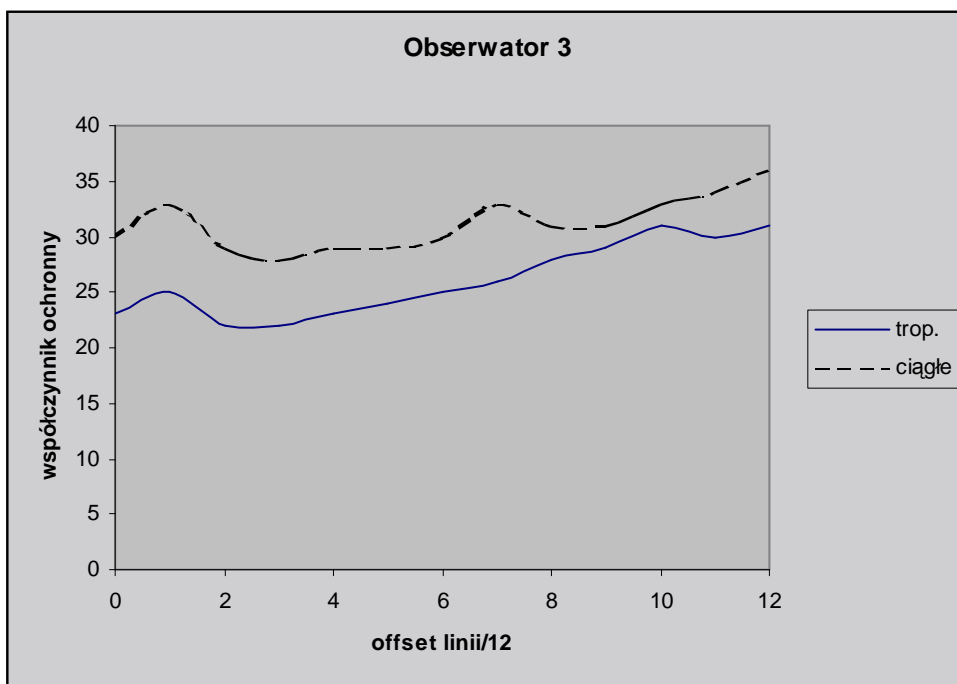
Wyniki tych pomiarów przedstawiają poniższe wykresy.



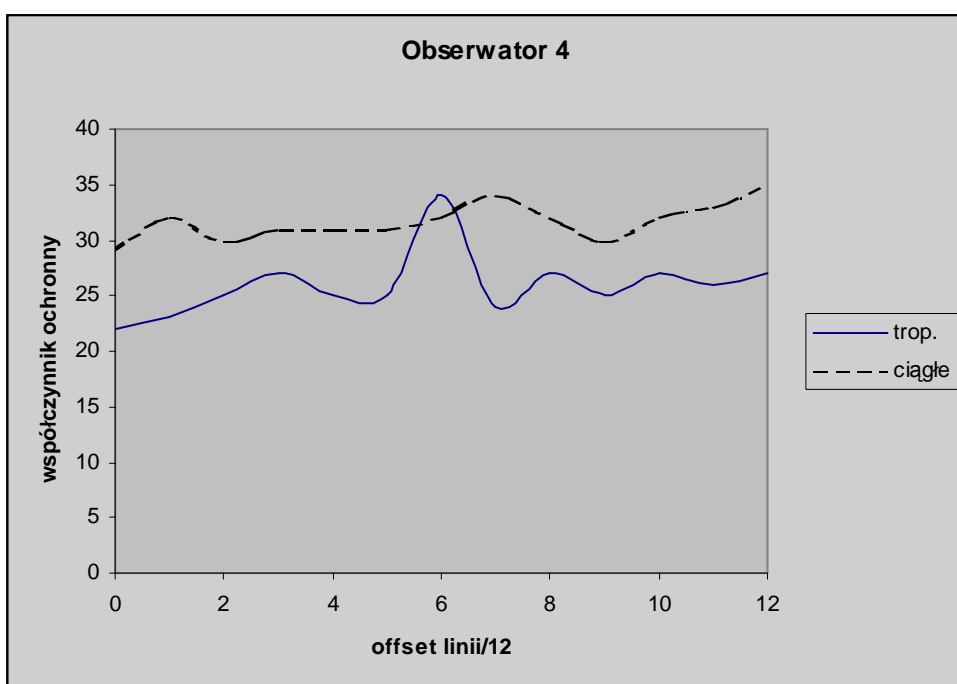
Wykres 3.3.1. Obserwator 1.



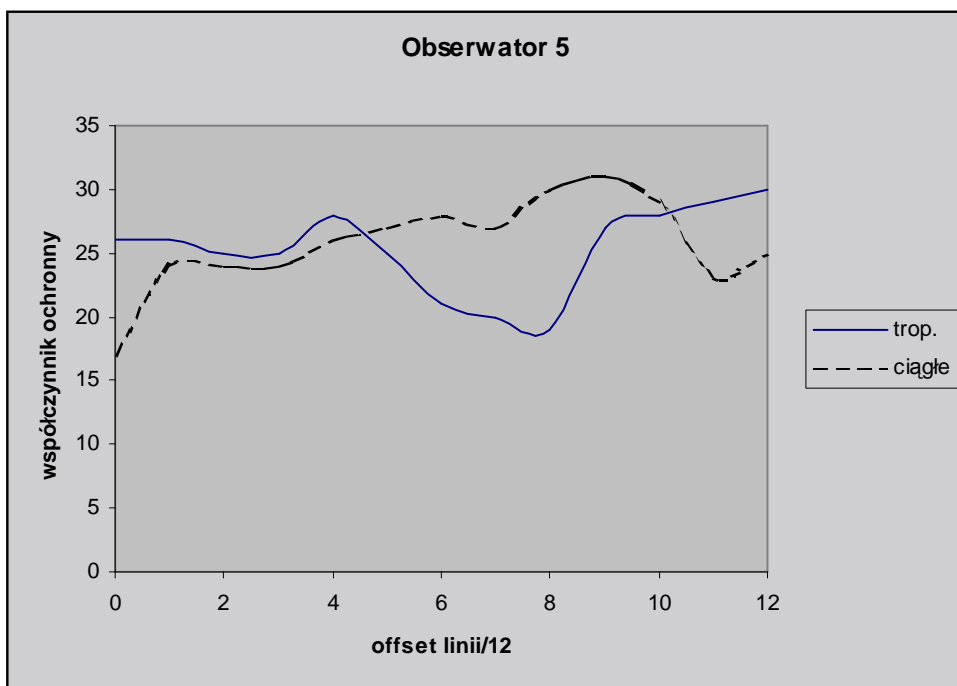
Wykres 3.3.2. Obserwator 2.



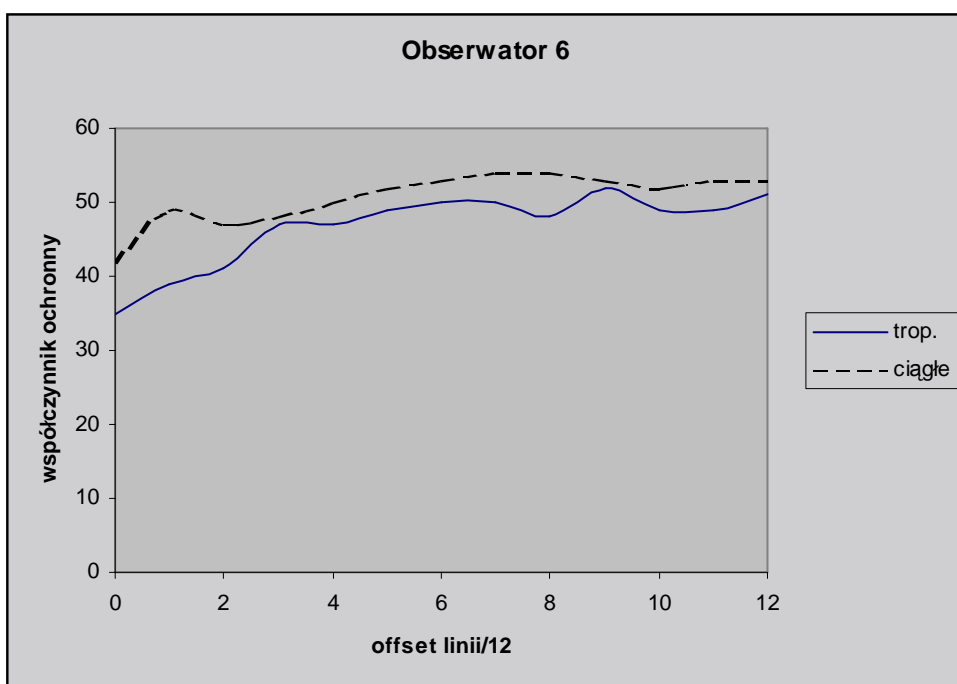
Wykres 3.3.3. Obserwator 3.



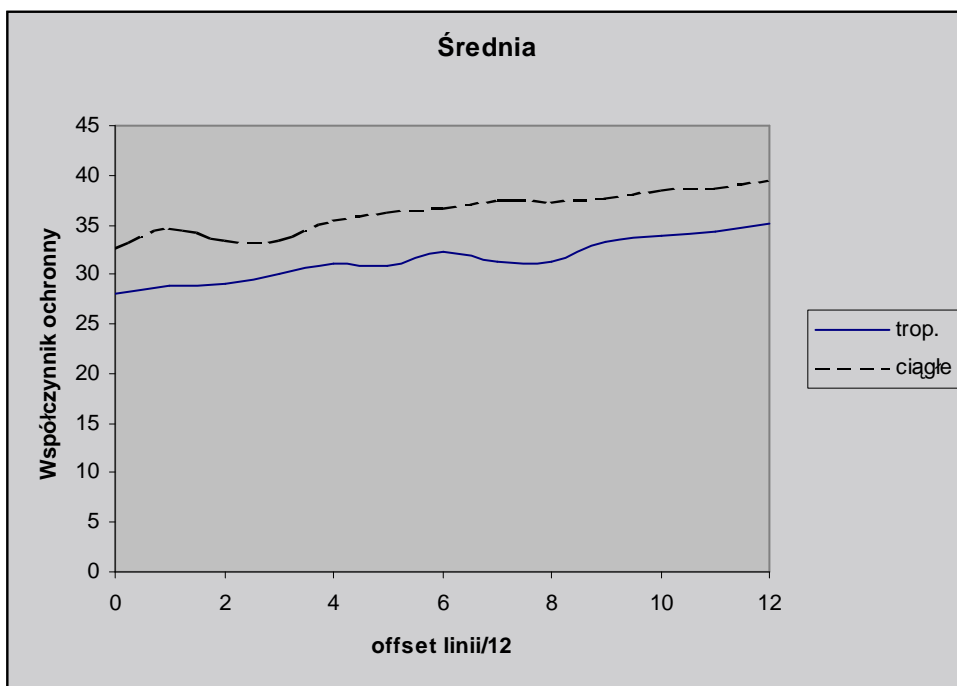
Wykres 3.3.4. Obserwator 4.



Wykres 3.3.5. Obserwator 5.



Wykres 3.3.6. Obserwator 6.



Wykres 3.3.7. Średnia wyników.

Powyższe wyniki znacznie odbiegają od krzywych dla offsetu precyzyjnego jak i nieprecyzyjnego podanych w Zaleceniu BT.655 [4]. Dlatego po wykorzystaniu możliwości synchronizacji układu pomiarowego z jednego generatora przeprowadzono kolejną serię badań 5 obserwatorów. Zrezygnowano również z obrazu testowego Mire i zastosowano obraz testowy Bars. Było to podyktowane większą widocznością zakłóceń na tym obrazie testowym. Wyniki tych badań przedstawiono w tabelicy 3.3.3.

Offset linii	Obserwator 1		Obserwator 2		Obserwator 3		Obserwator 4		Obserwator 5		Średnia	
	Ciągłe	Trop.	Ciągłe	Trop.	Ciągłe	Trop.	Ciągłe	Trop.	Ciągłe	Trop.	Ciągłe	Trop.
0/12	47	39	42	35	40	32	43	35	47	36	43,8	35,4
1/12	48	37	49	41	44	32	47	44	45	36	46,6	38
2/12	48	43	40	41	42	36	51	40	47	32	45,6	38,4
3/12	41	38	37	29	38	30	48	32	43	30	41,4	31,8
4/12	38	38	33	24	34	27	44	26	38	22	37,4	27,4
5/12	37	35	36	24	30	24	34	28	29	21	33,2	26,4
6/12	34	33	35	28	34	27	34	28	27	23	32,8	27,8
7/12	35	37	41	26	32	28	37	24	30	28	35	28,6
8/12	37	29	41	24	34	25	33	26	31	21	35,2	25
9/12	43	30	42	26	30	24	33	34	35	20	36,6	26,8
10/12	51	34	46	35	40	26	52	41	40	26	45,8	32,4
11/12	52	41	51	43	40	36	54	48	44	38	48,2	41,2
12/12	59	56	47	45	47	41	49	46	48	43	50	46,2

### Tablica 3.3.3. Wyniki drugiej serii pomiarów

Obserwator 1 – Halina Ługowska

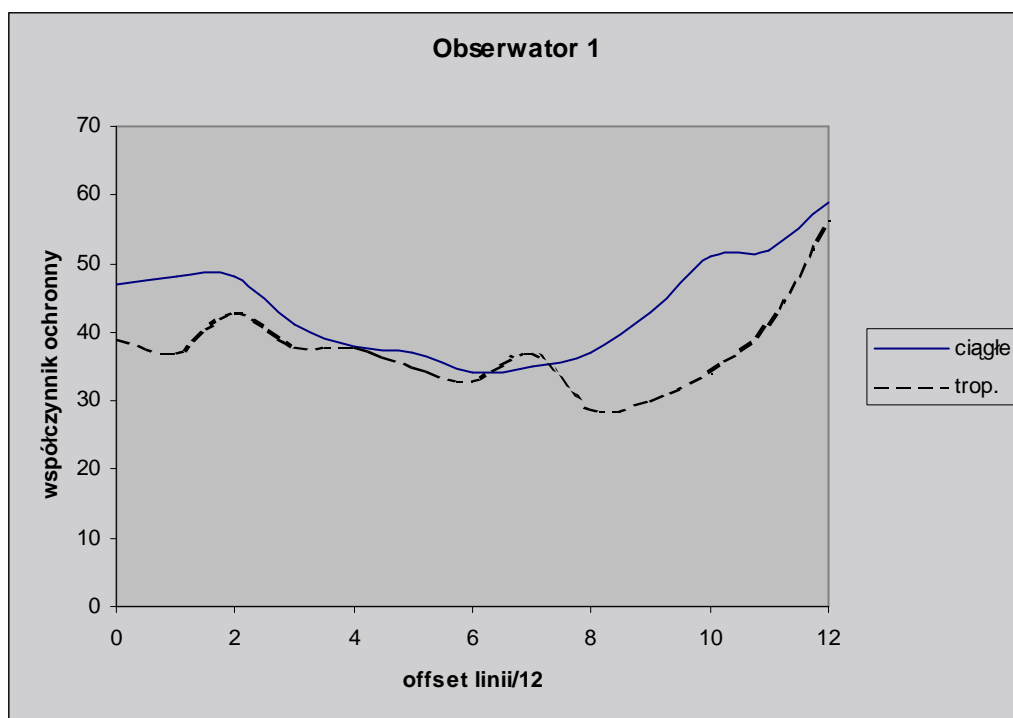
Obserwator 2 – Marek Michalak

Obserwator 3 – Wiesława Nowak

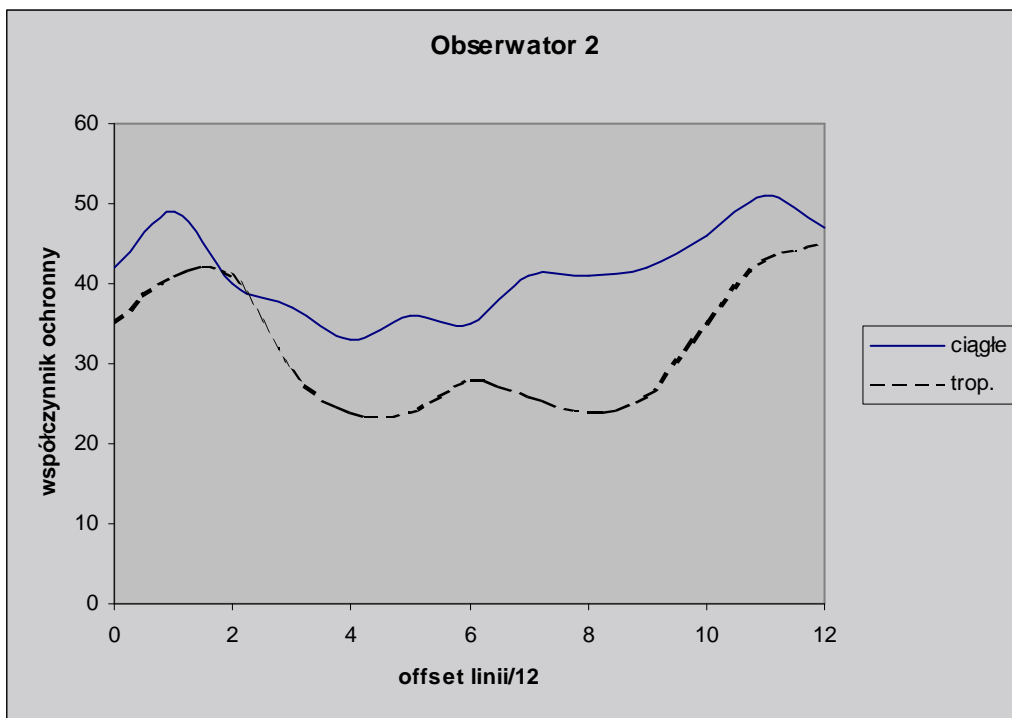
Obserwator 4 – Mateusz Tomasz Waga

Obserwator 5 – Witold Kowal

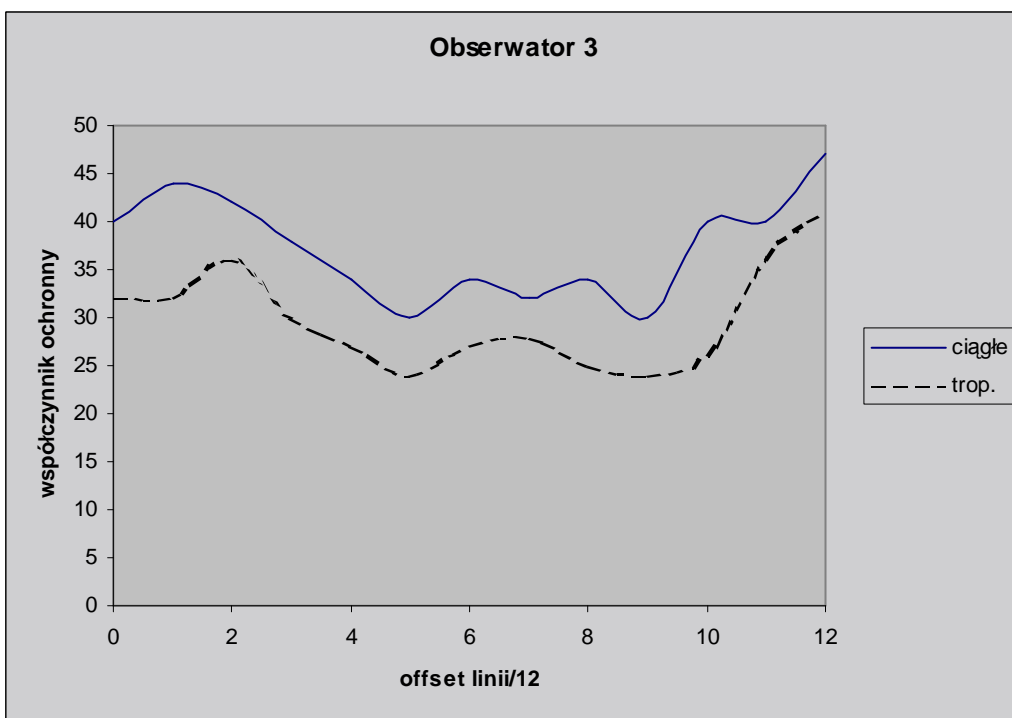
Wyniki tych pomiarów przedstawiają poniższe wykresy.



Wykres 3.3.8. Obserwator 1.

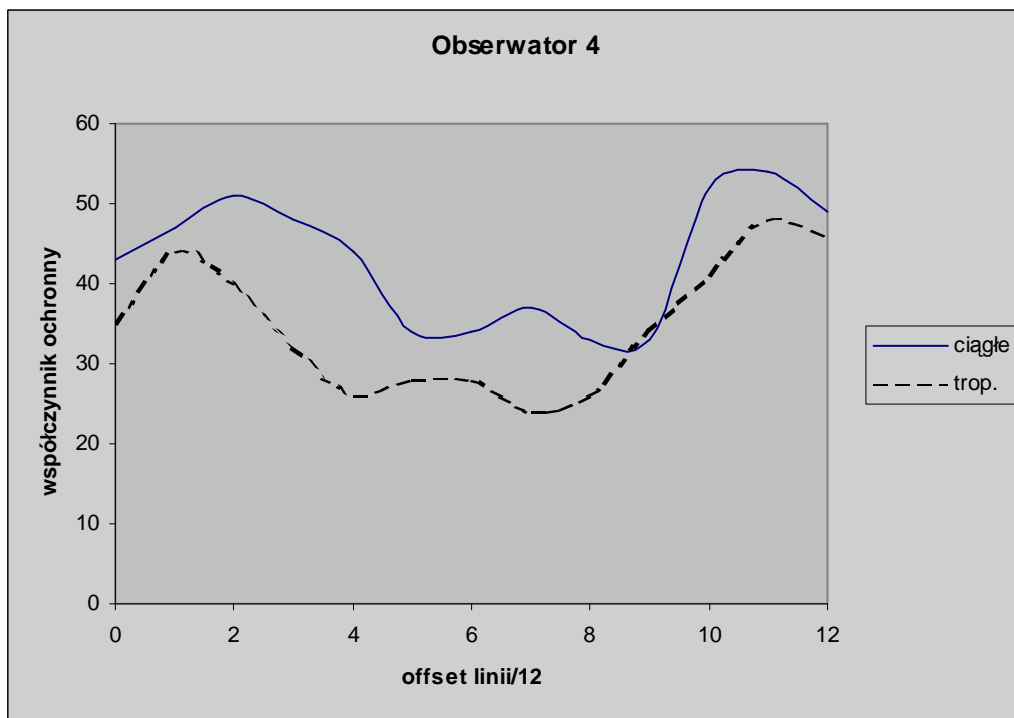


Wykres 3.3.9. Obserwator 2.

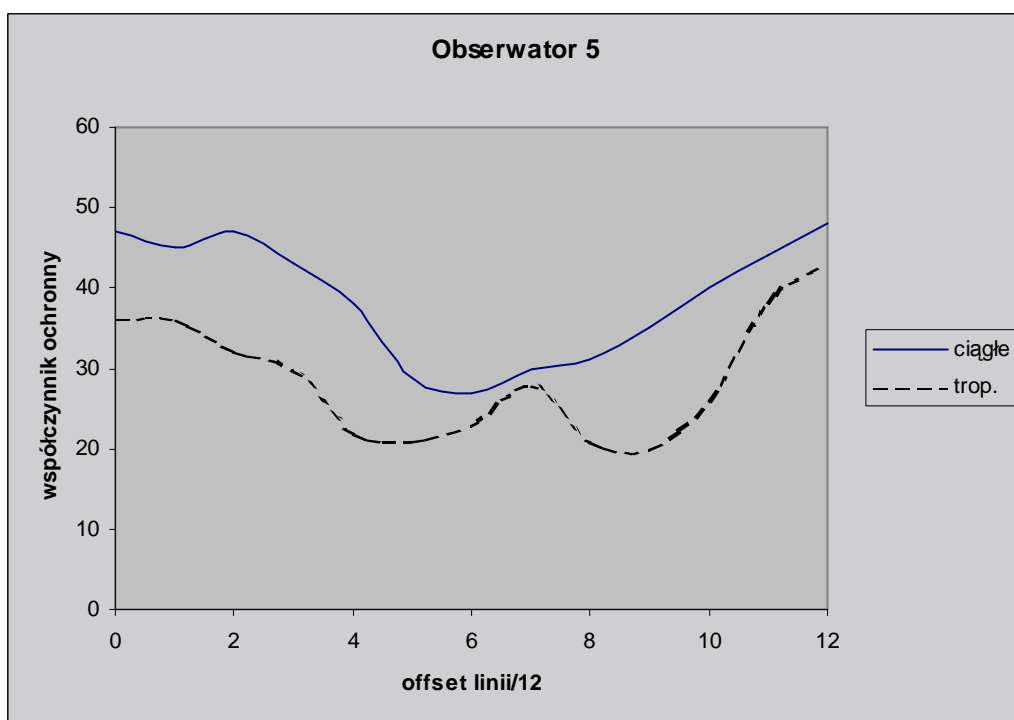


Wykres 3.3.10. Obserwator 3.

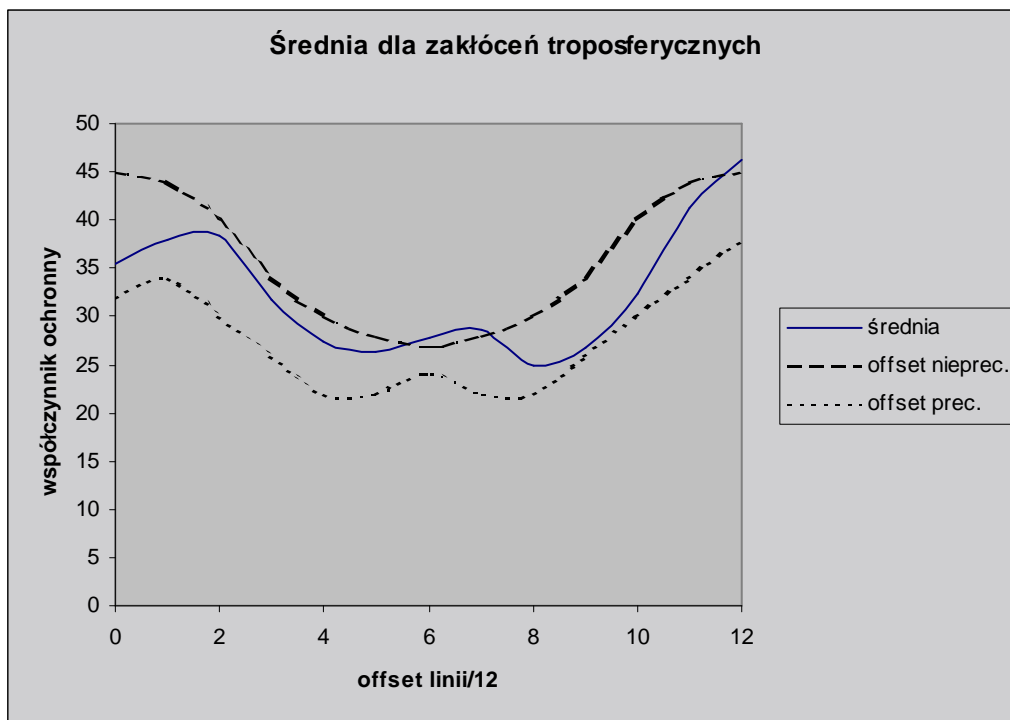




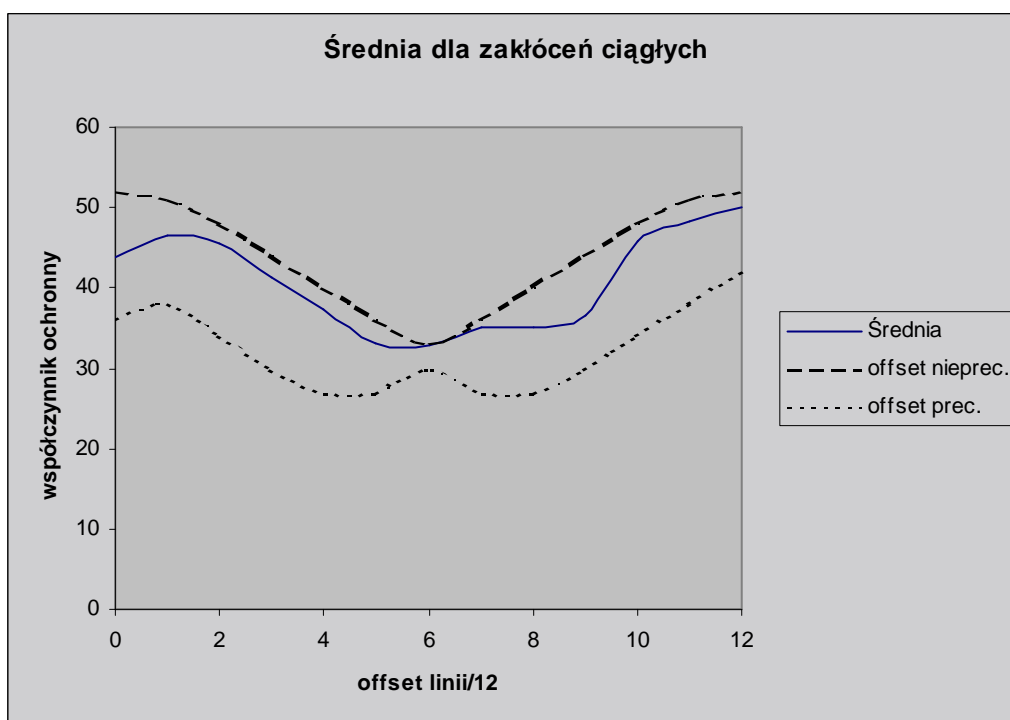
Wykres 3.3.11. Obserwator 4.



Wykres 3.3.12. Obserwator 5.



Wykres 3.3.13. Średnia wyników dla zakłóceń troposferycznych.



Wykres 3.3.14. Średnia wyników dla zakłóceń ciągłych.

### 3.4 Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na stworzenie systemu pozwalającego na rozpoczęcie serii pomiarów mogących być podstawą do określenia współczynników ochronnych dla przyjętego w Polsce systemu telewizji analogowej D1/PAL. Jest to konieczne, aby móc uczestniczyć w pracach

kompatybilnościowych dotyczących TVA na arenie międzynarodowej jak i krajowej. Brak określenia tych współczynników ochronnych naraża polskich odbiorców TVA na zakłócenia wynikające z braku podstaw do ochrony widzów przez zakłóceniami płynącymi z faktu istnienia innych systemów TV. Problem ten jest szczególnie istotny w obszarach przygranicznych, gdzie wpływ sygnałów TV o innych standardach jest największy. Stanowisko pomiarowe jest też w pełni przystosowane do przeprowadzenia pomiarów kompatybilnościowych wewnątrzsystemowych, gdzie zarówno sygnałem użytecznym jak i zakłócającym jest sygnał telewizji analogowej systemu D1/PAL. Możliwe jest również wykorzystanie stworzonego systemu pomiarowego do badania degradacji jakości obrazu telewizyjnego systemu D1/PAL wynikającej z obecności innych służb radiowych w sąsiednich kanałach telewizyjnych.

## 4. Kompatybilność DVB-T z TVA

### 4.1 Założenia

Warunki odbioru sygnału telewizji analogowej zakłócaną naziemną telewizją cyfrową mogą się zmieniać w zależności od tego, czy zakłócający (niepożądany) sygnał naziemnej telewizji cyfrowej znajduje się w niższym, czy też w wyższym sąsiednim kanale. Stąd potrzeba rozpatrzenia dwóch powyższych przypadków. Po przeprowadzeniu analizy koncepcji pilotażowej sieci MFN (w Polsce) naziemnej telewizji cyfrowej składającej się ze stacji zlokalizowanych w wybranych obiektach TPSA do dalszego badania wybrano dwie przykładowe lokalizacje odpowiadające obu ww. sytuacjom.

Lokalizacja	Kanał TVA	Kanał DVB-T
Kalisz	37	38
Płock	39	38

Tabela 4.1.1. Lokalizacje i numery kanałów wybrane do badań.

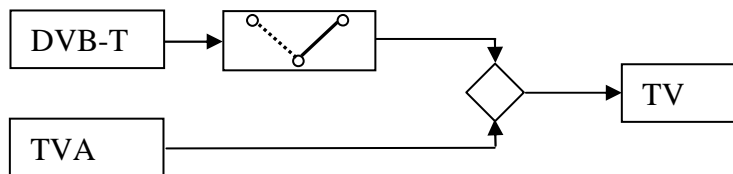
### 4.2 Opis metody pomiarowej

Mimo poważnego zaawansowania prac nad obiektywnymi metodami oceny jakości obrazu, wciąż jeszcze brak jednoznacznych i powtarzalnych metod obiektywnych. Z tego powodu wciąż stosuje się subiektywne metody oceny jakości obrazu, wykorzystując do tego obserwatorów, którzy dokonują subiektywnej oceny jakości obrazu telewizji analogowej w obecności zakłócających sygnałów naziemnej telewizji cyfrowej. Metody pomiarów subiektywnych zakładają obserwację pojedynczych obrazów, lub przewidują stosowanie sygnałów wzorcowych. Sygnałem wzorcowym może być zarówno obraz niezakłócony, jak również obraz zakłócony wzorcowym sygnałem zakłócającym, odpowiadający jednej z ocen skali jakości obrazu, lub skali degradacji jakości obrazu.

Powstaje tu problem wyznaczenia odpowiedniego poziomu wzorcowego sygnału zakłócającego. W Zaleceniu ITU-R BT.1368 [3] określone są poziomy wzorcowego sygnału zakłócającego sinusoidalnego odpowiadające różnym ocenom stopnia degradacji jakości obrazu przy wyznaczaniu współczynników ochronnych telewizji analogowej zakłócaną sygnałem naziemnej telewizji cyfrowej. Sinusoidalny sygnał wzorcowego zakłócenia zalecany przez ww. Zalecenie wywołuje zakłócenia odbioru sygnału telewizji analogowej o innym charakterze niż ma to miejsce w przypadku, gdy sygnałem zakłócającym jest sygnał naziemnej telewizji cyfrowej. Stąd wybór sposobu pomiaru oraz wybór wzorcowego sygnału zakłócającego, w przypadku podjęcia decyzji o zastosowaniu metody porównawczej, nie jest oczywisty. Wymagana jest dokładniejsza analiza, a nie tylko proste zastosowanie przykładowej metody podanej w zaleceniu BT.1368 [3].

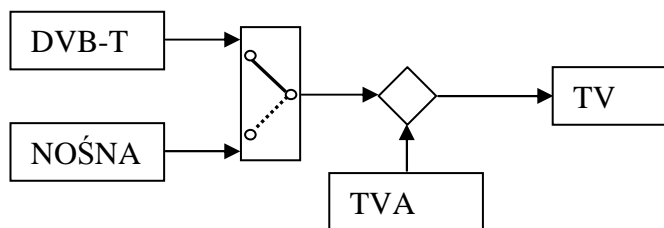
Możliwe są trzy metody określenia stopnia degradacji jakości odbioru telewizji analogowej zakłócaną sygnałem naziemnej telewizji cyfrowej:

4.2.1 Przeprowadzanie badań degradacji jakości obrazu przez porównanie sygnału telewizji analogowej zakłóconej sygnałem naziemnej telewizji cyfrowej z niezakłóconym sygnałem telewizji analogowej. Obserwator musi w tym przypadku sam ocenić stopień degradacji jakości obrazu, co może bardzo negatywnie wpłynąć na liniowość i powtarzalność wyników. Schemat tego układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 4.2.1.



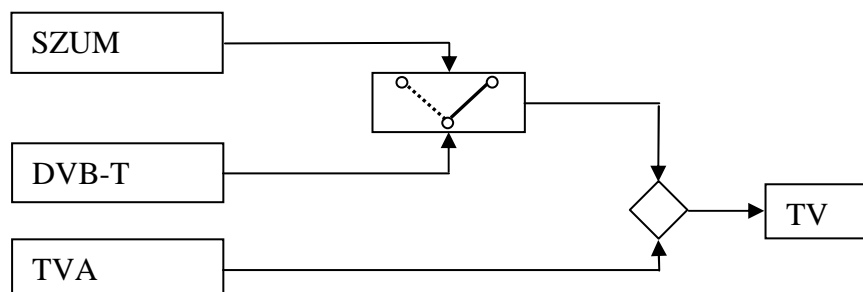
Rysunek 4.2.1

4.2.2 Drugą opcją jest porównanie jakości obrazu telewizji analogowej zakłóconej wzorcowym sygnałem sinusoidalnym (nośną sygnału TVA) z obrazem telewizji analogowej zakłóconej sygnałem naziemnej telewizji cyfrowej. Wadą tej metody jest fakt, że sygnał sinusoidalny wprowadza do sygnału telewizji analogowej zakłócenia o zupełnie innym charakterze niż sygnał naziemnej telewizji cyfrowej. Stąd wynika duża trudność oceny stopnia degradacji jakości obrazu przez obserwatorów. Schemat tego układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 4.2.2.



Rysunek 4.2.2

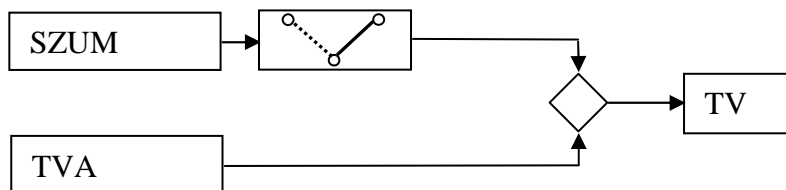
4.2.3 Trzecia możliwość bazuje na fakcie, że zakłócenia wywołane sygnałem szumu mają podobny charakter jak zakłócenia wywołane sygnałem DVB-T. Metoda ta sprowadza się do przeprowadzenia serii pomiarów, w których obserwatorzy porównywaliby sygnał telewizji analogowej zakłócony sygnałem naziemnej telewizji cyfrowej z sygnałem telewizji analogowej zakłóconej wzorcowym sygnałem szumu. Pozwoliłoby to określić, jaki stopień degradacji jakości obrazu odpowiada danemu poziomowi wzorcowego zakłócającego sygnału szumu. Schemat tego układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 4.2.3.



Rysunek 4.2.3

Procedura ta wymaga jednak określenia zależności stopnia degradacji jakości obrazu od poziomu zakłócającego wzorcowego sygnału szumu. Można to uzyskać dwoma metodami:

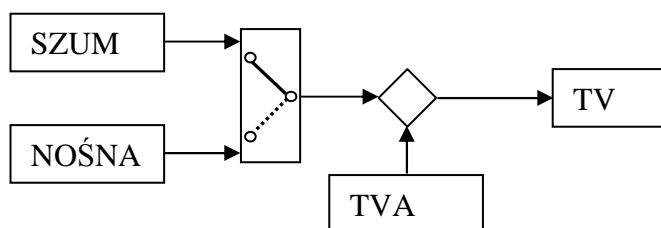
4.2.3.1 Poprzez przeprowadzenie serii pomiarów określających stopień degradacji jakości obrazu telewizji analogowej w zależności od poziomu sygnału szumu. Schemat tego układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 4.2.3.1.



Rysunek 4.2.3.1

Wadą tej metody jest odnoszenie sygnału telewizji analogowej zakłóconej sygnałem szumu do niezakłóconego sygnału TVA. Również w tym przypadku obserwator musi sam ocenić stopień degradacji jakości obrazu, co może bardzo negatywnie wpłynąć na liniowość i powtarzalność wyników.

4.2.3.2 Poprzez przeprowadzenie serii pomiarów porównawczych pomiędzy sygnałem telewizji analogowej zakłóconej wzorcowym sygnałem sinusoidalnym a sygnałem telewizji analogowej zakłóconej sygnałem szumu. Schemat tego układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 4.2.3.2

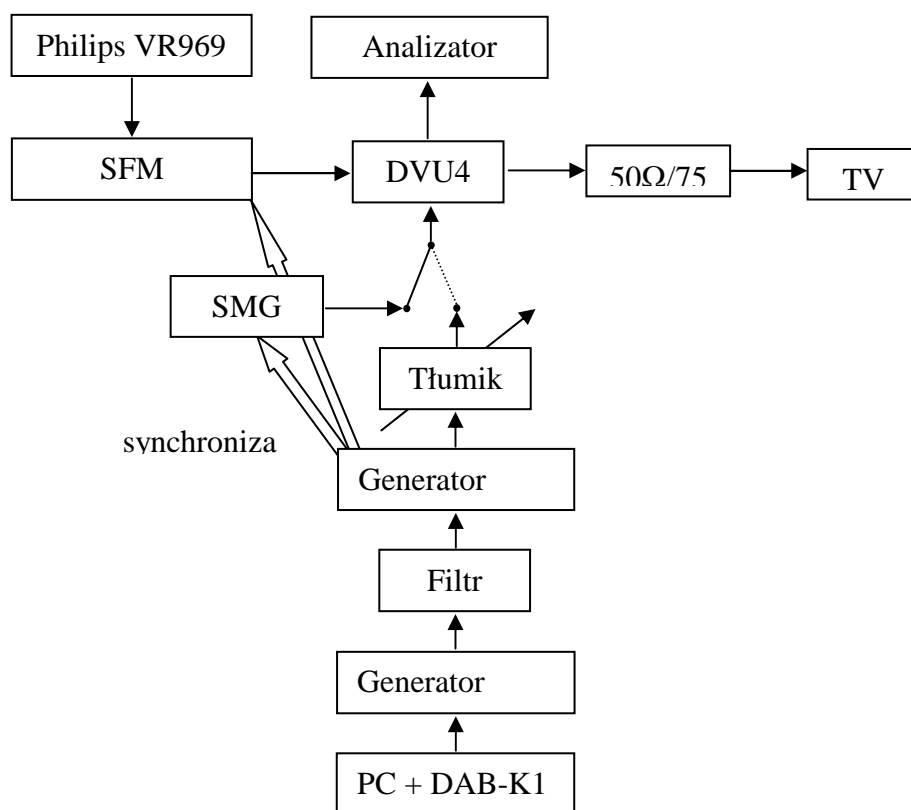


Rysunek 4.2.3.2

Jest to najkorzystniejszy sposób określenia wartości wzorcowego zakłócającego sygnału szumu, choć wystąpią tu trudności przy ocenie dla jakiej wartości sygnału szumu stopień degradacji będzie równy stopniowi degradacji dla zakłócającego sygnału sinusoidalnego. Wynika to z różnego charakteru zakłóceń wprowadzanych przez te dwa sygnały do sygnału użytecznego.

### 4.3 Opis stanowiska pomiarowego

Po analizie zjawisk występujących przy zakłócaniu telewizji analogowej naziemną telewizją cyfrową rozpoczęto kompletowanie sprzętu, który pozwolił na zestawienie stanowiska pomiarowego do badania współczynników ochronnych telewizji analogowej zakłóconej telewizją cyfrową. Został on przedstawiony na rysunku 4.3.1. Jak widać w czasie badań zrezygnowano z wykorzystania źródła szumu jako źródła zakłócenia wzorcowego. Było to podyktowane głównie trudnością w odniesieniu uzyskanych wyników do podanych w Zaleceniu 1368 [3]. Dodatkowym czynnikiem przemawiającym za przeprowadzeniem pomiarów z wykorzystaniem sygnału sinusoidalnego jako wzorcowego źródła sygnału zakłócającego zamiast sygnału szumu jest konieczność przeprowadzenia w przypadku użycia sygnału szumu reprezentatywnej statystycznie ilości badań odnoszących degradację jakości obrazu wprowadzaną przez obecność zakłócającego sygnału szumu. Wyniki takiego badania byłyby bardzo pożyteczne i pozwoliłyby na przeprowadzenie łatwiejszych i mniej męczących (dla obserwatorów) pomiarów współczynników ochronnych dla TVA zakłóconej DVB-T.



Rysunek 4.3.1. Układ pomiarowy

Jako źródła sygnału użytecznego telewizji analogowej użyto magnetowidu Philips VR969. Pozwoliło to na wykorzystanie nie tylko stałych obrazów testowych, lecz także ruchomych sekwencji. Wykorzystano w tym celu kasetę wideo VHS wysokiej jakości nagrania o treści filmu ‘True Lies’. Z filmu wybrano jedną kilkuminutową scenę, która była przedstawiana każdemu obserwatorowi. Kryterium wyboru sekwencji testowej było widoczność i uciążliwość zakłóceń. Sygnał z magnetowidu był podawany na telewizyjny nadajnik testowy Rohde & Schwarz SFM, następnie jest podawany na sumator Rohde & Schwarz DVU4. Sygnał zakłócający był generowany przez system generatorów Rohde & Schwarz ADS oraz Rohde & Schwarz SHMU. ADS, poprzez magistralę IEC625, był kontrolowany z komputera PC wyposażonego w oprogramowanie Rohde & Schwarz DAB-K1.

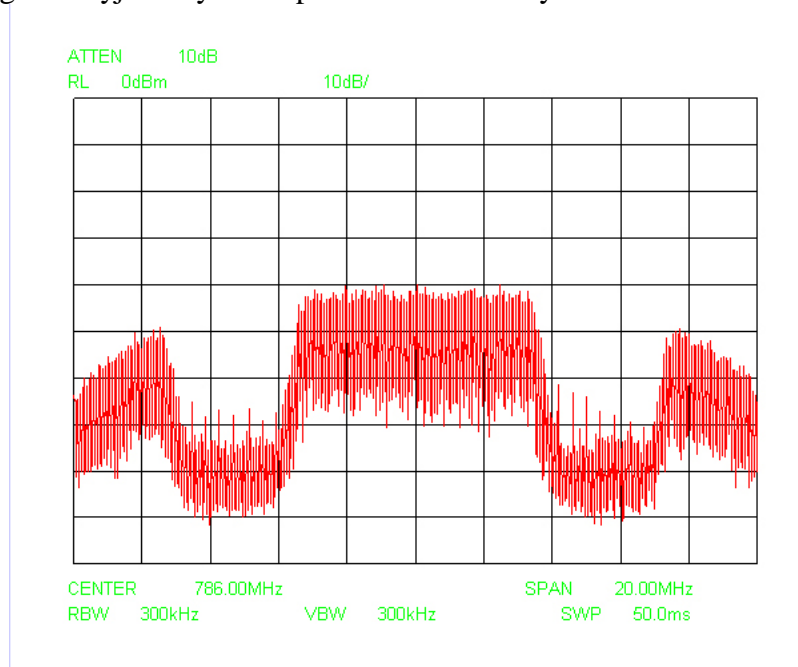
Wzorcowy lub badany sygnał zakłócający były podawane na sumator DVU4. Do sumatora podłączony był też analizator widma Anritsu MS2665C pozwalający na bieżąco śledzić badane przebiegi. Sygnał użyteczny telewizji analogowej jak i sygnały zakłócające były podawane poprzez układ RAM dopasowujący  $50 \Omega / 75 \Omega$  na odbiornik telewizyjny THOMPSON 25DU21E. Przy zestawianiu tego stanowiska pomiarowego również wykorzystano możliwość synchronizacji generatora wewnętrznego SFM jak i generatora SMG z generatora SMHU.

System PC + DAB-K1 + ADS + SMHU pozwala na generację sygnału o parametrach w pełni zgodnych z specyfikacją sygnału DVB-T. W tabeli 4.3.1 przedstawiono niektóre z parametrów sygnału DVB-T, które można zmieniać przy pomocy oprogramowania DAB-K1.

Tryb	Modulacja	Ilość nośnych	Odległość między nośnymi	Szerokość pasma
8k	QPSK 16QAM 64QAM	6817	1116 Hz	7,61 MHz
2k	QPSK 16QAM 64QAM	1705	4464 Hz	7,61 MHz

Tabela 4.3.1. Możliwości nastaw programowych DAB-K1.

Do badań stosowano tryb 8k przy modulacji 64QAM. Widmo sygnału zgodnego parametrami z DVB-T uzyskanego na wyjściu systemu przedstawiono na rysunku 4.3.2.

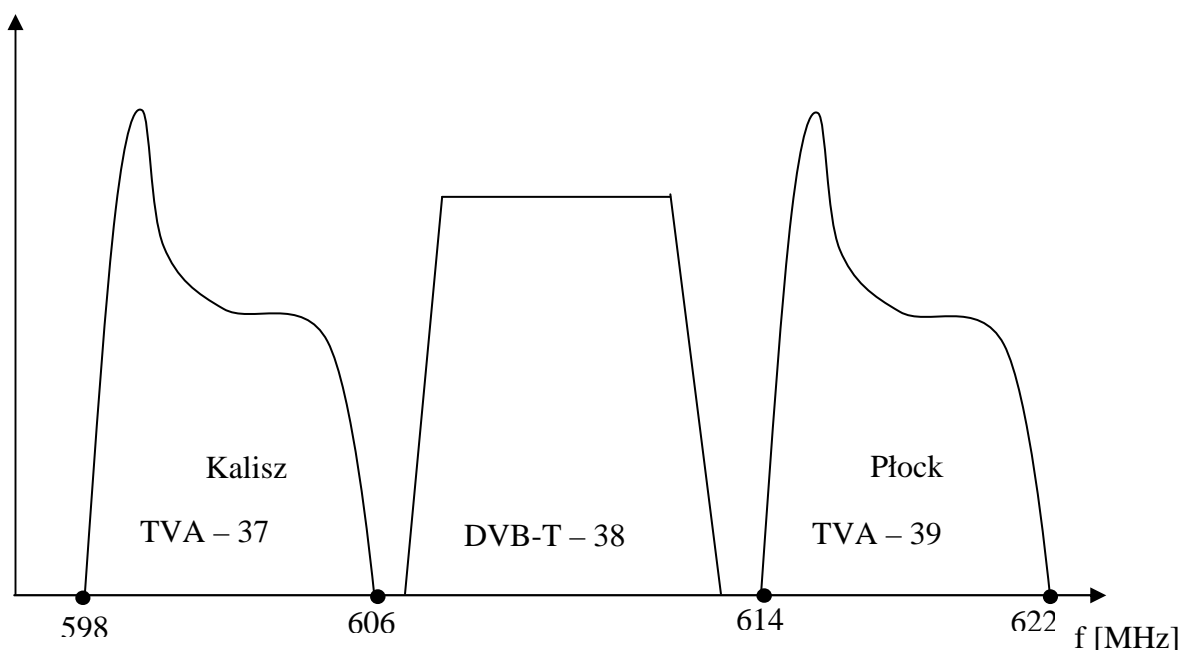


Rysunek 4.3.2. Widmo sygnału DVB-T generowane przez system złożony z komputera klasy PC z oprogramowaniem DAB-K1, ADS, SMHU.

Z rysunku 4.3.2 wynika wniosek, że dostępny w Instytucie Łączności oddział Wrocław system generacji sygnału naziemnej telewizji cyfrowej nie jest w stanie samodzielnie wytworzyć sygnału w pełni zgodnego z sygnałem DVB-T. Poza kanałem pojawiają się niepożądane produkty, które nawet

po włączeniu wewnętrznych filtrów w generatorze ADS powodują niedopuszczalną obecność sygnału DVB-T w sąsiednim kanale.

Pierwszą podejściem do rozwiązania tego problemu była próba stworzenia filtra kanałowego. Dla wybranych przykładowych lokalacji (Płock i Kalisz) próbowano zaprojektować filtr kanałowy na 38 kanał, który zgodnie z planami ma zostać przeznaczony na telewizję cyfrową DVB-T. Zestawione na jednym rysunku sytuacje dla tych dwóch lokalacji przedstawiono na rysunku 4.3.3.

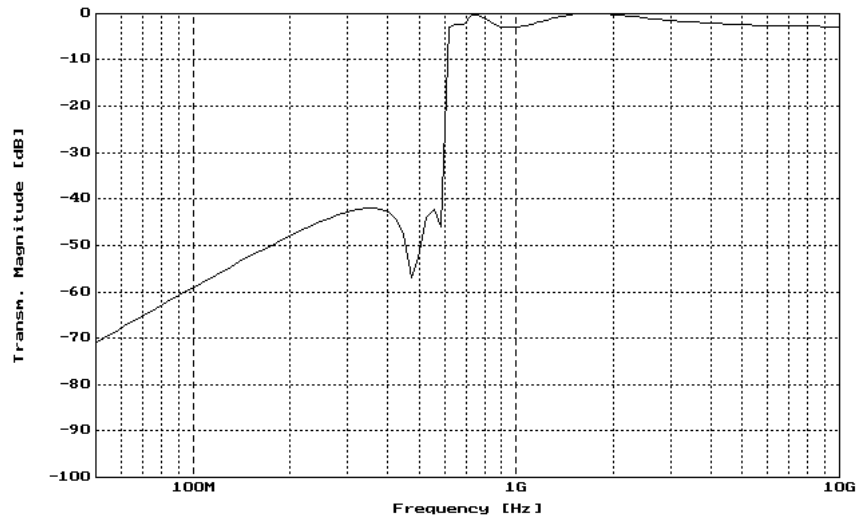


Rysunek 4.3.3. Wybrane kanały telewizyjne odpowiadające poszczególnym lokalizacjom.

Aby osiągnąć zgodność z sygnałem DVB-T wymagane jest użycie filtra pasmowo przepustowego o bardzo stromych zboczach (tłumienie około 30 dB na 4 MHz od środka kanału i około 70 dB na 6 MHz od środka kanału) [2]. Filtr powinien mieć w całym paśmie kanału płaską charakterystykę odpowiedzi impulsowej. Z powodu tak ostrych wymagań, projektowany filtr kanałowy musiałby być bardzo wysokiego stopnia. Dlatego w celu jego uproszczenia zdecydowano stworzyć dwa filtry: górnoprzepustowy i dolnoprzepustowy. Filtry zaprojektowano przy użyciu programu FilterMaster, znajdującego się na wyposażeniu Laboratorium Instytutu Łączności.

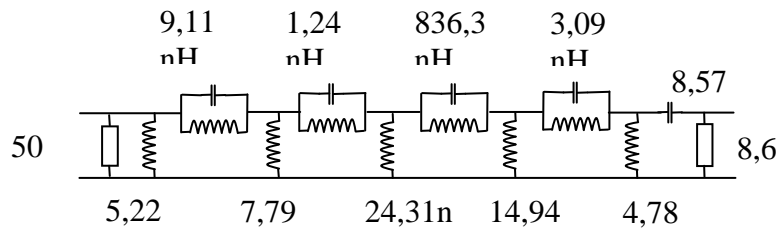
Filtr górnoprzepustowy został zaprojektowany dla przypadku, kiedy sygnał telewizji analogowej znajduje się w kanale poniżej kanału sygnału naziemnej telewizji cyfrowej. Odpowiada to planowanej sytuacji w Kaliszu: TVA zajmuje tam 37 kanał, planowana stacja naziemnej telewizji cyfrowej zajmować ma 38 kanał. Aby odfiltrować produkty generowanej symulacji DVB-T niezgodne z maską widma poza pasmem, zaprojektowano filtr o charakterystyce przedstawionej na rysunku 4.3.4.





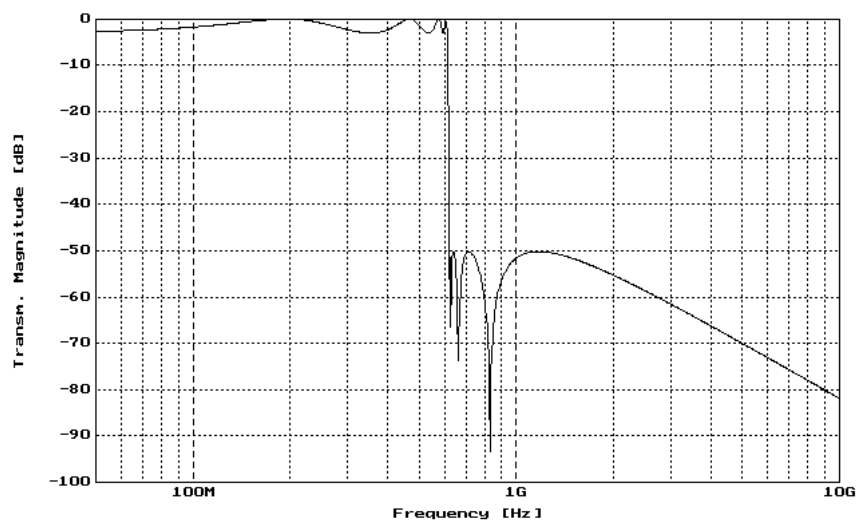
Rysunek 4.3.4. Charakterystyka filtra górnoprzepustowego.

Schemat filtru przedstawiono na rysunku 4.3.5.



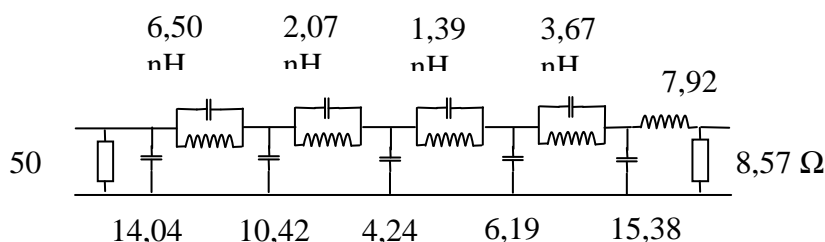
Rysunek 4.3.5. Schemat filtru górnoprzepustowego.

Filtr dolnoprzepustowy został zaprojektowany dla przypadku, kiedy sygnał telewizji analogowej znajduje się w kanale powyżej kanału naziemnej telewizji cyfrowej. Odpowiada to planowanej sytuacji w Płocku: TVA zajmuje tam 39 kanał, planowana stacja naziemnej telewizji cyfrowej zajmować ma 38 kanał. Aby odfiltrować produkty generowanej symulacji DVB-T niezgodne z maską widma poza pasmem, zaprojektowano filtr o charakterystyce przedstawionej na rysunku 4.3.6.



Rysunek 4.3.6. Charakterystyka filtra dolnoprzepustowego.

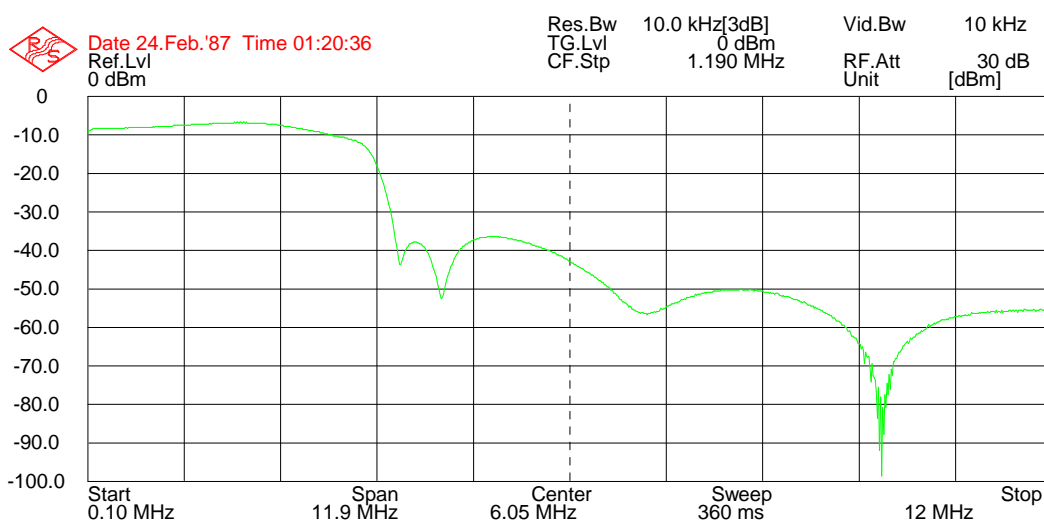
Schemat filtru przedstawiono na rysunku 4.3.7.



Rysunek 4.3.7. Schemat filtru dolnoprzepustowego.

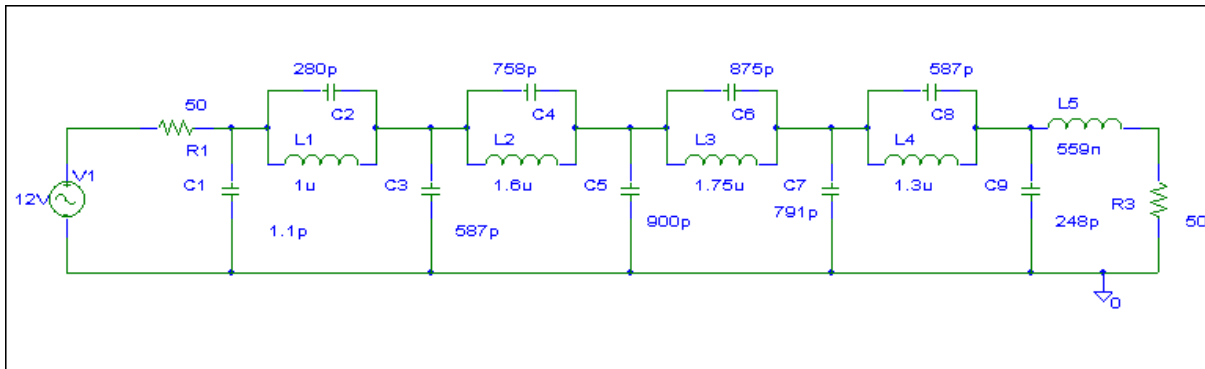
Zaprojektowane filtry pełnią w sumie rolę filtra kanałowego, pozwalając na wytłumienie emisji wstęp bocznych sygnału naziemnej telewizji cyfrowej poza 38 kanałem telewizyjnym. Taka budowa stanowiska pomiarowego pozwoliłaby na badanie współczynników ochronnych telewizji analogowej systemu D1/PAL zakłócanę sygnałem o parametrach identycznych z sygnałem naziemnej telewizji cyfrowej.

Przy fizycznej realizacji filtru o tak stromych zboczach na tak wysokiej częstotliwości (rzędu 600 MHz) natrafiono na duże trudności techniczne. Dodatkowo takie rozwiązanie narzucałoby duże ograniczenia na system pomiarowy – możliwe byłoby przeprowadzenie serii pomiarów jedynie dla przypadku, gdy sygnał DVB-T znajduje się w 38 kanale telewizyjnym. Dlatego zdecydowano na poszukanie innej drogi zapewnienia zgodności poza pasmem generowanej symulacji sygnału telewizji cyfrowej z sygnałem rzeczywistym. Po kolejnej dogłębnej analizie całego stanowiska pomiarowego zdecydowano na zastosowanie filtracji na wyjściu sygnałów z generatora ADS przed podaniem sygnałów IQ na wejścia generatora SMHU. Rozwiązanie to ma tę dużą zaletę, że uwalnia system pomiarowy od ograniczenia do tylko jednej możliwej do zastosowania częstotliwości sygnału DVB-T. Dodatkowo, ponieważ komunikacja pomiędzy ADS a SMHU odbywa się po tzw. ‘niskiej częstotliwości’ to wykonanie filtra było dużo prostszym zadaniem. W praktyce rozwiązanie problemu sprowadziło się do zaprojektowania dwóch tożsamyh filtrów dolnoprzepustowych o częstotliwości odcięcia 4 MHz. Charakterystykę filtrów zaprojektowanych przy użyciu programu FilterMaster przedstawiono na rysunku 4.3.8.



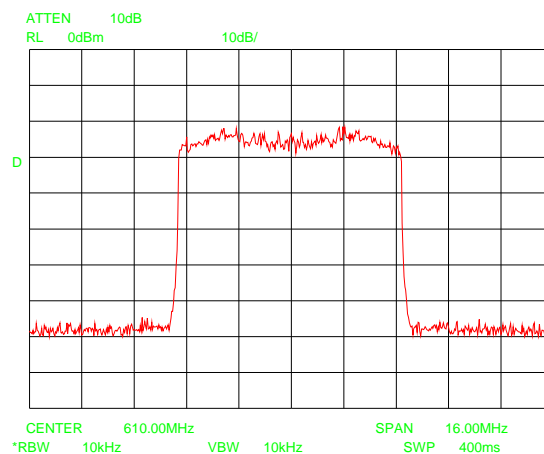
Rysunek 4.3.8. Charakterystyka filtru dolnoprzepustowego.

Schemat filtru został przedstawiony na rysunku 4.3.9.



Rysunek 4.3.9. Schemat zastosowanego filtra dolnoprzepustowego.

Widmo sygnału DVB-T uzyskane po zastosowaniu filtracji zarówno wewnętrznej generatora ADS jak i zewnętrznej przy użyciu wykonanych filtrów przedstawiono na rysunku 4.3.10.



Rysunek 4.3.10. Sygnał zgodny z rzeczywistym sygnałem DVB-T.

Tak jak w przypadku określania współczynników ochronnych dla sygnału telewizji analogowej zakłócanej sygnałem telewizji analogowej tak i w przypadku zakłócania sygnałem telewizji cyfrowej ważnym problemem jest właściwe określenie mocy nadawanych sygnałów.

Aby na wejściu odbiornika pomiarowego uzyskać użyteczny sygnał telewizji analogowej na poziomie 70 dBμV trzeba uwzględnić tłumienie kabli, 10 dB tłumienie DVU4 oraz 4 dB tłumienie układu RAM dopasowującego impedancję 50 Ω / 75 Ω dB. Poziom sygnału TVA generowanego przez SFM ustalono na 86 dBμV.

Poziom wzorcowego sygnału zakłócającego ustalono na 30 dB poniżej wartości poziomu sygnału użytecznego. Odpowiada to zakłóceniom troposferycznym (stopień degradacji jakości obrazu 3). Po uwzględnieniu wszystkich elementów wprowadzających tłumienie ustalono poziom nośnej wizji generowanej przez generator SMG na 55,5 dBμV (wzorcowy sygnał zakłócający).

Aby określić poziom badanego sygnału zakłócającego DVB-T trzeba przeprowadzić pewne obliczenia. Zakłada się, że sygnał telewizji analogowej oraz sygnał naziemnej telewizji cyfrowej są odbierane z tą samą mocą. Dla sygnału telewizji analogowej moc sygnału określa się jako poziom nośnej przy sygnałach synchronizacji linii, dla telewizji cyfrowej moc sygnału jest sumą mocy nośnych OFDM. Dla sygnału TVA prawie cała moc zawiera się w nośnej sygnału, stąd można określić moc sygnału jako:

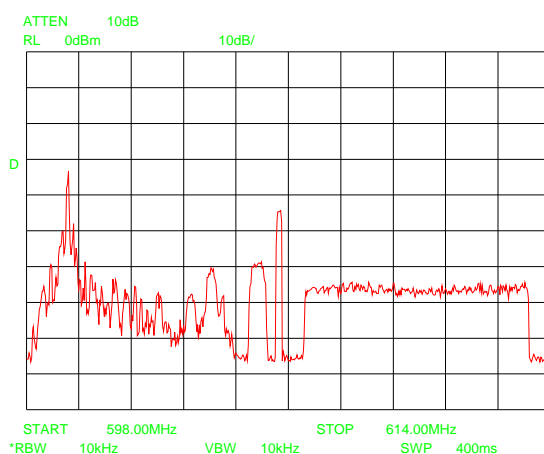
$$P = UI = U^2 R$$

Gdzie  $U$  – amplituda nośnej,  $I$  – prąd,  $R$  – rezystancja obciążenia.  
Moc sygnału DVB-T określa się jako:

$$P = n A^2 R$$

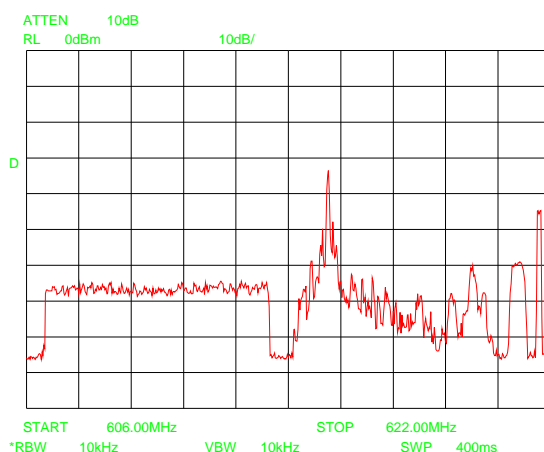
Gdzie  $n$  – ilość nośnych OFDM,  $A$  – amplituda nośnych OFDM,  $R$  – rezystancja obciążenia.  
Stąd dla przyjętego poziomu sygnału użytecznego i dla przyjętego formatu sygnału DVB-T 8k64QAM otrzymujemy  $U = 86 \text{ dB}\mu\text{V}$ ,  $n = 6817$ , stąd  $A = 0,24223 \text{ mV}$ , co odpowiada  $A = 44,7 \text{ dB}\mu\text{V}$ . Po uwzględnieniu tłumienia kabli, 10 dB tłumienia DVU4 oraz 4 dB tłumienia układu RAM dopasowującego impedancję  $50 \Omega / 75 \Omega$  ustalono poziom nośnych DVB-T na  $123 \text{ dB}\mu\text{V}$  przy ustawieniu 40 dB tłumienia na tłumiku. Jest to '0' względne, któremu odpowiada równa moc sygnału użytecznego TVA i zakłócającego DVB-T.

Widma sygnałów TVA i DVB-T przy jednakowej mocy obu sygnałów na wejściu odbiornika dla projektowanej lokalizacji w Kaliszu przedstawiono na rysunku 4.3.11.



Rysunek 4.3.11. Sygnały TVA i DVB-T dla projektowanej lokalizacji w Kaliszu.

Widma sygnałów TVA i DVB-T przy jednakowej mocy obu sygnałów na wejściu odbiornika dla projektowanej lokalizacji w Płocku przedstawiono na rysunku 4.3.12.



Rysunek 4.3.12. Sygnały TVA i DVB-T dla projektowanej lokalizacji w Płocku.

#### 4.4 Realizacja pomiarów

Po zestawieniu stanowiska przeprowadzono serię badań 8 obserwatorów sprawdzającą jego poprawność. Wyniki tych pomiarów przedstawiono w tablicy 4.4.1.

Lokalizacja	Kalisz	Płock
Obserwator 1	-36	-31
Obserwator 2	-34	-32
Obserwator 3	-34	-37
Obserwator 4	-35	-33
Obserwator 5	-35	-33
Obserwator 6	-38	-35
Obserwator 7	-38	-37
Obserwator 8	-32	-30
Średnia	35,25	33,75

Tablica 4.4.1. Wyniki pomiarów współczynników ochronnych dla TVA zakłócanej sygnałem DVB-T.

Obserwator 1 – Grzegorz Lewandowski  
Obserwator 2 – Radosław Tyniów  
Obserwator 3 – Halina Ługowska  
Obserwator 4 – Mateusz Tomasz Waga  
Obserwator 5 – Marek Michalak  
Obserwator 6 – Zofia Gajderowicz  
Obserwator 7 – Krzysztof Strawski  
Obserwator 8 – Małgorzata Konrad

Zalecenie ITU-R BT.1368 podaje współczynnik ochronny  $-9$  dB zarówno dla pożądanego sygnału TVA zakłócanego sygnałem DVB-T emitowanym w niższym jak i w wyższym sąsiednim kanale.

#### 4.5 Wnioski

Wartości współczynników ochronnych telewizji analogowej zakłócanego sygnału cyfrowym uzyskane podczas badań znacznie odbiegają od wyników podanych w Zaleceniu ITU-R BT.1368. Jest to spowodowane ograniczeniami systemu generowania sygnału DVB-T dostępnego w laboratorium Instytutu Łączności oddział Wrocław. Sygnał naziemnej telewizji cyfrowej jest tu symulowany przy użyciu zespołu urządzeń składającego się z komputera PC wyposażonego w oprogramowanie Rohde & Schwarz DAB-K1 oraz generatorów Rohde & Schwarz ADS i SMHU. Dołożono wszelkich starań, aby generowany sygnał DVB-T był jak najbardziej zbliżony swoimi parametrami do rzeczywistego sygnału, który wystąpić może w badanych lokalizacjach. Uzyskany sygnał naziemnej telewizji cyfrowej w pełni odpowiada parametrom rzeczywistego sygnału DVB-T. Lecz to jest właśnie wadą stworzonego systemu. Do badań współczynników ochronnych nie powinno się stosować 'czystego' sygnału DVB-T, lecz sygnał dokładnie opisujący maskę widma. Sygnał DVB-T wytwarzany na

skompletowanym stanowisku pomiarowym jest zbyt sterylny. Stąd tak wysokie wartości współczynników ochronnych uzyskane podczas pomiarów.

Zgodnie z przewidywaniami uzyskano inne wartości współczynnika ochronnego dla sytuacji gdy zakłócający sygnał DVB-T znajdował się w niższym i w wyższym sąsiednim kanale. Również charakter wprowadzanych zakłóceń dla obu tych sytuacji był różny, co powodowało trudności oceny degradacji jakości obrazu przez obserwatorów. Jednak obserwowane zakłócenia mogą nie wynikać z obecności w kanale telewizji analogowej wstęp bocznych sygnału DVB-T (o wysokim poziomie ale zgodnych z maską widma), lecz z wysokiego poziomu sąsiedniokanałowej transmisji DVB-T negatywnie wpływającej na odbiornik TVA o ograniczonej selektywności.

Jedną z możliwości udoskonalenia zestawionego stanowiska pomiarowego jest wykorzystanie faktu, że sygnał DVB-T ma pewne własności szumu Gaussowskiego. Doposażenie laboratorium w filtr o charakterystyce dokładnie opisującej maskę widma DVB-T pozwoliłoby na wykorzystanie generatora szumu jako źródła sygnału o charakterze zbliżonym do sygnału DVB-T zakłócającego sygnał TVA. Niemniej takie rozwiązanie miałyby kilka istotnych wad. Główną jest założenie, że niepożądane wstęgi boczne sygnału DVB-T mogą być traktowane jak szum Gaussowski. Prawdą jest, że zespół nośnych COFDM sygnału DVB-T ma właściwości szumu Gaussowskiego, lecz produkty intermodulacji nośnych, jako produkty procesu nieliniowego, już nie mają charakteru szumu Gaussowskiego. Należałoby to uwzględnić przy interpretacji uzyskanych wyników. Dodatkowym problemem jest ogólnie przyjęta praktyka stosowania różnych masek widma sygnału DVB-T do różnych celów. Na konferencji w Chester w 1997 roku [5] ustalono, że w celach koordynacji międzynarodowej stosowane będą maski widma określone na tej konferencji. Maski widma określone w Chester mają bardzo ostre zbocza i stawiają wysokie wymagania pod względem sprzętowym. Dlatego, aby uniknąć stosowania kosztownych filtrów wysokiego stopnia zapewniających zgodność z tymi maskami, do ustaleń wewnątrz krajowych najczęściej stosowaną praktyką jest przyjęcie dużo łagodniejszych – a więc i łatwiejszych do spełnienia – masek widma sygnału DVB-T podanych przez CEPT PT SE21.

Idealnym rozwiązaniem byłoby wyposażenie stanowiska w pełni funkcjonalny nadajnik sygnału DVB-T. Nadajnik taki powinien mieć wbudowane maski widma sygnału naziemnej telewizji cyfrowej zarówno wymagane przez obowiązujące Normy Europejskie, jak i wynikające z innych ustaleń międzynarodowych. Dodatkowo ważnym zagadnieniem jest doposażenie laboratorium w generator sygnałów testowych zdolny do generowania obrazów stałych jak i ruchomych sekwencji wideo. Dobór sekwencji obrazów testowych, zarówno stałych i ruchomych, nie powinien być sprawą przypadku czy subiektywnych gustów personelu przeprowadzającego badania. Tak doposażone stanowisko byłoby w stanie dostarczyć nie tylko wyznaczone pomiarowo wartości współczynników ochronnych dla TVA zakłócającej sąsiedniokanałową obecnością sygnału DVB-T, lecz także eksperymentalnych danych odzwierciedlających fizykę badanych zjawisk.

#### **4.6 Podsumowanie**

Wynikiem niniejszej pracy jest opracowanie i weryfikacja w pełni sprawnego systemu pomiarowego do badań określających współczynniki ochronne dla telewizji analogowej zakłócającej sąsiedniokanałową transmisją telewizji analogowej. Stworzone stanowisko pozwala na podjęcie prac w pełnym zakresie wyznaczania współczynników ochronnych dla TVA uwzględniając przy tym unikalną charakterystykę przyjętego w Polsce systemu telewizji analogowej D1/PAL. Przeprowadzone serie próbnych badań weryfikacyjnych potwierdziły zdolność systemu do podjęcia prac w tym zakresie.

W ramach pracy opracowano również stanowisko pomiarowe oraz metodologię pozwalającą na uruchomienie serii pomiarów określających współczynniki ochronne dla telewizji analogowej polskiego systemu D1/PAL zakłócanego sygnałem naziemnej telewizji cyfrowej. Doposażenie

laboratorium w testowy nadajnik sygnału DVB-T pozwoli na stworzenie w pełni sprawnego stanowiska do badań koordynacyjnych TVA i DVB-T.

Oba systemy pomiarowe stanowią bazę, na której można w przyszłości zbudować praktycznie dowolne stanowisko do badania kompatybilności różnych służb radiowych, zarówno analogowych jak i cyfrowych.

## **5. Kompatybilność DVB-T z systemami wojskowymi**

### **5.1 Wstęp**

Sprawa kompatybilności służb wojskowych pracujących w pasmach telewizyjnych jest jedną z najważniejszych spraw kompatybilności DVB-T z innymi służbami w skali europejskiej. Regulamin Radiokomunikacyjny przewiduje dla krajów europejskich przeznaczenie zakresu 470–862 MHz dla potrzeb telewizji, w którym jest ona służbą pierwszej ważności. Podobne przeznaczenie występuje w Tabeli Europejskiej przyjętej przez CEPT. W przeszłości jednak ulokowano w tym zakresie wojskowe systemy radionawigacyjne krajów byłego Układu Warszawskiego. W związku z tym kraje te zastrzegły sobie w Regulaminie Radiokomunikacyjnym (RR) prawo do użytkowania pasma 645–862 MHz również do celów radionawigacji lotniczej, także na zasadach pierwszej ważności – na podstawie przypisu S5.312 do RR. Stanowi to podstawę prawną działania tych systemów w wyżej wymienionym paśmie. Skutkuje to jednak koniecznością koordynacji krajowej i międzynarodowej nadajników telewizyjnych pracujących wspólnie lub sąsiedniokanałowo z urządzeniami lotniczymi. W 1993 roku przy współpracy Instytutu Łączności O/Wrocław, Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych (ITWL) oraz Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia (WITU) wykonano pomiary kompatybilności urządzeń lotniczych z telewizją analogową oraz opracowano odpowiednie kryteria ochronne. Ponieważ w niedługim czasie planowane jest uruchamianie nadajników telewizji cyfrowej DVB-T, konieczne stało się przeprowadzenie badań kompatybilności oraz opracowanie kryteriów koordynacyjnych w przypadku DVB-T. W związku z tym, pod kierunkiem Instytutu Łączności O/Wrocław i przy udziale instytutów wojskowych (ITWL, WITU, WAT) podjęto prace mające na celu określenie kryteriów kompatybilności systemów wojskowych zakłócanych sygnałami DVB-T. W roku 2000 wyniki tych prac zostały przekazane i zatwierdzone przez ZK PAR.

### **5.2 Badane systemy**

W Polsce obecnie pracują następujące systemy wojskowe w pasmach telewizyjnych:

W paśmie 645–862 MHz występują różnego rodzaju systemy radionawigacji lotniczej. W kanałach telewizyjnych 44–46 pracuje system identyfikacji „przyjaciel-wróg” IFF (identification friend-foe), w kanałach 54, 55 i 66 pracuje system aktywnej odpowiedzi, w kanałach 61–63 system RSBN/PRMG, a w kanałach 68–69 system radarowy.

System IFF działa na zasadzie wysyłania sygnału pytającego przez stację naziemną do samolotu, a samolot automatycznie wysyła odpowiedź do stacji naziemnej. System pracuje w paśmie 654–686MHz.

System aktywnej odpowiedzi jest częścią złożonego systemu radionawigacyjnego i w pasmach telewizyjnych (kanały 54–55) występuje jedynie transmisja na trasie samolot – ziemia.

System RSBN jest złożonym systemem radionawigacyjnym. W pasmach telewizyjnych występuje jedynie część transmisji systemu RSBN wykorzystująca nadawanie z samolotu do ziemi.

W kanałach 66–69 występuje ponadto system radarowy, który składa się wyłącznie z części naziemnej oraz nadajnik i odbiornik systemu aktywnej odpowiedzi.

### 5.3 Kompatybilność systemów wojskowych z DVB-T w kanałach 44–46 i 54–55

Urządzenie identyfikacyjne pracuje w systemie identyfikacji przynależności państwowej „swój-obcy” (IFF) w kanałach 43, 44, 45, 46 i 47, a nadajnik odzewowy urządzenia aktywnej odpowiedzi w kanałach 54 i 55.

Badania dotyczyły pokładowych i naziemnych urządzeń odbiorczych, których praca jest kolizyjna z zakresem pracy telewizji cyfrowej w następujących kanałach częstotliwości:

1. Kanały 45, 46, 47 – łącza samolot – ziemia i ziemia – samolot,
2. Kanały 54, 55 – łącze samolot – ziemia,

Na podstawie przeprowadzonych analiz i badań opracowano praktyczne procedury do wyznaczania promieni stref ochronnych wokół lotnisk, podane w tablicach poniżej:

Tablica 1

Nr Kanału	Polaryzacja nadajnika TV V Dopuszczalna moc TV $P_n G_n$ , Wysokość, odległość	Polaryzacja nadajnika TV H Dopuszczalna moc TV $P_n G_n$ , wysokość, odległość
43	Wykres	Wykres
44	Kanały przeznaczone wyłącznie dla urządzeń wojskowych	
45		
46	Wykres	
47		

W uzgodnieniach międzynarodowych należy dążyć do spełnienia ograniczeń wynikających z wykresów.

Z zasięgów oddziaływania sygnałów telewizji cyfrowej przedstawionych na wykresach wynika, że w przypadku rozwoju sieci telewizji cyfrowej w sąsiednich państwach i zajęciu kanałów 44–46, badany system identyfikacji nie będzie mógł poprawnie funkcjonować.

Tablica 2.

Nr Kanału	Polaryzacja nadajnika TV V Dopuszczalna moc TV $P_n G_n$ , wysokość, odległość	Polaryzacja nadajnika TV H Dopuszczalna moc TV $P_n G_n$ , wysokość, odległość
53	wykres	Wykres
54	wykres	Kanały przeznaczone wyłącznie dla urządzeń wojskowych
55	wykres	
56	wykres	wykres
57	wykres	wykres

Podobnie jak w przypadku poprzednim niezbędne są uzgodnienia z państwami sąsiednimi, szczególnie dotyczy to lokalizacji obiektów na wybrzeżu.

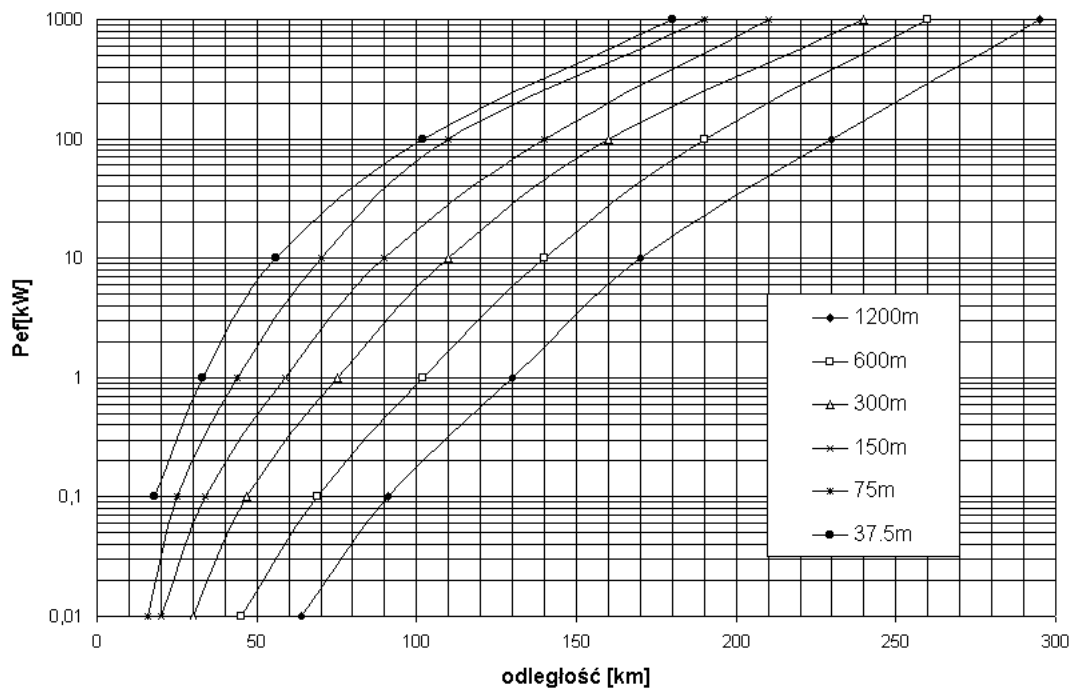
Przedstawione w opracowaniu ograniczenia na parametry i lokalizacje nadajników telewizji cyfrowej są wynikiem pomiarów i statystycznych danych dotyczących propagacji fal radiowych.



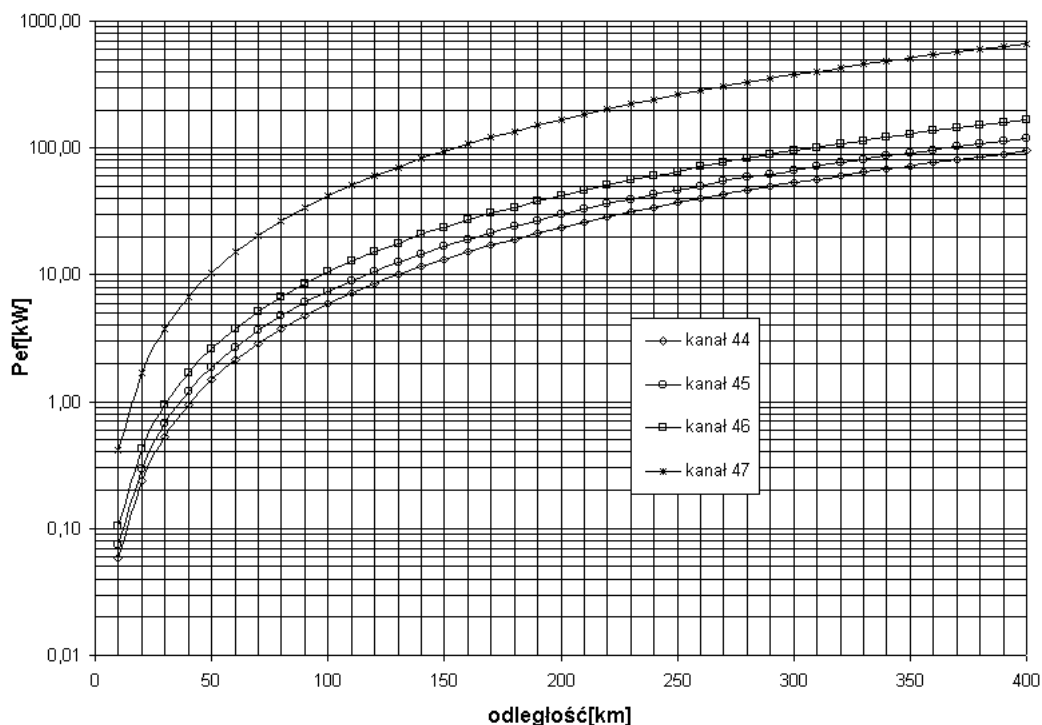
W szczególnych przypadkach mogą one odbiegać od praktycznych rezultatów przy konkretnych wzajemnych lokalizacjach. Przy odbiegających od przeciętnych warunkach terenowych, na drodze nadajnik – odbiornik, niezbędna jest indywidualna ekspertyza dotycząca tej konkretnej lokalizacji.

### Przykładowe wykresy odległości koordynacyjnych

Minimalna odległość nadajnika DVB-T od BAOBAB,, pol V, kanał 54  
 ład, 10% lokalizacji, 1% czasu, dh=50m, h2=10m



Dopuszczalna moc efektywna nadajnika TVC w funkcji odległości od samolotu  
pol H



#### 5.4 Kompatybilność między RSN/PRMG i DVB-T (kanały 61–63)

W przypadku uruchomienia nadawania sygnałów DVB-T w planowanych kanałach możliwość negatywnego oddziaływania na system RSN/PRMG pojawia się w następujących podstawowych kanałach funkcjonalnych:

RODZAJ PRACY	KANAŁ FUNKCJONALNY	RELACJA	ZAKŁÓCAJĄCY SYSTEM	ZAKŁÓCANY ELEMENT SYSTEMU
			<b>DVB-T</b>	
NAWIGACJA	ZAPYTANIE O ODLEGŁOŚĆ	SAMOLOT - ZIEMIA	+	RSBN NAZIEMNY
ŁĄDOWANIE	ZAPYTANIE O ODLEGŁOŚĆ	SAMOLOT - ZIEMIA	+	PRMG NAZIEMNY

W wyniku przeprowadzonych badań określono minimalne dopuszczalne promienie stref ochronnych dla systemu RSN/PRMG względem DVB-T (w km).

Problematyka oceny wielkości strefy ochronnej sprowadza się do określenia promienia okręgu wyznaczającego obszar wokół stacji naziemnej systemu bliskiej nawigacji, w którym nie mogą występować źródła sygnałów telewizji cyfrowej. Promień ten to minimalna, dopuszczalna odległość źródła zakłóceń (nadajnika telewizji DVB-T) i stacji naziemnej zapewniająca poprawność pracy systemu RSN/ PRMG.

PRZYKŁADOWA TABELA MINIMALNYCH DOPUSZCZALNYCH PROMIENI STREF OCHRONNYCH  
DLA SYSTEMU RSBN/PRMG WZGLĘDEM DVB-T (ŁĄD)

$$h_T = 300 \text{ m}$$

$P_T$ [kW]	0.1	0.5	1.0	5.0	10	50	100
$\Delta f$ [MHz]							
-14	*	*	*	*	*	*	13
-12	*	*	*	*	*	12	14
-10	*	*	*	12	14	18	22
-8	15	22	25	35	40	53	60
-6	30	42	47	65	73	98	120
-4	50	66	75	100	120	150	175
-2	60	82	92	125	140	180	205
0	60	82	92	125	140	180	205
2	65	85	100	135	150	190	215
4	50	66	75	100	120	150	175
6	28	40	45	60	68	92	110
8	*	12	14	18	22	32	35
10	*	*	*	*	10	15	17
12	*	*	*	*	*	14	15
14	*	*	*	*	*	13	14

#### 5.4.1 Transmisja samolot-samolot w systemie RSBN

Kolejną, dość istotną sprawą, dotyczącą RSBN/PRMG, a wymagającą porozumienia międzynarodowego, jest transmisja w paśmie 800–813 MHz do odbiorników umieszczonych na pokładzie samolotów. Ten tryb pracy nie jest wykorzystywany w Polsce, jednak ze względu na stosowanie go przez kraje sąsiednie (Rosja, Ukraina) może okazać się, że skoordynowanie polskiej stacji DVB-T w tym paśmie będzie stanowić duży problem w przyszłości. Ponieważ w trybie pracy samolot-samolot odbiornik RSBN/PRMG pracuje na dużej wysokości (ok. 10–15 km) – stąd wymagałby ochrony z bardzo dużej odległości. W przypadku Polski mogłoby to oznaczać niemożność pracy nadajników DVB-T w tym paśmie na całym obszarze Polski. Ponieważ jednak do niedawna ten tryb pracy systemów owiany był tajemnicą, obecnie trwają dyskusje nad tym, czy rzeczywiście należy mu się ochrona oraz czy jego stosowanie nie może spowodować zakłóceń do legalnie pracujących w tym paśmie odbiorników telewizyjnych?

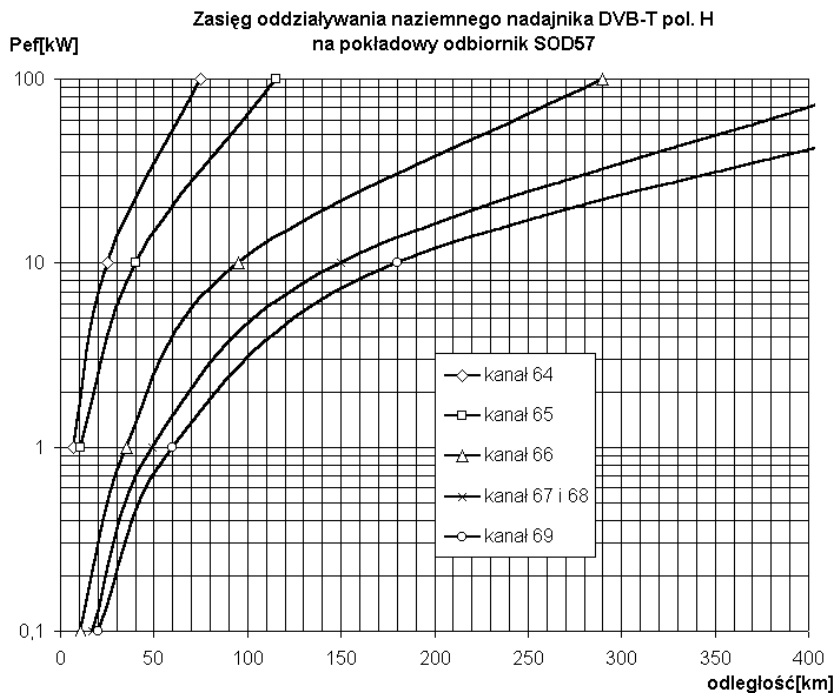
Przyjęcie proponowanych przez Rosję i Ukrainę kryteriów ochrony tego typu pracy (chronienie 67 dB $\mu$ V/m na wysokości 7,5–15 km) spowodowałoby praktycznie brak możliwości uruchomienia w kanałach 62 i 63 oraz być może w kanałach 61 i 64, jakichkolwiek nadajników telewizyjnych w odległości kilkuset kilometrów od granic Rosji i Ukrainy.

#### 5.5 Kompatybilność systemów wojskowych z DVB-T w kanałach 66-69

Na pokładzie statku powietrznego znajduje się odbiornik, który po odebraniu sygnału z nadajnika naziemnego uruchamia pokładowy nadajnik odzewowy. Sygnał zapytania od stacji naziemnej promieniowany jest na częstotliwości w kanale 66, natomiast odpowiedź wysyłana jest na częstotliwości w kanale 54.

Uwzględniając określone dopuszczalne moce zakłóceń i współczynnik antenowy, zestawiono dopuszczalne natężenia pola zakłóceń pochodzącego od nadajnika DVB-T, dla poszczególnych kanałów.

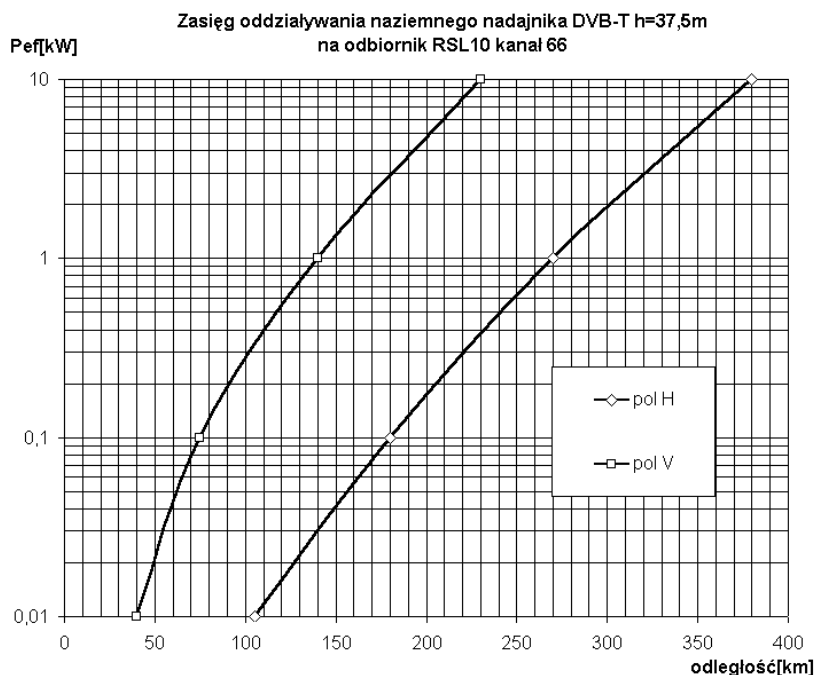
Następnie po przeprowadzeniu ocen dopuszczalnych natężeń pól w sąsiedztwie anteny pokładowego odbiornika, w poszczególnych kanałach zakresu 64–69, wykonano nomogramy dopuszczalnych mocy nadajników DVB-T w funkcji ich odległości od samolotu dla obu polaryzacji.



Przykładowy nomogram do wyznaczania dopuszczalnych parametrów nadajników DVB-T w zakresie kanałów 64–69, polaryzacja pozioma.

### 5.5.1 Oddziaływanie sygnałów telewizyjnych na odbiornik systemu radarowego

Zasięgi oddziaływania sygnałów nadajnika telewizji cyfrowej w kanale 66, dla najniższego zawieszenia anteny 37,5 m prezentowanego w zaleceniach ITU-R P.370-7, przedstawiono na rysunku.



### Zasięg oddziaływania nadajnika DVB-T na odbiornik radarowy

Zasięgi te praktycznie uniemożliwiają bezkolizyjne wykorzystanie kanału dla potrzeb telewizji na terenie całej Polski w polaryzacji poziomej i w bardzo ograniczonym zakresie przy zastosowaniu polaryzacji pionowej.

## 5.6 Podsumowanie

Wykonane prace organizacyjne, badawcze i analityczne pozwoliły administracji polskiej na aktywne uczestnictwo w międzynarodowych pracach zmierzających do przyjęcia kryteriów kompatybilności systemów wojskowych. Uzyskane wyniki mogą być również wykorzystywane do celów krajowych – pozwalając na precyzyjne ustalenie, czy dany nadajnik telewizyjny może zakłócić pracę odbiorników wojskowych. W celu bardzo dokładnej koordynacji międzynarodowej korzystnym byłoby chronienie konkretnych lokalizacji urządzeń naziemnych. Pozwoliłoby to na przybliżenie nadajników DVB-T do granic państw wykorzystujących ten system radionawigacyjny, w stosunku do obecnie tak popularnego wariantu chroniącego granicę. Nie jest to jednak możliwe w przypadku odbioru na pokładzie samolotu, który ze względu na dowolność położenia samolotu musiałby być chroniony nie tylko na granicy państwa ale i na dużej wysokości.

W najbliższym czasie niektóre kraje (np. Litwa) zamierzają przeprowadzić własne pomiary. Być może także niektóre z krajów skandynawskich zagrożone dość rygorystycznymi wymaganiami państw byłego Układu Warszawskiego przeprowadzą własne prace badawcze. Może spowodować to konieczność rewizji dotychczasowego stanowiska krajów byłego Układu Warszawskiego. Przydatne w tym względzie mogłyby być np. eksperymentalne transmisje DVB-T w Polsce w kanałach 60-64, które pozwoliłyby na określenie wpływu rzeczywistych nadajników na urządzenia wojskowe. Być może pozwoliłoby to na zweryfikowanie dość ostrych kryteriów uzyskanych w polskich badaniach laboratoryjnych. Ostateczne uzgodnienie międzynarodowe i przyjęcie modyfikacji Porozumienia z Chester będzie musiało nastąpić w najbliższym czasie.

Uzyskane wyniki wskazują na słabą odporność urządzeń wojskowych na sygnały DVB-T. Ze względu na przyjęte kryteria odporności systemów wojskowych, znacznie ostrzejsze niż w przypadku telewizji analogowej, uzyskiwane wymagane odległości separacyjne między nadajnikami DVB-T a urządzeniami wojskowymi są porównywalne lub nawet większe niż w przypadku TV analogowej. W

związku z tym planowanie sieci DVB-T w pasmach współużytkowanych z systemami wojskowymi będzie praktycznie niemożliwe lub bardzo utrudnione. Wynika to głównie z faktu stosowania przez wojsko przestarzałych urządzeń, słabo odpornych na zakłócenia oraz ze stosowania w systemach wojskowych słabych filtrów o małej selektywności powodujących małą odporność na zakłócenia pochodzące od kanałów sąsiednich. Wydaje się, że jedynym sposobem na skuteczne budowanie sieci DVB-T w pasmach obecnie zajętych przez wojsko byłaby wymiana wojskowych urządzeń nawigacyjnych na nowe, pracujące zgodnie ze standardami NATO.

## 6. Analiza kompatybilności DVB-T z łączami zwrotnymi fonicznymi (Talkback) i z łączami poza radiodifuzyjnymi OB (Outside Broadcast)

W paśmie telewizyjnym IV/V, w którym uruchamia się sieci DVB-T stosowane są powszechnie w Europie systemy wspomagające pracę rozgłośni. Są to np. łącza zwrotne służące do transmisji głosowych (talkback) oraz łącza poza radiodifuzyjne (OB) służące np. do transmisji wysokiej jakości dźwięku z sali koncertowej do studia. Nie pełnią one roli radiodifuzyjnych – nie służą one do rozpowszechniania programów, lecz powszechnie wykorzystywane są przez służby radiodifuzyjne. Ponieważ zachodzi sytuacja współużytkowania widma z DVB-T konieczne stało się opracowanie kryteriów kompatybilności tych służb z telewizją cyfrową. Temat ten stanowił przedmiot prac Zespołu SE 27 w roku 2000 i zakończył się opracowaniem przez Zespół i opublikowaniem (po zaakceptowaniu przez WG SE) Raportów ERC na ten temat [12,13].

Zasadniczy trzon tych prac opierał się na opracowanym w roku 1999 Raporcie dotyczącym kompatybilności DVB-T i mikrofonów bezprzewodowych opracowanym przez grupę SE27 w roku 1999, którego metodologia i wyniki zostały przedstawione w Sprawozdaniu z pracy statutowej w roku 1999 [8].

### 6.1 Zakłócenia od DVB-T

Wszystkie analizy kompatybilności zostały wykonane dla parametrów systemów umieszczonych poniżej.

Parametry DVB-T - zgodne z ustaleniami w Chester 97.

DVB-T e.r.p.:	100 W, 200 W, 1 kW, 2 kW, 10 kW, 20 kW, 100 kW;
DVB-T wysokości efektywne anten:	150 m, 300 m.
Modulacja:	16 QAM, 64 QAM i QPSK (bez wpływu na wyniki)
Liczba nośnych:	2k, 8k (bez wpływu na wyniki)
Szerokość pasma:	8 MHz
Tłumienie kanałów sąsiednich:	50 dB

Częstotliwość względna (MHz)	Poziom względny (dB)
- 12	-87.2
-6	-62.2
-4.2	-50.2
-3.8	0
+3.8	0
+4.2	-50.2
+6	-62.2
+12	-87.2

Tabela 6.1: Maska widma.

Uwaga: Wartości pozapasmowe maski odpowiadają punktom zawartym w Porozumieniu z Chester (rys. A1.2) (kanał 8 MHz dla przypadków wrażliwych). Wartość 3.8 MHz została zastosowana ze względu na fakt, iż jest ona bliższa rzeczywistemu widmu DVB-T niż wartość ustalona w Chester (W Chester dokładna wartość 3.81 MHz została zaokrąglona do 3.9 MHz).

### 6.1.1 Parametry fonicznych łączy zwrotnych

Parametry w Tabeli 3.2 poniżej zostały wzięte z Załącznika 5 do Porozumienia w Chester.

<b>Pożądaný:</b>	Fonia zwrotna (niekompan-d.)		Domyślne chronione natężenie pola (dBµV/m)			31		Domyślna wysokość anteny odbiorczej (m)		1,5
Identyfikator służby		NT8	przy częstotliwości (MHz)			650				
Niepożądaný		DVB-T/8 MHz								
Δf (MHz)	-12,0	-10,0	-8,0	-6,0	-4,2	-3,8	-3,6	0,0	3,6	3,8
PR (dB)	-97,0	-92,0	-85,0	-80,0	-70,0	-20,0	-14,0	-14,0	-14,0	-20,0
Δf (MHz)	4,2	6,0	8,0	10,0	12,0					
PR (dB)	-70,0	-80,0	-85,0	-92,0	-97,0					

Tabela 6.2: Współczynniki ochronne łączy zwrotnych

### 6.1.2 Parametry łączy poza radiodifuzyjnych OB

<b>Pożądaný:</b>	Łącze OB. (stereo, niekompan-dowa ne)		Domyślne chronione natężenie pola (dBµV/m)			86		Domyślna wysokość anteny odbiorczej (m)		10
Identyfikator służby		NS8	przy częstotliwości (MHz)			650				
Niepożądaný		DVB-T/8 MHz								
Δf (MHz)	-12,0	-10,0	-8,0	-6,0	-4,2	-3,8	-3,6	0,0	3,6	3,8
PR (dB)	-18,0	-17,0	-12,0	-9,0	-5,0	36,0	43,0	43,0	43,0	36,0
Δf (MHz)	4,2	6,0	8,0	10,0	12,0					
PR (dB)	-5,0	-9,0	-12,0	-17,0	-18,0					

Tabela 6.3. Współczynniki ochronne łączy OB

Współczynniki te zostały uzyskane po serii pomiarów przeprowadzonych w UK i w Niemczech.

Podane w punktach 6.1.1 i 6.1.2 wartości dotyczą częstotliwości 650 MHz. Dla innych częstotliwości wartość chroniona natężenia pola jest równa:

$$E(f) = E(650) + 20\log_{10}(f/650),$$

Gdzie f jest częstotliwością w MHz, E(650) jest wymaganym natężeniem pola przy 650 MHz a E(f) natężeniem pola na żądanej częstotliwości.

### 6.1.3 Rozważane scenariusze zakłóceń

W celu przybliżenia się do rzeczywistych warunków pracy dla fonicznych łączy zwrotnych rozważano osobno zakłócenia do urządzeń pracujących wewnątrz jak i na zewnątrz budynków. W przypadku łączy poza radiodfuzyjnych, które pracują poza budynkami rozważano jedynie zakłócenia na zewnątrz budynków.

#### Scenariusz 1: Praca na zewnątrz

Nie dodaje się tłumienia budynków, założono wysokość anteny odbiorczej łącza fonicznego równą 1.5 m.

Analizy oparto na krzywej Zalecenia ITU-R P.370, Rys. 11 (1% czasu, 50% miejsc). Dodano współczynnik korekcyjny 12 dB ze względu na wysokość anteny odbiorczej 1.5 m. - zgodnie z Załącznikiem 1 do Porozumienia z Chester.

Zalecenie ITU-R P.370 nie zawiera krzywych dla odległości mniejszych niż 10 km. W związku z tym krzywe dla efektywnych wysokości nadajników równych 150 m i 300 m zostały ekstrapolowane do krzywej propagacji w wolnej przestrzeni dla dystansów poniżej 10 km (w celu wyjaśnienia procedury ekstrapolacyjnej pokazano na rysunku krzywą propagacyjną dla nadajnika DVB-T o ERP równej 1kW).

#### Scenariusz 2: Praca wewnątrz

Dodano 7 dB ze względu na tłumienie budynków oraz współczynnik korekcyjny 12 dB ze względu na wysokość anteny odbiorczej 1.5 m. - zgodnie z Załącznikiem 1 do Porozumienia z Chester. Wartość 7 dB odpowiada przypadkowi 50% miejsc wewnątrz budynku.

### 6.1.4 Wyniki dla 8MHz sygnału DVB-T

#### Scenariusz 1: Praca na zewnątrz

Tabele 6.4/6.5 pokazują wymaganą odległość separacyjną jako funkcję różnicy częstotliwości, mocy promieniowanej DVB-T e.r.p. oraz wysokości efektywnej DVB-T.

Wyniki pokazują, że w przypadku wspólnokanałowym wymagana odległość separacyjna jest bardzo duża, a następnie występuje znaczne zmniejszenie wymaganej odległości separacyjnej - w przypadku przejścia do pracy sąsiedniokanałowej.

#### Scenariusz 2: Praca wewnątrz

Tabele 6.6/6.7 pokazują wymaganą odległość separacyjną jako funkcję różnicy częstotliwości, mocy promieniowanej DVB-T e.r.p. oraz wysokości efektywnej DVB-T.

Wyniki obrazują, tak jak oczekiwano, mniejsze wymagane odległości separacyjne niż w przypadku pracy na zewnątrz budynków. Rzeczywiście mogą wystąpić pewne sytuacje jak np. w przypadku budynków o dużym tłumieniu (np. teatry bez okien) w których praca łączy fonicznych przy różnicy częstotliwości z DVB-T mniejszej niż 3.8 MHz była możliwa również w obszarze pokrycia DVB-T, zakładając że najbliższe odbiorniki DVB-T również pozostaną chronione.



**Wymagane minimalne odległości separacyjne między DVB-T i łączami fonicznymi w pasmach IV i V  
Praca łączu fonicznego na zewnątrz budynków, zakłócenia od DVB-T**

Częstotliwość (MHz)	DVB-T e.r.p.						
	0.1 kW	0.2 kW	1 kW	2 kW	10 kW	20 kW	100 kW
3.6	16.4	18.6	25.3	29	38.9	45.6	62.1
3.8	11.8	14.2	19.4	19.4	30	33.8	49.75
4.2	0.63	0.89	1.54	1.8	2.55	2.96	4.21
6.0	0.2	0.28	0.63	0.89	1.54	1.8	2.55
8.0	0.11	0.16	0.35	0.5	1.12	1.4	1.98
10.0	0.05	0.07	0.16	0.22	0.5	0.71	1.4
12.0	0.028	0.04	0.09	0.13	0.28	0.4	0.89

Tabela 6.4  $h_{eff} = 150m$ , dystanse w km

Częstotliwość (MHz)	DVB-T e.r.p.						
	0.1 kW	0.2 kW	1 kW	2 kW	10 kW	20 kW	100 kW
3.6	23.3	26	35.6	40.4	53.6	61.8	80.2
3.8	17.3	20.2	28	31.6	42	46.7	63.9
4.2	0.63	0.89	1.99	2.76	3.92	4.56	6.47
6.0	0.2	0.28	0.63	0.89	1.99	2.76	3.92
8.0	0.11	0.16	0.35	0.5	1.12	1.58	3.05
10.0	0.05	0.07	0.16	0.22	0.5	0.71	1.58
12.0	0.028	0.04	0.09	0.13	0.28	0.4	0.89

Tabela 6.5  $h_{eff} = 300m$ , dystanse w km

**Wymagane minimalne odległości separacyjne między DVB-T i łączami fonicznymi w pasmach IV i V  
Praca łączy fonicznych wewnątrz budynków, zakłócenia od DVB-T**

Częstotliwość (MHz)	DVB-T e.r.p.						
	0.1 kW	0.2 kW	1 kW	2 kW	10 kW	20 kW	100 kW
3.6	11.3	13.3	18.6	21.2	29	33.3	45.6
3.8	8.06	9.37	14.2	16.4	21.9	25.3	33.8
4.2	0.28	0.4	0.9	1.26	1.8	2.09	2.96
6.0	0.09	0.13	0.28	0.4	0.9	1.26	1.79
8.0	0.05	0.07	0.16	0.22	0.5	0.71	1.4
10.0	0.022	0.032	0.07	0.1	0.22	0.32	0.71
12.0	0.012	0.018	0.04	0.056	0.13	0.18	0.4

Tabela 6.6  $h_{eff} = 150m$ , dystanse w km

Częstotliwość (MHz)	DVB-T e.r.p.						
	0.1 kW	0.2 kW	1 kW	2 kW	10 kW	20 kW	100 kW
3.6	16.4	18.8	26	29.8	40.5	45.3	61.8
3.8	12.3	14.3	20.2	23.3	31.6	35.6	46.7
4.2	0.28	0.4	0.9	1.26	2.76	3.21	4.56
6.0	0.09	0.13	0.28	0.4	0.9	1.26	2.76
8.0	0.05	0.07	0.16	0.22	0.5	0.71	1.59
10.0	0.022	0.032	0.07	0.1	0.22	0.32	0.71
12.0	0.012	0.018	0.04	0.056	0.13	0.18	0.4

Tabela 6.7  $h_{eff} = 300m$ , dystanse w km

### 6.1.5 Obliczenia dla masek widma DVB-T przyjętych przez CEPT SE PT 21

Parametry DVB-T - zgodne z ustaleniami w Chester 97.

DVB-T e.r.p.: 100 W, 200 W, 1 kW, 2 kW, 8 kW, 10 kW, 20 kW, 100 kW  
 DVB-T wysokości efektywne anten: 150 m, 300 m.  
 Modulacja: 16 QAM, 64 QAM i QPSK (bez wpływu na wyniki)  
 Liczba nośnych: 2k, 8k (bez wpływu na wyniki)  
 Szerokość pasma: 8 MHz  
 Tłumienie kanałów sąsiednich: 35 dB

Maska widma:

Częstotliwość względna (MHz)	Pout = 9-29 dBW	Pout = 39-50 dBW
	Poziom względny dB	
-20	-56.2	-66.2
-12	-48.2	-58.2
-4.2	-35	-35
-3.9	0	0
+3.9	0	0
+4.2	-35	-35
+12	-48.2	-58.2
+20	-56.2	-66.2

Tabela 6.8: Maski widma

Założono zysk anteny nadawczej w stosunku do dipola równy 0-10 dB. Stąd niektóre wartości DVB-T e.r.p. są większe niż Pout (moc wyjściowa nadajnika).

Parametry łączy fonicznych

Wartość chroniona natężenia pola: 31 dB( $\mu$ V/m)  
 Wysokość anteny odbiorczej: 1.5 m  
 Częstotliwość nadajnika: 650 MHz

Różnica częstotliwości	Współczynniki ochronne	
	Pout = 9-29 dBW	Pout = 39-50 dBW
0	-14	-14
3.9	-14	-14
4.3	-49	-49
12	-62.2	-72.2

Tabela 6.9: Współczynniki ochronne

## Rozważane scenariusze zakłóceń

Rozważano identyczne scenariusze jak dla maski z Chester: praca na zewnątrz oraz wewnątrz budynków.

Wyniki dla 8 MHz sygnału DVB-T

Scenariusz 1: Praca na zewnątrz

Tabele 6.10/6.11 pokazują wymaganą odległość separacyjną jako funkcję różnicy częstotliwości, mocy promieniowanej DVB-T e.r.p. oraz wysokości efektywnej DVB-T.

Wyniki pokazują, że w przypadku wspólnokanałowym wymagana odległość separacyjna jest bardzo podobna do tej w przypadku maski Chester. W przypadku różnicy częstotliwości 3,8 do 4,2MHz następuje zmniejszenie wymaganych odległości separacyjnych, jednak są one większe niż w przypadku obliczeń dla maski z Chester.

Scenariusz 2: Praca wewnątrz

Tabele 6.12/6.13 pokazują wymaganą odległość separacyjną jako funkcję różnicy częstotliwości, mocy promieniowanej DVB-T e.r.p. oraz wysokości efektywnej DVB-T.

Wyniki obrazują, tak jak oczekiwano, mniejsze wymagane odległości separacyjne niż w przypadku pracy na zewnątrz budynków. Rzeczywiście mogą wystąpić pewne sytuacje jak np. w przypadku budynków o dużym tłumieniu (np. teatry bez okien) w których praca łączony fonicznych przy różnicy częstotliwości z DVB-T mniejszej niż 3.8 MHz była możliwa również w obszarze pokrycia DVB-T, zakładając że najbliższe odbiorniki DVB-T również pozostaną chronione.

**Wymagane minimalne odległości separacyjne między DVB-T i łączy fonicznych w pasmach IV i V  
Praca łączy fonicznych na zewnątrz budynków, zakłócenia od DVB-T**

Częstotliwość (MHz)	DVB-T e.r.p								
	0.1 kW	0.2 kW	1 kW	2 kW	8 kW	8 kW	10 kW	20 kW	100 kW
0.0	16.4	18.6	25.3	29	37.4	37.4	38.9	45.6	62.1
3.9	16.4	18.6	25.3	29	37.4	37.4	38.9	45.6	62.1
4.3	2.68	3.12	4.42	5.14	6.94	6.94	7.3	8.48	12
6.0	2.31	2.7	3.82	4.44	6	5.38	5.65	6.57	9.32
8.0	1.96	2.27	3.23	3.75	5.06	3.98	4.19	4.86	6.9
10.0	1.64	1.91	2.69	3.15	4.25	2.93	3.08	3.58	5.09
12.0	1.38	1.6	2.28	2.65	3.58	2.17	2.28	2.65	3.77
SE PT 21 maska	(Pout_max = 39-50 dBW)				(Pout_max = 9-29 dBW)				

Tabela 6.10  $h_{eff} = 150m$ , dystanse w km

Częstotliwość (MHz)	DVB-T e.r.p								
	0.1 kW	0.2 kW	1 kW	2 kW	8 kW	8 kW	10 kW	20 kW	100 kW
0.00	23.3	26	35.6	40.5	51.4	51.4	53.6	61.8	80.3
3.9	23.3	26	35.6	40.5	51.4	51.4	53.6	61.8	80.3
4.3	4.12	4.79	6.8	7.9	10.7	10.7	11.22	13.04	18.51
6.0	3.55	4.1	5.88	6.84	9.23	8.27	8.69	10.1	14.34
8.0	3	3.49	4.96	5.77	7.79	6.12	6.44	7.48	10.62
10.0	2.29	2.93	4.14	4.84	6.53	4.51	4.74	5.51	7.82
12.0	1.55	2.18	3.51	4.08	5.51	3.34	3.51	4.08	5.79
SE PT 21 maska	(Pout_max = 39-50 dBW)				(Pout_max = 9-29 dBW)				

Tabela 6.11  $h_{eff} = 300m$ , dystanse w km

**Wymagane minimalne odległości separacyjne między DVB-T i łączami fonicznymi w pasmach IV i V  
Praca łącz fonicznych wewnątrz budynków, zakłócenia od DVB-T**

Częstotliwość (MHz)	DVB-T e.r.p								
	100kW	20kW	10kW	8kW	8kW	2kW	1kW	0.2kW	0.1kW
0.00	29.90	21.00	18.40	17.40	17.40	13.20	11.30	7.80	6.70
3.60	29.90	21.00	18.40	17.40	17.40	13.20	11.30	7.80	6.70
3.80	25.10	18.40	15.90	14.90	14.90	11.30	9.50	6.70	5.70
4.20	5.20	3.60	3.10	2.95	3.00	2.20	1.90	1.24	0.90
6.00	3.90	2.70	2.40	2.20	2.60	1.90	1.60	0.90	0.60
8.00	2.90	2.10	1.80	1.70	2.10	1.60	1.30	0.60	0.40
10.00	2.20	1.50	1.30	1.10	1.80	1.30	0.90	0.40	0.30
12.00	1.60	0.90	0.60	0.60	1.50	0.90	0.60	0.30	0.20
SE PT 21 maska	(Pout_max = 39-50 dBW)				(Pout_max = 9-29 dBW)				

Tabela 6.12  $h_{eff} = 150m$ , dystanse w km

Częstotliwość (MHz)	DVB-T e.r.p								
	100kW	20kW	10kW	8kW	8kW	2kW	1kW	0.2kW	0.1kW
0.00	42.60	29.90	26.10	25.10	25.10	18.90	16.00	11.20	9.50
3.60	42.60	29.90	26.10	25.10	25.10	18.90	16.00	11.20	9.50
3.80	36.80	26.10	23.10	22.00	22.00	15.90	13.70	9.50	8.10
4.20	7.40	5.20	4.40	4.20	4.20	3.10	2.70	1.20	0.90
6.00	5.60	3.90	3.30	3.20	3.60	2.70	2.00	0.90	0.60
8.00	4.20	2.90	2.50	2.20	3.10	1.90	1.30	0.60	0.40
10.00	3.10	1.80	1.30	1.10	2.60	1.30	0.90	0.40	0.30
12.00	1.90	0.90	0.60	0.60	1.70	0.90	0.60	0.30	0.20
SE PT 21 maska	(Pout_max = 39-50 dBW)				(Pout_max = 9-29 dBW)				

Tabela 6.13  $h_{eff} = 300m$ , dystanse w km

## 6.2 Zakłócenia od łączy fonicznych i łączy OB do DVB-T

### 6.2.1 Parametry łączy fonicznych

Jako źródło sygnału łączy fonicznego użyto generatora FM o następujących charakterystykach:

Sygnal nadawczy: 1 kHz sinusoidalny  
 Modulacja: FM, dewiacja 2,5 kHz; pomiary UK  
 Fala ciągła; pomiary Niemcy

#### Parametry DVB-T

Odbiornik DVB-T: Profesjonalny (NDS system 3000)  
 Pomiary UK:  
 Użyteczny poziom RF DVB-T: Tryby pracy DVB-T  
 -52.0 dBm: 2k, 16 QAM, FEC 3/4, odstęp ochronny 1/32 (pomiar 2)

Pomiary Niemcy:  
 Użyteczny poziom RF DVB-T: Tryby pracy DVB-T  
 -66.0 dBm: 2k, QPSK, FEC 2/3  
 2k, 16 QAM, FEC 1/2  
 2k, 16 QAM, FEC 2/3  
 2k, 64 QAM, FEC 1/2  
 2k, 64 QAM, FEC 2/3

Sygnal I/P: MPEG-2  
 Kryterium odporności: BER = 2E-4 po dekodерze Viterbi'ego

### 6.2.2 Obliczenia i wybór scenariuszy zakłóceń

Wyniki pomiarów współczynników ochronnych

Offset częstotliwości	Współczynniki ochronne		
	Wyniki pomiarów UK		Wyniki pomiarów niemieckich
	Użyteczny poziom RF DVB-T <b>-52 dBm</b> Modulacja 2k, 4 QAM, FEC 3/4	Użyteczny poziom RF DVB-T <b>-52 dBm</b> Modulacja 2k, 16 QAM, FEC 3/4	Użyteczny poziom RF DVB-T <b>-66 dBm</b> Modulacja 2k, QPSK, FEC 2/3 2k, 16 QAM, FEC 1/2 lub 2/3 2k, 64 QAM, FEC 1/2 lub 2/3
0	-10.0	-3.0	-7 to -9 (*)
± 2	-9.0	-3.0	--
± 3.8	-15.0	-13.0	--
± 4.5	-41.0	-39.0	--
± 6.0	< -56.0	-47.0	--
± 7.0	< -56.0	-50.0	--
± 8.0	< -56.0	-53.0	--

Tabela 6.14: Wyniki pomiarów współczynników ochronnych DVB-T

(\*): Zależnie od trybu DVB (FEC 2/3 dla 2k QPSK, FEC 1/2 i 2/3 dla 2k16 QAM i 2k 64QAM).

--: mierzono wyłącznie wspólnokanałowe współczynniki ochronne.

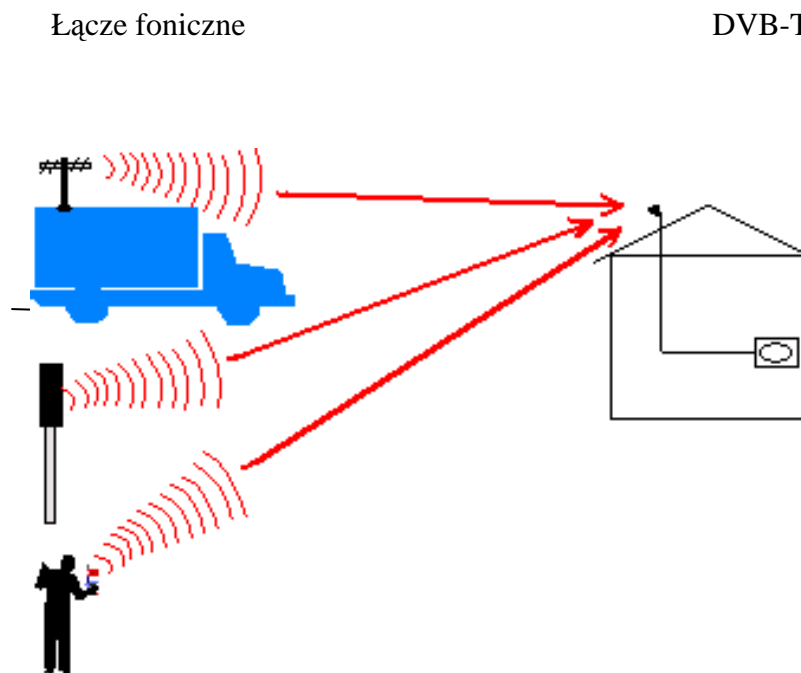
Ponieważ pomiary wykonywano dla odbiorników profesjonalnych, wyniki mogą być inne dla odbiorników powszechnego użytku, które będą stosowane w przyszłości.

Wszystkie dalsze obliczenia bazują na wynikach umieszczonych w 2 kolumnie tabeli 6.14, dla modulacji 16 QAM i FEC=3/4 i systemie 2k. Kolumna ta prezentuje najsłabsze wyniki pozwalające na najbezpieczniejszą ocenę sytuacji.

Chociaż wariant 64QAM wymaga większych współczynników ochronnych, to jednak wymaga również wyższych poziomów sygnałów - stąd dopuszczalna wartość sygnału zakłócającego jest podobna jak w przypadku 16QAM. Stąd wyniki dalszej analizy można uznać za ważne dla wszystkich wariantów systemu DVB-T.

### 6.2.3 Opis scenariuszy zakłóceń

W praktyce może wystąpić wiele scenariuszy zakłóceń. W niniejszym rozważaniu przeanalizowano najbardziej krytyczny scenariusz, jakim jest stacjonarny odbiór sygnału DVB-T (rys. 6.9).



Rysunek 6.9. Stacjonarny odbiór DVB-T i łącze foniczne umieszczony na zewnątrz budynku

Niektóre z innych możliwych scenariuszy:

- przenośny odbiór DVB-T i łącze foniczne pracujące na zewnątrz: wstępna analiza wykazała, że te warunki skutkują krótszymi odległościami separacyjnymi niż w przypadku odbioru stacjonarnego tzn., że zapewnienie poprawnego odbioru stacjonarnego gwarantuje poprawny odbiór przenośny.
- przenośny odbiór DVB-T i łącze foniczne pracujące wewnątrz (w tym samym pomieszczeniu): w przypadku interferencji możliwe jest wyłączenie jednego z urządzeń.
- przenośny odbiór DVB-T i łącze foniczne pracujące wewnątrz (w innym pomieszczeniu): sytuacja ta odpowiada sytuacji odbioru przenośnego DVB-T i pracy łącza fonicznego na zewnątrz.



- Odbiór stacjonarny DVB-T i łącze foniczne pracujące wewnątrz: sytuacja ta jest mniej krytyczna niż odbioru stacjonarnego i łącza fonicznego umieszczonego na zewnątrz ze względu na tłumienie budynków.

Maksymalna dopuszczalna wartość natężenia pola sygnału zakłócającego w miejscu odbioru sygnału DVB-T

Dla wybranego wariantu systemu DVB-T (2k, 16 QAM, FEC 3/4) wymagana wartość C/N dla BER = 2\*10<sup>-4</sup> po dekodzie Viterbi'ego wynosi 13 dB dla odbioru stacjonarnego (kanał Rice'a). Dla tej wartości C/N dodając margines implementacyjny 3 dB otrzymuje się wartość 16 dB, dla której można określić minimalną wymaganą wartość natężenia pola. W pasmach IV i V.

Minimalna ekwiwalentna wartość natężenia pola (E <sub>med</sub> ) dla DVB-T na 10 m. 50% czasu 50% miejsc	Pasma IV (f = 500 MHz)	Pasma V (f = 800 MHz)
odbiór stacjonarny	49 dB(μV/m)	53 dB(μV/m)

Tabela 6.15: DVB-T Minimalna ekwiwalentna wartość natężenia pola (odpowiadająca pokryciu 95 %)

Maksymalna wartość dopuszczalnych zakłóceń w punkcie odbioru DVB-T, E<sub>max\_int</sub>, może zostać wyznaczona następująco;

$$E_{\max\_int} = E_{\text{med}} - C/I - Lc$$

gdzie

E<sub>med</sub> Minimalna ekwiwalentna wartość natężenia pola z Tabeli 6.15

C/I zmierzona wartość współczynnika ochronnego z Tabeli 6.14

Lc współczynnik korekcyjny z Tabeli 6.16

– Współczynnik korekcji miejsc (wartości podano w Tabeli 6.16).

Różne wartości współczynnika korekcyjnego muszą zostać uwzględnione odpowiednio dla krótkich jak i długich tras. Związane jest to z faktem, iż dewiacja standardowa "τ" zależy od odległości, zwłaszcza dla sygnału zakłócającego. Sposób obliczeń współczynnika korekcyjnego podano poniżej:

Długie dystanse (> 100m):

$$Lc = \mu * \sqrt{(\tau_{DVB-T})^2 + (\tau_{micro})^2} = 1.64 * \sqrt{(5.5)^2 + (5.5)^2} \approx 13dB$$

Krótkie dystanse (≤ 100m):

$$Lc = \mu * \sqrt{(\tau_{DVB-T})^2 + (\tau_{micro})^2} = 1.64 * \sqrt{(5.5)^2 + (0)^2} \approx 9dB$$

μ: współczynnik dystrybucji

τ<sub>DVB-T</sub> i τ<sub>micro</sub>: dewiacje standardowe sygnału DVB-T i łącza fonicznego

– Przy dłuższych dystansach dewiacja standardowa wynosi 5.5 dla obu sygnałów podczas gdy dla krótkich odległości dewiacja standardowa sygnału łącza fonicznego wynosi 0 dB.

:

	Współczynnik korekcyjny dB	
	Krótkie odległości	Długie odległości
Stacjonarny odbiór DVB-T	9	13

Tabela 6.16: Współczynnik korekcyjny

Warunki odbioru DVB-T: Stacjonarny,  $E_{med} = 49 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$

Offset częstotliwości	Maksymalne dopuszczalne natężenie pola sygnału zakłócającego $\text{dB}(\mu\text{V/m})$	
	Krótkie odległości ( $\leq 100 \text{ m}$ )	Długie odległości ( $> 100 \text{ m}$ )
0	43	39
$\pm 2.0$	43	39
$\pm 3.8$	53	49
$\pm 4.5$	79	75
$\pm 6.0$	87	83
$\pm 7.0$	90	86
$\pm 8.0$	93	89

Tabela 6.17: Pasma IV

Warunki odbioru DVB-T: Stacjonarny,  $E_{med} = 53 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$

Offset częstotliwości	Maksymalne dopuszczalne natężenie pola sygnału zakłócającego $\text{dB}(\mu\text{V/m})$	
	Krótkie odległości ( $\leq 100 \text{ m}$ )	Długie odległości ( $> 100 \text{ m}$ )
0	47	43
$\pm 2.0$	47	43
$\pm 3.8$	57	53
$\pm 4.5$	83	79
$\pm 6.0$	91	87
$\pm 7.0$	94	90
$\pm 8.0$	97	93

Tabela 6.18: Pasma V

Uwaga:

Wartości podano dla 500 MHz (Pasma IV) i 800 MHz (Pasma V). Wartości dla innych częstotliwości mogą zostać uzyskane po zastosowaniu współczynnika korekcyjnego,

$$20 \log Fr/Fx \text{ dB},$$

gdzie  $F_r$  jest częstotliwością odbioru a  $F_x$  jest częstotliwością odniesienia w paśmie (500MHz albo 800MHz).

### 6.2.3.1.1 Obliczenia mocy promieniowanej przez łącza foniczne

Łącza foniczne mogą pracować jako nadajniki trzymane w rękę bądź przymocowane do ciała bądź też umieszczone na wozie transmisyjnym.

W pierwszym przypadku wystąpi tłumienie sygnału przez ciało człowieka.. Odpowiednie wartości mocy będą więc następujące.

	Nadajnik na pojeździe	Nadajnik stacjonarny	Nadajnik doręczny
Efektywna moc promieniowana	42 dBm (15W)	37 dBm (5W)	30 dBm (1W)
Zysk anteny	0 dBd	0 dBd	-6 dBd*
Wysokość anteny	5 m	5 m	1.5 m
Efektywna moc promieniowana do analiz kompatybilności	<b>42 dBm</b>	<b>37 dBm</b>	<b>24 dBm</b>

Wartość -6 dBd odpowiada sumie zysku antenowego i tłumienia wprowadzonego przez ciało człowieka

Tabela 6.19: Moc promieniowana dla rozważań kompatybilności

## 6.2.4 Ustalenie modelu propagacyjnego

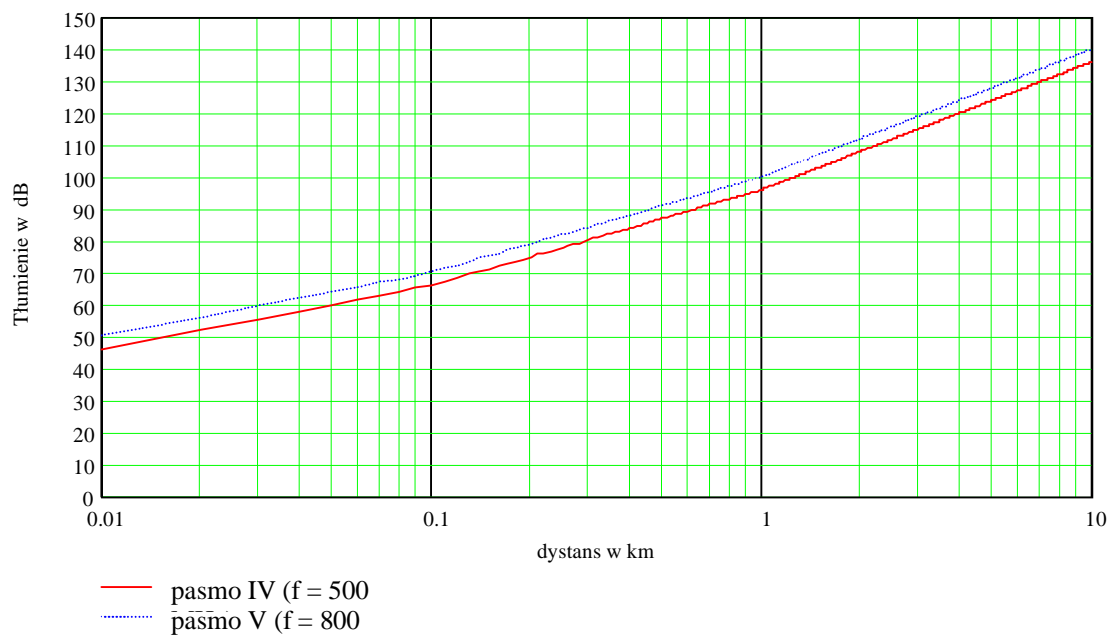
Model propagacyjny dla sygnałów pochodzących z łączy fonicznych i łączy OB zakłócających odbiór DVB-T jest następujący.

Dla odległości < 100 m. - propagacja w wolnej przestrzeni.

Dla odległości między 100 m i 1 km tłumienie trasy zasadniczo jest większe niż w przypadku wolnej przestrzeni. Dlatego założono tłumienie 30 dB na dekadę.

Dla odległości większych niż 1 km założono tłumienie 40 dB na dekadę.

Model propagacyjny pokazano na rysunku 6.10.



Rysunek 6.10: Model propagacyjny

## 6.3 Wyniki analizy

Wymagana odległość separacyjna między łączem fonicznym a odbiornikiem DVB-T została pokazana na rysunku 6.11. Rysunek pokazuje wyniki dla pasma IV i V. Wartości zostały obliczone wykorzystując ustalony model propagacyjny i ustalone wartości dopuszczalne natężenia pola sygnału zakłócającego.

Dla ułatwienia na rysunku pojedyncza krzywa obejmuje przypadek krótkich i długich dystansów.

Interpretacja rysunku jest następująca:

Oś x podaje 2 parametry - odległość separacyjną w częstotliwości w MHz i odległość separacyjną w km.

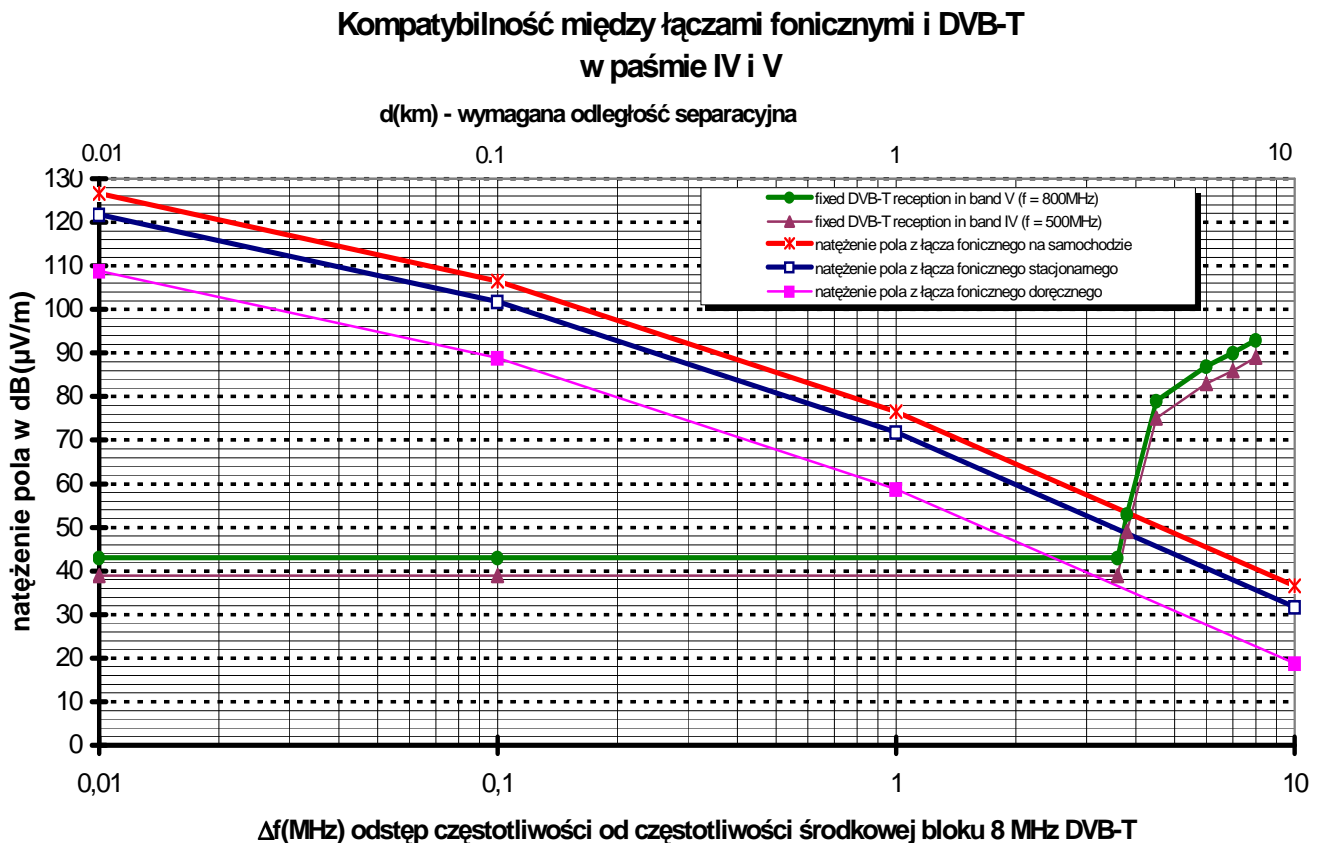
Oś y pokazuje maksymalną dopuszczalną wartość natężenia pola dla odbiornika DVB-T jako funkcję odległości w częstotliwości oraz pole sygnału zakłócającego z łącza fonicznego w funkcji odległości.

Na przykład dla punktu 6 MHz można podać odpowiednie wartości:

Na osi x odczytujemy dla wartości 6MHz maksymalne dopuszczalne natężenie pola sygnału zakłócającego Odpowiada ono w paśmie V wartości 87 dB( $\mu$ V/m).

W drugim kroku odczytujemy wymaganą odległość separacyjną w km. Wartość natężenia pola 87 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ ) jest uzyskana z łącza fonicznego na odległości 150 m. Tak więc w tym przypadku wymagana odległość separacyjna wynosi 150 m. W przypadku wykorzystywania łącza fonicznych na samochodzie wymagana odległość separacyjna, zgodnie z rysunkiem, wzrosłaby do 400m.

Można również, na podstawie podanego wykresu, określić wymaganą różnicę częstotliwości dla osiągnięcia wymaganego dystansu separacyjnego.



Rysunek 6.11: Graficzna ilustracja wyników analizy kompatybilności dla łącza fonicznych

Wymagane odległości separacyjne podano w Tabeli 6.20

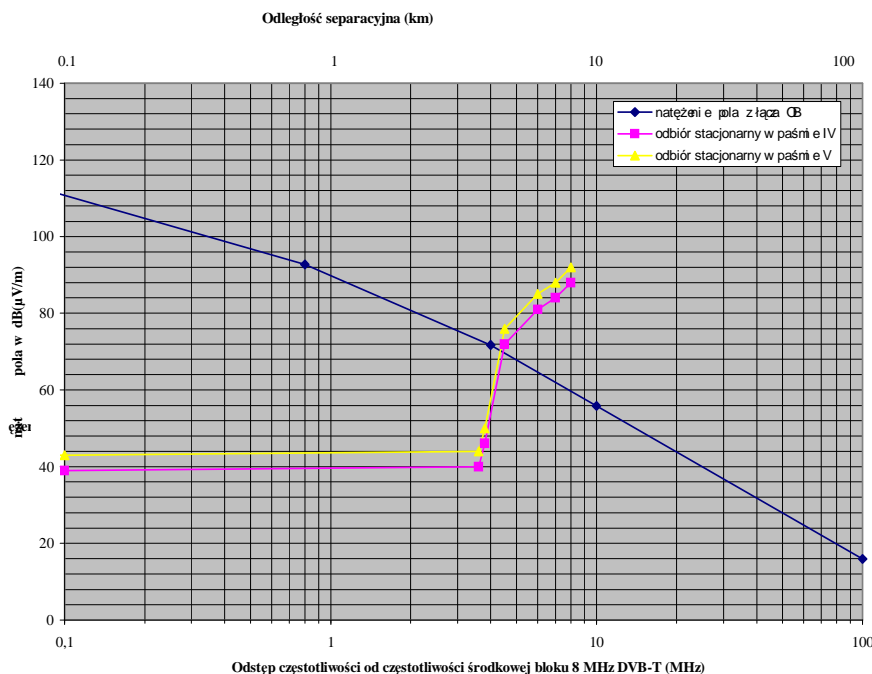
Offset częstotliwości MHz	Wymagana odległość separacyjna dla łącza fonicznego w [km] pasmo V		
	Nadajnik na samochodzie	Nadajnik stacjonarny	Nadajnik doręczny
0	7.0	5.0	2.3
± 2	7.0	5.0	2.3
± 3.8	3.7	2.9	1.3
± 4.5	0.82	0.58	0.21
± 6.0	0.43	0.31	0.12
± 7.0	0.35	0.23	0.06
± 8.0	0.26	0.18	0.04

Tabela 6.20: Odległości separacyjne w km między odbiornikiem DVB –T i łącza fonicznego

W przypadku łączy poza radiodfuzyjnych graficzna postać wyników analizy kompatybilności pokazana jest na rys. 6.12. Tabelaryczna postać wyników podana jest w tabeli 6.21.

Offset częstotliwości MHz	Wymagana odległość separacyjna dla łącza fonicznego w [km]	
	Pasmo IV	Pasmo V
0	25	20
± 2	25	20
± 3.8	18	15
± 4.5	4	3
± 6.0	2	1.7
± 7.0	1.7	1.2
± 8.0	1.2	0.8

Tabela 6.21: Odległości separacyjne w km między odbiornikiem DVB –T i łączem OB



Rys. 6.12. Graficzna ilustracja wyników analizy kompatybilności dla łącz OB

## 6.4 Interpretacja wyników

Scenariusz ze stacjonarnym odbiorem DVB-T i łączem fonicznym umieszczonym na zewnątrz budynków reprezentuje najgorszy przypadek. Podczas pracy wspólnokanałowej wymagana jest odległość separacyjna rzędu 2.3 – 8.5 km. Dystans ten zależy od pasma częstotliwości i od typu łącza fonicznego. W praktyce tak duża wymagana odległość separacyjna jest nie do zaakceptowania. Stąd w większości przypadków praca wspólnokanałowa DVB-T i łącza fonicznego jest niemożliwa.

W większości przypadków praca sąsiedniokanałowa, oprócz pierwszych 500 kHz, jest możliwa ze względu na odległości separacyjne od ok. 60 m do 1.1 km.

W przypadku pracy łącz fonicznych wewnątrz budynków współistnienie DVB-T i łącz fonicznych będzie zależać od tłumienia budynków i od odległości do najbliższego odbiornika DVB-T. Odnosi się to do przypadków teatrów i podobnych miejsc, gdzie możliwe jest skoordynowanie pracy łącz fonicznych z nadawcami DVB-T.

## 6.5 Wnioski

Aby zapewnić kompatybilną pracę DVB-T i łącz fonicznych oraz łącz poza radiodifuzyjnych należy sprawdzić zapewnienie wymaganych odległości separacyjnych. Jeżeli są one zapewnione, praca obu systemów odbywać się będzie bez zakłóceń.

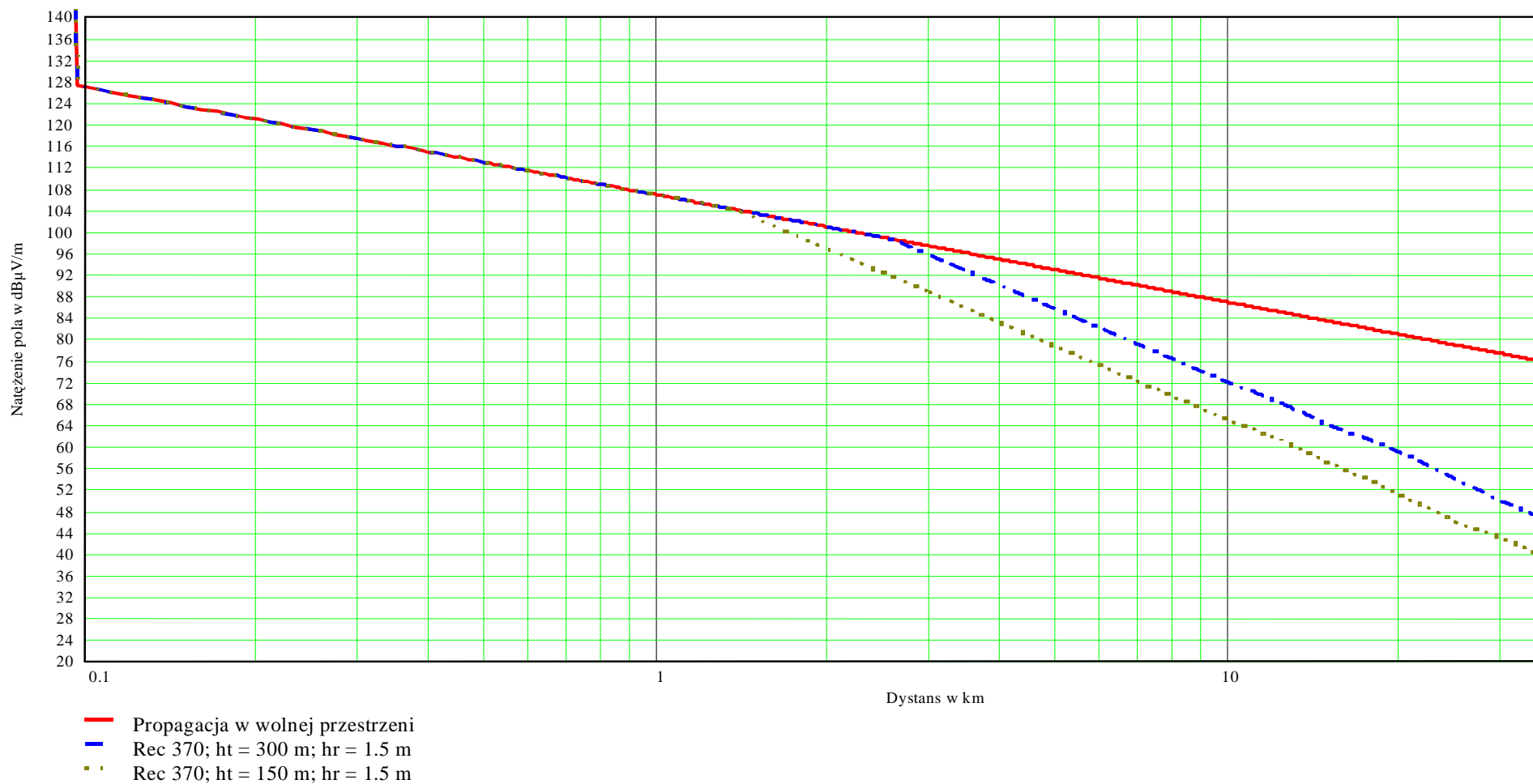
- W większości przypadków wspólnokanałowa praca DVB-T i łącz fonicznych oraz łącz OB w obszarze pokrycia DVB-T spowoduje niedopuszczalne zakłócenia. Jednak praca łącz fonicznych i łącz OB wewnątrz budynków o dużym tłumieniu ścian np. teatrów może być możliwa w zależności od tłumienia ścian i odległości od najbliższego odbiornika DVB-T. Takie przypadki mogą być analizowane indywidualnie.
- Praca łącz fonicznych i łącz OB w 1 kanale sąsiednim DVB-T, (offset częstotliwości od 4 do 12 MHz) poza pierwszymi 500 kHz tego kanału, będzie możliwa w wielu przypadkach zależnie od warunków lokalnych.
- W praktyce użycie 2 kanału sąsiedniego przez łącza foniczne i łącza OB (offset częstotliwości od 12 do 20 MHz) będzie możliwe w większości przypadków. Odnosi się to zarówno dla pracy łącz fonicznych i wewnątrz jak i na zewnątrz budynków.

Wnioski te opierają się na analizie wykorzystującej maskę widma z Chester. Użycie mniej wymagających masek, takich jak zaadoptowane maski przez SE PT 21 spowodują znaczne zwiększenie wymaganych odległości separacyjnych w przypadku transmisji sąsiedniokanałowych

Wszystkie wnioski i analizy ważne są dla odbiorników profesjonalnych DVB-T. Ponieważ nie jest znana odporność odbiorników powszechnego użytku, w ich przypadku mogą zmienić się wartości wymaganych odległości separacyjnych. Zmiany te nie powinny jednak być zbyt wielkie.



Rys. 6.12. Krzywa propagacyjna ITU-R P.370-7 (1% czasu, 50% miejsc)  
 Krzywa ekstrapolowana dla odległości < 10 km do krzywej propagacyjnej wolnej przestrzeni  
 DVB-T ERP = 1kW; Współczynnik korekcyjny= 12 dB



**ht** = wysokość efektywna nadajnika DVB-T; **hr** = wysokość efektywna odbiornika (łącza fonicznego)

## 7. Kompatybilność DVB-T z systemem IS-95

W Polsce kanał 65 telewizji przeznaczono do wykorzystania na potrzeby systemu dostępowego w standardzie IS-95 przeznaczonego do celów realizacji łączności telefonicznej w obszarach wiejskich. Standard IS-95 jest de facto amerykańskim standardem telefonii komórkowej, który u nas jest wykorzystywany w służbie stałej. Za jego pomocą realizowana jest radiowa pętla abonencka w systemie punkt - wielopunkt. Ponieważ kanały 61-69 będą wykorzystywane w Europie do celów tworzenia sieci DVB-T należało opracować kryteria kompatybilnościowe. Poza Polską i Czechami, żaden europejski kraj nie wykorzystuje łączności w tym paśmie za pomocą standardu IS-95, tak więc wszelkie analizy i badania będą musiały zostać przeprowadzone w kraju. Pierwsza część prac dotycząca kompatybilności systemu DVB-T z IS-95 zaprezentowana została w Sprawozdaniu z pracy statutowej w roku 1999 [8]. Przedstawiono tam analizę kompatybilności DVB-T i IS-95 przy założeniu pracy w tym samym kanale (zakłócenia współkanałowe). W obecnym etapie analizę tą rozszerzono o zakłócenia sąsiedniokanałowe.

### 7.1 Opis systemu do celów analizy

W systemie IS-95 wykorzystywany jest dostęp kodowy (CDMA) zrealizowany w technice spread spectrum. Każdy kanał systemu zajmuje pasmo 1.23MHz i umożliwia realizację przepływności 1.2288Mbit/s w której zawarte są 62 kanały rozmówne i 32 kanały dostępu. W praktyce wykorzystuje się mniejszą liczbę kanałów ze względu na występujące zakłócenia. W Polsce przewiduje się wykorzystanie kanału 65 do realizacji łącza "w górę" czyli od abonenta do centrali. W standardzie IS-95 w kanale tym transmisja realizowana jest w 4 kanałach 1.23MHz w zakresie 822-830MHz.

#### 7.1.1 Dane systemu IS-95

Częstotliwość pracy:	822 – 830MHz
Szerokość pasma 1 kanału:	1,2288MHz
Maksymalna moc promieniowana stacji abonenckiej:	8dBW (6.3W)
Współczynnik szumów odbiorczej stacji bazowej:	4-5dB
Współczynnik Eb/No odbiorczej stacji bazowej:	3-5dB
Maksymalna przepływność kanału R:	9600-14400bit/s
Typowy zysk anteny odbiorczej Gr:	15dB
Straty doprowadzeń Ls:	4dB

### 7.2 Analiza systemu do celów kompatybilności

#### 7.2.1 Analiza zakłóceń wnoszonych do IS-95

Wyznaczenie minimalnej czułości odbiorczej stacji bazowej:

$$S=N+kT + 10\log[R(Eb/No)] = 4-174+42,83 = -127,17\text{dBm}$$

Wyznaczenie wymaganego minimalnego użytecznego poziomu mocy sygnału na wejściu anteny:

$$P_{\min} = S + G_r - L_s = -127,17 + 15 - 4 = -116,17$$

$$E_{\min} [\text{dB}\mu\text{V/m}] = -116,17 + 58,30 + 77,2 = 19,33 \text{ dB}\mu\text{V/m} \text{ (dla } f=822\text{MHz)}$$

W systemie CDMA zakłada się współczynnik C/I na poziomie 10dB. Zakładając ochronę minimalnego poziomu użytecznego dla stacji bazowej, oraz wykorzystanie wartości C/I = 10dB, prowadzi to do wartości dopuszczalnej natężenia pola sygnału zakłócającego DVB-T na poziomie 9.3 dBμV/m. Jest to bardzo restrykcyjna wartość uniemożliwiająca współistnienie DVB-T i CDMA na tym samym obszarze oraz wymaga stosowania bardzo dużych odległości separacyjnych między nadajnikami DVB-T i stacjami bazowymi IS-95: rzędu 230km dla nadajnika DVB-T o mocy 1kW (przy uwzględnieniu dopuszczalnych zakłóceń w 1% czasu i wysokości skutecznej nadajnika 150m). Dlatego konieczne jest uszczegółowienie danych systemu IS-95 i warunków kompatybilności. Do celów koordynacji międzynarodowej podane wartości mogą być używane ze względu na bezpieczeństwo jakie gwarantują, jednak do celów krajowych powinno się te kryteria uszczegółowić.

W przypadku zakłóceń sąsiedniokanałowych należy opracować krzywą współczynników ochronnych uzależnioną od odstrojenia częstotliwości środkowej DVB-T od częstotliwości środkowej IS-95. W tym celu należy wykorzystać maskę widma sygnału DVB-T. Maskę ta, opracowana w czasie Konferencji w Chester jest następująca:

	Maska Chester	
	Przypadek niekrytyczny	Przypadek wrażliwy
Częstotliwość względna MHz	Poziom względny dB	Poziom względny dB
-12.0	-110.0	-120.0
-6.0	-85.0	-95.0
-4.2	-73.0	-83.0
-3.9	-32.8	-32.8
+3.9	-32.8	-32.8
+4.2	-73.0	-83.0
+6.0	-85.0	-95.0
+12.0	-110	-120.0

Poziomy odnoszone są do 4kHz pasma. Korzystając z wartości podanych w tabeli, oraz zakładając wspólnokanałowy współczynnik ochronny dla IS-95 względem DVB-T równy 2dB

$$PR = C/I - 10\log(7,81\text{MHz}/1,2288\text{MHz}) = 10\text{dB} - 8\text{dB} = 2\text{dB}$$

można przedstawić charakterystykę współczynnika ochronnego w następujący sposób:

Współczynnik ochronny IS-95 zakłócany przez DVB-T [dB]		
	Przypadek niekrytyczny	Przypadek wrażliwy
Częstotliwość względna MHz	Poziom względny dB	Poziom względny dB
-12.0	-75,2	-85,2
-6.0	-50,2	-60,2
-4.2	-38,2	-48,2
-3.8	2	2
+3.8	2	2
+4.2	-38,2	-48,2
+6.0	-50,2	-60,2
+12.0	-75,2	-85,2

Minimalne użyteczne natężenie pola dla IS-95 w paśmie 822-830MHz jest wartością

$$E_{\min} [\text{dB}\mu\text{V/m}] = P[\text{dBm}] + 20\log f[\text{MHz}] + 77,2$$

gdzie P – moc na wejściu odbiornika IS-95 (wyznaczona w poprzednim etapie pracy), równa -116,17dBm. Dla  $f=830\text{MHz}$ :  $E_{\min} [\text{dB}\mu\text{V/m}] = 19,4$

Analizując wpływ zakłóceń od kanałów sąsiednich DVB-T można dostrzec, że chroniona wartość natężenia pola dla skrajnych kanałów IS-95 nie będzie przekraczać wartości 57,6 dB $\mu\text{V/m}$  w przypadkach niekrytycznych i 67,6 dB $\mu\text{V/m}$  w przypadkach krytycznych (tzn. np. podczas koordynacji międzynarodowej). Oznacza to dość dobre warunki dla wprowadzania DVB-T w kanałach sąsiednich. Np. nadajnik DVB-T o dużej mocy, np. 50kW można uruchomić w kanale sąsiednim do IS-95 w odległości 34km od stacji bazowej IS-95 (zakładając spełnienie wymaganych masek widma zgodnych z porozumieniem w Chester). Ponieważ stacje bazowe są zlokalizowane w kilku znanych miejscach nie powinno być też problemy z uruchomieniem stacji DVB-T bliżej, wykorzystując odpowiednie wytłumienia charakterystyki promieniowania nadajnika DVB-T lub stosując nadajniki o mniejszych mocach pracujących w sieci SFN.

## 7.2.2 Analiza zakłóceń wnoszonych do DVB-T przez terminale IS-95.

W poprzednim etapie pracy określono wspólnokanałowy współczynnik ochronny dla DVB-T zakłócanego przez IS-95 na 30,14dB, zaś chronioną wartość natężenia pola sygnału DVB-T na poziomie 60,28 dB $\mu\text{V/m}$ .

Moc promieniowana przez terminale IS-95 do kanałów sąsiednich będzie zależeć od konkretnego terminala. Wytłumienie sygnałów pozapasmowych przez odbiornik DVB-T również będzie zależeć od konkretnego odbiornika, choć należy przypuszczać, że minimalna wartość tego wytłumienia będzie znormalizowana w normie CENELEC. Podczas Konferencji w Chester ze względu na brak danych przyjęto wartość współczynnika ochronnego dla DVB-T zakłócanego od kanałów sąsiednich na -40dB. Przyjmując tą wartość w niniejszej analizie otrzymamy chronioną wartość natężenia pola w kanale sąsiednim równą  $60,28 - 30,14 - (-40) = 70,13$  dB $\mu\text{V/m}$ . Wartość ta, przy maksymalnej mocy terminali IS-95 8dBW i przy założeniu wysokości skutecznej nadajnika IS-95 równej 50m, oznacza odległość separacyjną w kanale sąsiednim równą:

$d_{sep} = 8\text{km}$

Oznacza to, że nadajnik IS-95 praktycznie nie zakłóca odbiornika DVB-T odbierającego sygnał w kabale sąsiednim. Jeżeli odbiornik DVB-T jest odbiornikiem stacjonarnym wyposażonym w antenę kierunkową i kierunki nadchodzenia sygnałów DVB-T i IS-95 są różne powstaje dodatkowy pozytywny wpływ charakterystyki anteny skutkujący dalszym zmniejszeniem zakłóceń.

### **7.3 Wnioski**

Na podstawie przeprowadzonych analiz zakłóceń między DVB-T i IS-95 pracujących w kanałach sąsiednich można pozytywnie ocenić możliwości ich sąsiedniokanałowej pracy. Warunkiem tego jest jednak stosowanie międzynarodowo ustalonych masek widma sygnałów. W przypadku chęci zmniejszenia kosztów nadajników DVB-T poprzez zastosowanie łagodniejszych (a więc tańszych) filtrów problem pracy sąsiedniokanałowej może stać się znaczący. Ponieważ jednak w chwili obecnej kanałów sąsiednich (64 i 66) nie planuje się w Polsce wykorzystywać dla DVB-T nie zachodzi potrzeba prowadzenia bardziej szczegółowych analiz. O ile bowiem w kanale 64 i 66 można by uruchamiać nadajniki DVB-T nie powodując zakłóceń do systemu IS-95 to jednak spowodowałyby one powstanie niedopuszczalnych zakłóceń do systemów wojskowych pracujących w kanałach 61-63 i 66-69. Z tego względu wykorzystanie kanałów powyżej 60 jest ograniczone głównie przez systemy wojskowe.

## **8. Problematyka zakłóceń wnoszonych do DVB-T**

W chwili obecnej występuje specyficzna sytuacja dotycząca zakłóceń wnoszonych do systemu DVB-T. Wszystkie pomiary współczynników ochronnych wykonywane są przy użyciu odbiorników profesjonalnych DVB-T wykonywanych na specjalne zamówienia. Odbiorników tych jest niewiele, zwłaszcza odbiorników pracujących w trybie 8k, których w Europie jest po prostu kilka. Pojawia się więc pytanie na ile adekwatne są obecne pomiary i na ile ich wyniki będzie można stosować w przyszłości, gdy pojawią się pierwsze komercyjne odbiorniki DVB-T? Panuje obecnie przekonanie, że przyszłe odbiorniki konsumenckie będą na tyle dobre, że ich odporność na zakłócenia będzie przynajmniej taka jak współczesnych odbiorników profesjonalnych. Oznaczać to będzie, że każdy odbiornik konsumencki będzie w przyszłości spełniał warunki zdefiniowane przez współczynniki ochronne, a być może będzie nawet bardziej odporny na zakłócenia niż współczesne odbiorniki profesjonalne co tylko poprawi jakość odbioru TV cyfrowej. Rodzi się w tym momencie pytanie - czy na pewno wszystkie przyszłe odbiorniki DVB-T spełnią kryteria ochronne definiowane dzisiaj?

Aktualne wartości współczynników ochronnych podawane są np. przy założeniu, że współczynnik szumów odbiornika DVB-T wyniesie 7dB. Tymczasem producenci odbiorników zrzeszeni w EACEM (Europejska organizacja zrzeszająca producentów elektroniki konsumpcyjnej) postulują znormalizowanie współczynnika szumów odbiornika DVB-T na poziomie 10dB. Może to spowodować, że odbiorniki konsumenckie będą odznaczały się gorszymi charakterystykami szumowymi niż odbiorniki, dla których wyznaczano współczynniki ochronne. Wskutek tego, mimo zastosowania odpowiednich metod planowania, może okazać się, że rzeczywiste odbiorniki nie będą mogły poradzić sobie z dopuszczalnymi zakłóceniami i rzeczywisty zasięg sieci DVB-T będzie mniejszy niż wynika z analiz teoretycznych.

Problem standardów międzynarodowych w dziedzinie telewizji cyfrowej jest niezwykle złożony. W chwili obecnej nie ma standardu europejskiego dotyczącego wymaganych parametrów odbiornika DVB-T. Nie ma więc uzgodnionych ani standardowych

poziomów odporności odbiorników, ani kryteriów szumowych. Pozostaje czekać, aż odpowiednie grupy międzynarodowe w ramach EACEM, CENELEC, EBU i ITU wypracują wspólne stanowisko odnośnie minimalnych wymagań dla odbiorników konsumenckich DVB-T.

Zanim to jednak nastąpi konieczne jest wykonanie analizy zakłóceń do systemu DVB-T po to aby ocenić potencjalne zakłócenia. Podczas Konferencji w Chester przyjęto pewne założenia i uproszczenia pozwalające na wyznaczanie współczynników ochronnych dla zakłóceń wnoszonych do DVB-T, jeśli nie są znane wyniki pomiarów. Stosowane tam jednak założenia stanowią duże uproszczenie i w przyszłości będą musiały być weryfikowane. Obecnie weryfikację współczynników ochronnych wykonuje się za pomocą stosownych pomiarów. W sytuacji jednak, gdy przeprowadzenie tych pomiarów oznacza znaczne poniesienie znacznych kosztów przydatna byłaby metoda analityczna pozwalająca na poprawne analizowanie zakłóceń wnoszonych do DVB-T, tzn. taka, której wyniki nie odbiegałyby znacznie od wyników pomiarów. W pracy niniejszej rozpoczęto prace mające na celu stworzenie modeli pozwalających na wyznaczanie odporności odbiorników DVB-T (o dowolnych parametrach) na dowolne sygnały zakłócające. W pierwszym etapie określono kryteria odporności oraz zdefiniowano podstawowe parametry modelu odbiornika DVB-T.

### **8.1 Kryteria kompatybilności**

W celu przeprowadzenia pomiarów kompatybilności międzysystemowej a także wykonania odpowiednich analiz konieczne jest ustalenie kryteriów kompatybilności. W przypadku naziemnej telewizji cyfrowej proponowane są różne podejścia w celu określenia odporności odbiorników DVB-T na zakłócające sygnały wspólny- i sąsiedniokanałowe. Poniżej przedstawiono opisy poszczególnych wariantów wraz z zaznaczeniem odpowiednich różnic.

Pierwszym chronologicznie kryterium odporności systemu DVB-T na zakłócenia była elementowa stopa błędów BER mierzona przed dekoderm RS (*Reed-Solomon*) (po dekodrze wewnętrznym a przed dekoderm zewnętrznym) wynosząca  $2 \times 10^{-4}$  lub odpowiadająca jej elementowa stopa błędów BER na wejściu dekodera MPEG-2 wynosząca  $10^{-11}$ . W przypadku wystąpienia BER większego niż  $2 \times 10^{-4}$  przed dekoderm RS zakłócenia wnoszone do DVB-T były niedopuszczalne. Zakłócenia dopuszczalne generowały BER na poziomie niższym. Posługując się wartością BER przed dekoderm RS wyznaczone były teoretyczne wartości minimalnego stosunku sygnał/szum (C/N) dla poszczególnych wariantów systemu DVB-T oraz przeprowadzane były pomiary współczynników ochronnych, które zostały zatwierdzone na Konferencji w Chester w 1997 roku. Zdefiniowana wartość BER na poziomie  $2 \times 10^{-4}$  pozwalała też wykonywać odpowiednie analizy teoretyczne pozwalające na określeniu warunków kompatybilności międzysystemowej bez konieczności przeprowadzania pomiarów. Metoda ta jest dobrym kryterium w przypadku analiz teoretycznych i symulacyjnych oraz w przypadku robienia pomiarów przy użyciu odbiorników posiadających odpowiednie wyjścia pomiarowe.

Ponieważ większość odbiorników powszechnego użytku nie będzie posiadać wyjścia pomiarowego przed dekoderm RS, w przyszłości niemożliwe byłoby ustalanie dla nich poziomu ochronnego. W związku z tym przedstawiciele IRT zaproponowali stosowanie metody Flag Błędów (*Error Flag Method*) przy pomiarach odporności na zakłócenia odbiorników domowych. Polega ona na liczeniu flag błędów generowanych przez dekoderm RS na wyjściu odbiornika, przed dekoderm MPEG-2. Stwierdzono, że dobremu odbiorowi

odpowiada brak błędów synchronizacji i maksymalnie 2 flagi błędów generowane przez dekodery RS w ciągu 20s. Kryterium to odpowiada poziomowi, przy którym brak jest widocznych zakłóceń obrazu telewizyjnego. Metoda ta jest w trakcie studiów i uzgodnień w ramach CEPT, ITU, EBU. Wstępne ustalenia wskazują, że różnice w wynikach pomiarów wykonywanych tą metodą oraz metodą stosowaną wcześniej dla odbiorników profesjonalnych (mierzenie BER przed dekodery RS) są mniejsze niż 1dB. Metoda ta stanowi próbę stworzenia obiektywnych kryteriów pomiarowych dla odbiorników powszechnego użytku. Ze względu na to, że obecnie prawie wyłącznie ma się do czynienia z odbiornikami profesjonalnymi, pozwalającymi na mierzenie BER przed dekodery RS, wykorzystanie tej metody do pomiarów współczynników ochronnych aktualnie mija się z celem.

Poza metodami obiektywnymi szeroko dyskutowane są obecnie metody subiektywne polegająca na obserwacji ekranu odbiornika i określaniu poziomów sygnałów, przy których na ekranie pojawiają się zakłócenia. Metoda ta generuje zbliżone wartości współczynników ochronnych jak metody pomiaru BER czy Flag Błędów. Jest to jednak metoda czasochłonna wymagająca przeprowadzenia serii testów przez różne osoby. Niemniej jest uznawana za najdokładniejszą i możliwą do zastosowania dla wszystkich rodzajów odbiorników. Dlatego podczas aktualnych prac Komisji Studiów ITU-R stała się zalecaną przez ITU metodą oceny kompatybilności systemu DVB-T.

Z punktu widzenia kryteriów kompatybilności stosowanych w ramach ITU czy CEPT wszystkie metody są równoważne, gdyż dają identyczne wartości poziomów zakłócających (co do 1dB). Dlatego w pracach można będzie opierać się na każdej z tych metod. Wybór konkretnej metody zależeć będzie od rodzaju analizy (teoretyczna, pomiarowa) oraz, w przypadku pomiarów, od dostępności przyrządów pomiarowych i rodzaju posiadanych odbiorników DVB-T.

W przypadku analizy teoretycznej najkorzystniejsze jest stosowanie kryterium polegającego na zapewnieniu elementowej stopy błędu BER na poziomie  $2 \times 10^{-4}$  po dekodery Viterbi'ego. Stosowna analiza musi zapewnić tę stopę błędu w trakcie zakłóceń z poziomem odpowiadającym dopuszczalnemu poziomowi zakłóceń.

## **8.2 Modelowanie odbiornika DVB-T**

Zasadniczym problemem przy określaniu odporności systemu DVB-T na zakłócenia pochodzące od innych służb jest właściwe zamodelowanie odbiornika DVB-T. Modelowanie to dotyczyć będzie problemów współużytkowania widma a więc będzie ograniczone do części radiowej odbiornika, co pozwoli na stosunkowo proste zdefiniowanie grupy parametrów decydujących o odporności systemu.

Do celów analizy kompatybilności należy podać takie dane odbiornika, które umożliwią wyznaczenie maksymalnej wartości natężenia pola elektrycznego, której przekroczenie może spowodować powstanie niedopuszczalnych zakłóceń. Głównym więc celem modelowania odbiornika powinna być taka metodologia, której celem jest przejście od typowych parametrów odbiornika, takich jak: czułość, współczynnik szumów, charakterystyka toru radiowego, parametry anteny do parametrów charakterystycznych dla kompatybilności międzysystemowej: chronionych i dopuszczalnych natężeń pola elektrycznego oraz współczynników ochronnych.

W pierwszej części analizy kompatybilności międzysystemowej konieczne jest ustalenie wartości natężenia pola sygnału użytecznego, która zapewnia poprawną pracę

odbiornika. W tym celu niezbędna jest znajomość parametrów toru radiowego: zysku anteny lub współczynnika antenowego, tłumienie doprowadzeń, czułości odbiornika. Na podstawie tych danych możliwe jest określenie jaka powinna być wartość natężenia pola, która pozwoli na poprawną pracę odbiornika DVB-T. Jako daną o czułości odbiornika można użyć wartość minimalną mocy na wejściu odbiornika lub wartość ta może być wyznaczona w oparciu o współczynnik szumów odbiornika i dane o wymaganym stosunku sygnał/szum na wejściu demodulatora, pochodzących z norm międzynarodowych dla standardu DVB-T.

W celu wyznaczenia wartości minimalnej natężenia pola sygnału użytecznego  $E_u$  można posłużyć się zależnością:

$$E_u[\text{dB}\mu\text{V/m.}] = P[\text{dBm}] + 20\log f [\text{MHz}] + 77,2$$

gdzie:

P - wymagana wartość mocy sygnału uwzględniająca zysk anteny i tłumienie doprowadzeń

f - częstotliwość środkowa sygnału DVB-T

Wartość mocy sygnału P zapewniająca poprawną pracę odbiornika DVB-T można wyznaczyć następująco:

$$P [\text{dBm}] = F + 10\log(kToB) + C/N_{\text{min}} + L[\text{dB}] - G_i [\text{dB}] + 30$$

gdzie:

k =  $1,3806 \cdot 10^{-23}$  stała Boltzmanna

To- temperatura odniesienia,  $T_o = 290 \text{ K}$

C/N<sub>min</sub> - wymagany stosunek sygnał/szum na wejściu demodulatora

L - tłumienie doprowadzeń [dB], dla odbioru przenośnego i ruchomego L=0

G<sub>i</sub> - zysk anteny w stosunku do anteny izotropowej [dB],  $G_i = G_d + 10\log(1,64\lambda^2/4\pi)$ ,

G<sub>d</sub> - zysk anteny w stosunku do dipola półfalowego [dB]

F - współczynnik szumów odbiornika [dB]

B - szerokość pasma odbiornika,  $B = 7,61 \cdot 10^6 [\text{MHz}]$

$\lambda$  - długość fali,  $\lambda = c/f$

Druga część analizy dotyczyć będzie ustalenia dopuszczalnej wartości natężenia pola sygnału zakłócającego  $E_i$ . Wyznaczenie tej wartości możliwe jest po uzyskaniu wartości współczynnika ochronnego PR [dB] oraz skorzystaniu z zależności:

$$E_i[\text{dB}\mu\text{V/m.}] = P[\text{dBm}] - PR + 20\log f [\text{MHz}] + 77,2$$

gdzie:

P - wymagana wartość mocy sygnału użytecznego uwzględniająca zysk anteny i tłumienie doprowadzeń

PR - współczynnik ochronny

f - częstotliwość środkowa sygnału DVB-T

W przypadku zakłóceń sąsiedniokanałowych konieczna będzie znajomość funkcji określającej selektywność odbiornika DVB-T. Można wykorzystać znormalizowane charakterystyki przenoszenia odbiornika (o ile zostaną one ustalone) lub założyć funkcję selektywności odbiornika – tak jak to zrobiono na Konferencji w Chester.



Zasadniczą sprawą w procesie określania warunków kompatybilności międzysystemowej będzie więc sposób wyznaczania współczynników ochronnych. Można je wyznaczać w sposób następujący, zbliżony do tego, który stosowano podczas Konferencji w Chester: obliczanie widmowej gęstości mocy sygnałów zakłócających oraz przyjmowanie wpływu sygnałów zakłócających jako wzrostu mocy szumów na wejściu odbiornika. W dotychczasowych ustaleniach na forum międzynarodowym (np. Chester 1997) proponowano dopuszczenie sygnałów zakłócających na poziomie niższym o 3dB od poziomu szumów własnych odbiornika. W celu wyznaczenia współczynnika ochronnego należy więc wyznaczyć gęstość widmową mocy sygnału zakłócającego oraz zapewnić sumaryczną moc tak wyznaczonego szumu na poziomie niższym niż 3dB poniżej poziomu szumów własnych odbiornika. W przypadku sygnałów o nieskomplikowanym widmie – jak np. CDMA w systemie IS-95 – analiza staje się stosunkowo prosta, jak to zaprezentowano w niniejszym sprawozdaniu. W przypadku sygnałów o skomplikowanym widmie należałoby wykonywać analizę widmową i całkowanie tak wyznaczonego widma w paśmie odbioru DVB-T.

Parametry modelu odbiornika niezbędne przy ustalanie warunków kompatybilności:

Parametr	Symbol	Jednostka
Wymagany poziom mocy sygnału na wejściu	Pmin	[dBm]
Współczynnik szumów odbiornika	F	[dB]
Zysk anteny odbiorczej w stosunku do dipola	Gd	[dB]
Tłumienie doprowadzeń	L	[dB]
Modulacja podnośnych	QPSK, 16QAM, 64QAM	
Sprawność kodowania	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	
Rodzaj kanału	Gausa, Rayleigha, Rice'a	
Charakterystyka selektywności odbiornika	Tabela tłumień	[dB]

W przypadku braku Pmin, jego wartość może być wyznaczona za pomocą pozostałych parametrów.

W przypadku stosowania modulacji hierarchicznej należałoby podać wariant modulacji pozwalający na odczytanie wymaganej wartości C/N.

## 9. Możliwość wprowadzenia DVB-T w Polsce

Ostatnie lata pokazały gwałtowny rozwój ziemskiej radiodifuzji cyfrowej. Przyjmuje się, że w 2010 roku zostanie wyłączona w Europie telewizja analogowa.

15 listopada 1998 w Wielkiej Brytanii rozpoczęto pierwszą ciągłą emisję naziemnej telewizji cyfrowej. W kwietniu 1999 r. Szwecja jako pierwszy kraj europejski rozpoczęła nadawanie programów naziemnej telewizji cyfrowej. Obecnie nadaje cztery multipleksy. Trzecim państwem europejskim, który podjął regularną działalność eksploatacyjną naziemnej telewizji

cyfrowej jest Hiszpania. Od maja 2000 r. emituje programy DVB-T, oferując 14 programów oraz dostęp do Internetu i poczty elektronicznej.

Niektóre z państw europejskich przeprowadzają próbne transmisje DVB-T. Spośród naszych sąsiadów próbne transmisje DVB-T przeprowadzane są w Danii, w Niemczech a od niedawna w Czechach.

W państwach Europejskich w których jeszcze nie rozpoczęto ciągłej emisji DVB-T tworzone są plany sieci naziemnej telewizji cyfrowej. Z pośród państw sąsiednich plany takie powstały w Danii, gdzie zaplanowano cztery multipleksy na Litwie również cztery multipleksy a w Czechach dwa multipleksy. W Polsce również powstał plan sieci DVB-T W 1997 roku w Instytucie Łączności w Oddziale Wrocławskim powstała pierwsza wersja planu sieci 1-2 DVB-T.

Dobranie dwóch częstotliwości dla dwóch multipleksów umożliwia nadawanie z jednej lokalizacji do 8 programów o jakości obecnie nadawanych programów w technice analogowej. W celu uatrakcyjnienia oferty programowej cyfrowej telewizji naziemnej powstała koncepcja przegrupowania częstotliwości dla planu 1-2 DVB-T oraz stworzenia planu sieci nadajników małej mocy. Oba przygotowane plany DVB-T 1 - 2 i 3 - 4 po zakończeniu procesu koordynacyjnego mogą być interesujące dla pierwszych nadawców multipleksów cyfrowych w okresie przejściowym do czasu wyłączenia telewizji analogowej.

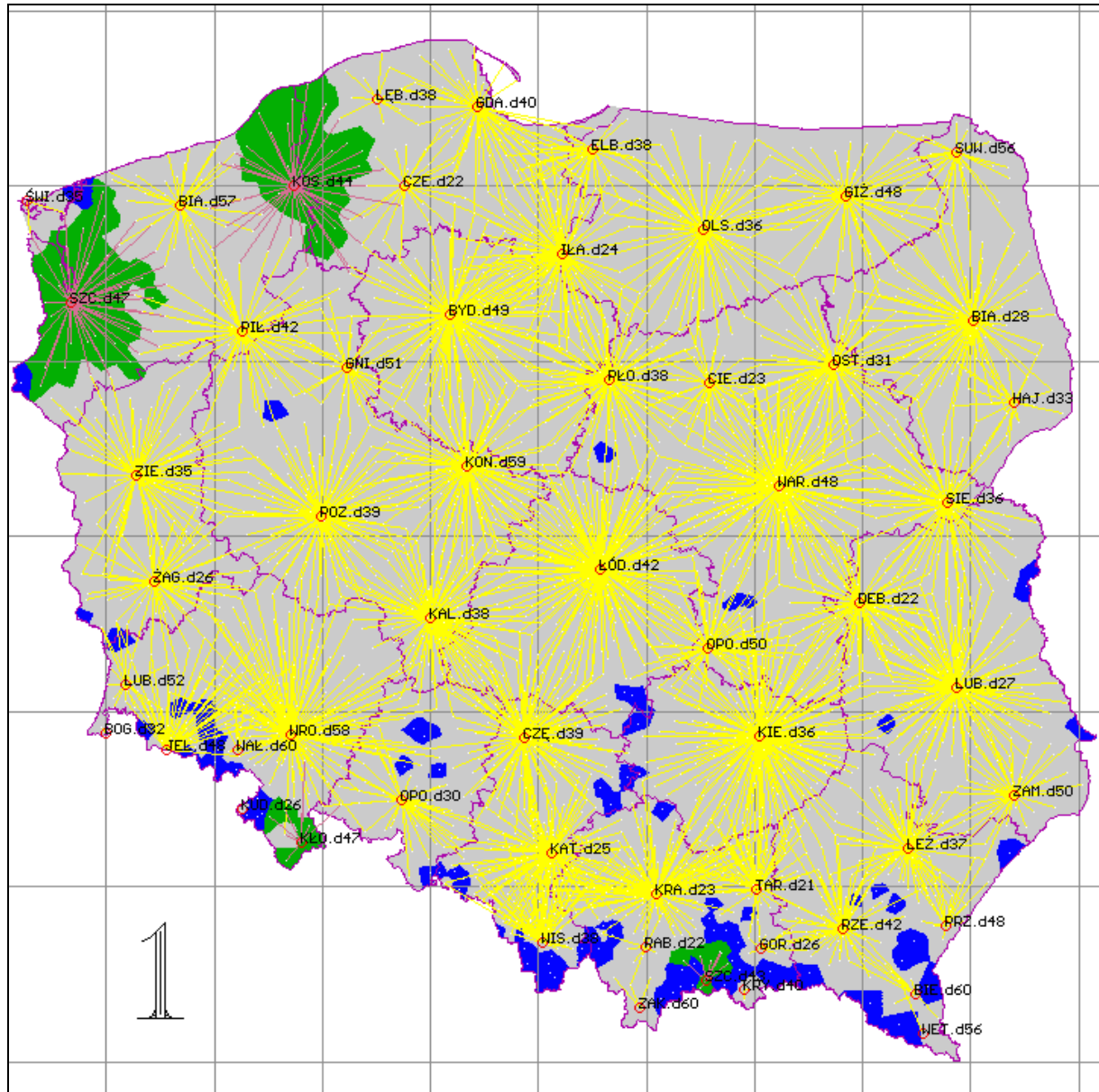
### **9.1 Plan sieci 1-2 DVB-T**

Na bazie 56 obiektów telewizyjnych wybranych spośród stacji nadających program drugi TVP rozpięto sieć nadajników telewizyjnych DVB-T i przyporządkowano im po dwa multipleksy. Zachowano charakterystyki kierunkowe anten, natomiast moce obniżono przeciętnie o 12 dB, tak by uzyskać zasięgi porównywalne z odpowiednimi zasięgami programu TVP2.

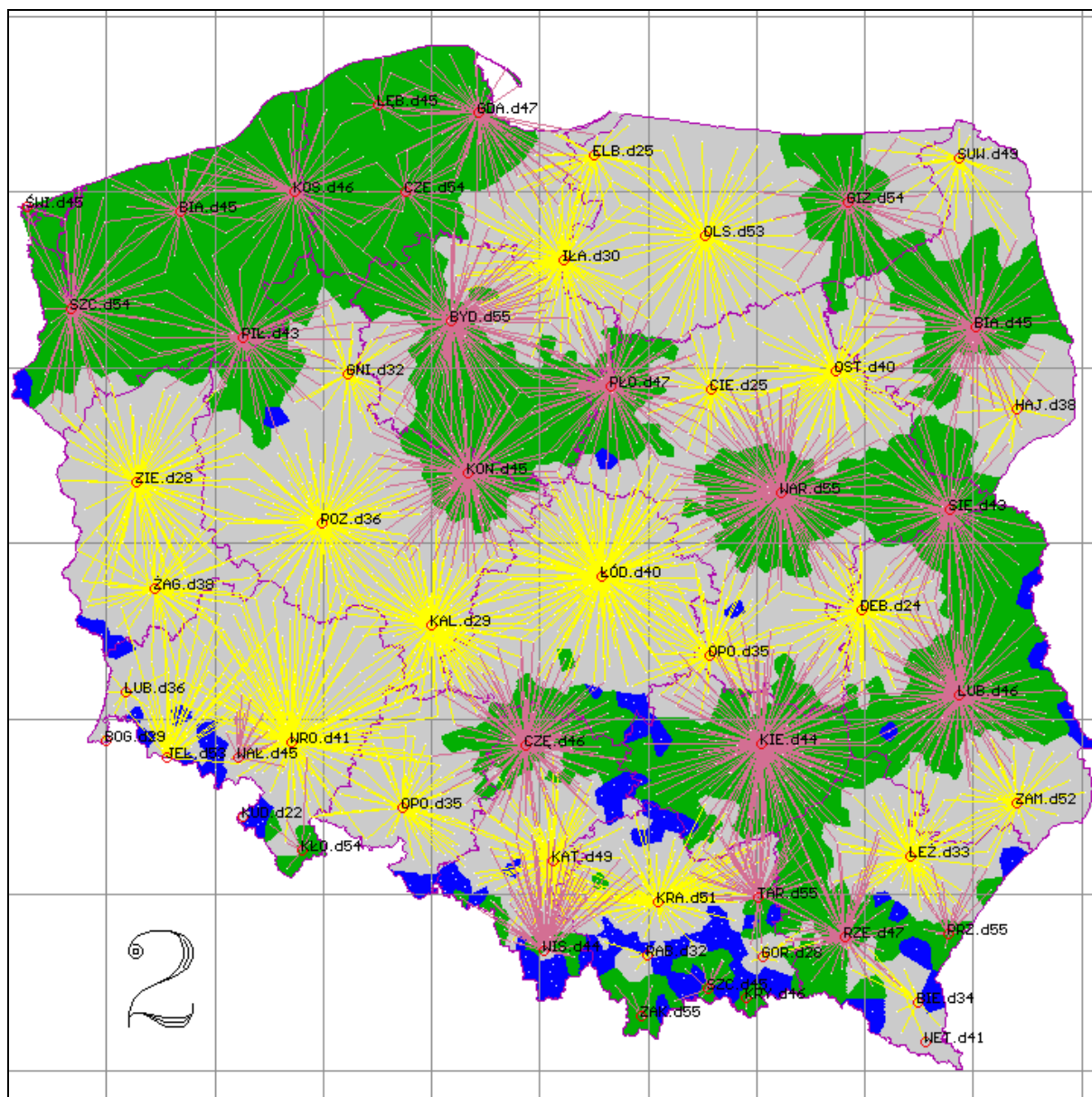
W ramach niniejszej pracy przeprowadzono badania symulacyjne sprawdzające możliwość wprowadzenia jednego multipleksu dla DVB-T z jak najmniejszą liczbą kanałów wojskowych. Kanały tzw. wojskowe to kanały 43-47 i 54-55. W kanałach tych pracują wojskowe urządzenia lotnicze i do czasu wyposażenia naszej armii w inne urządzenia, kanały te nie są udostępniane telewizji lub udostępniane są z dużymi ograniczeniami.

Poniżej przedstawiono mapki z zasięgami użytecznymi poszczególnych stacji sieci DVB-1 i DVB-2. Jasno-szare i zielone tło odpowiada miejscom z dobrym odbiorem, natomiast kolor niebieski oznacza brak możliwości odbioru. Kolor zielony dotyczy tych obszarów, które mogą być obsługiwane jedynie w tzw. kanałach wojskowych (43-47 i 53-54) - aktualnie niedostępnych jeszcze dla telewizji.

### 9.1.1 Mapki potencjalnych zasięgów dla sieci 1-2 DVB-T



**Rys. 9.1** Mapka spodziewanego pokrycia powierzchniowego planowanej sieci 1 DVB-T



**Rys. 9.2** Mapka spodziewanego pokrycia powierzchniowego planowanej sieci 2 DVB-T

Mapki wyznaczono w oparciu o obliczenia w punktach testowych (białe kropki) zmodyfikowaną metodą BBC uwzględniającą profile terenu. Linie łączą nadajniki z punktami testowymi. Linie żółte dotyczą stacji pracujących w kanałach aktualnie dostępnych dla telewizji, linie czerwone w tzw. kanałach wojskowych.

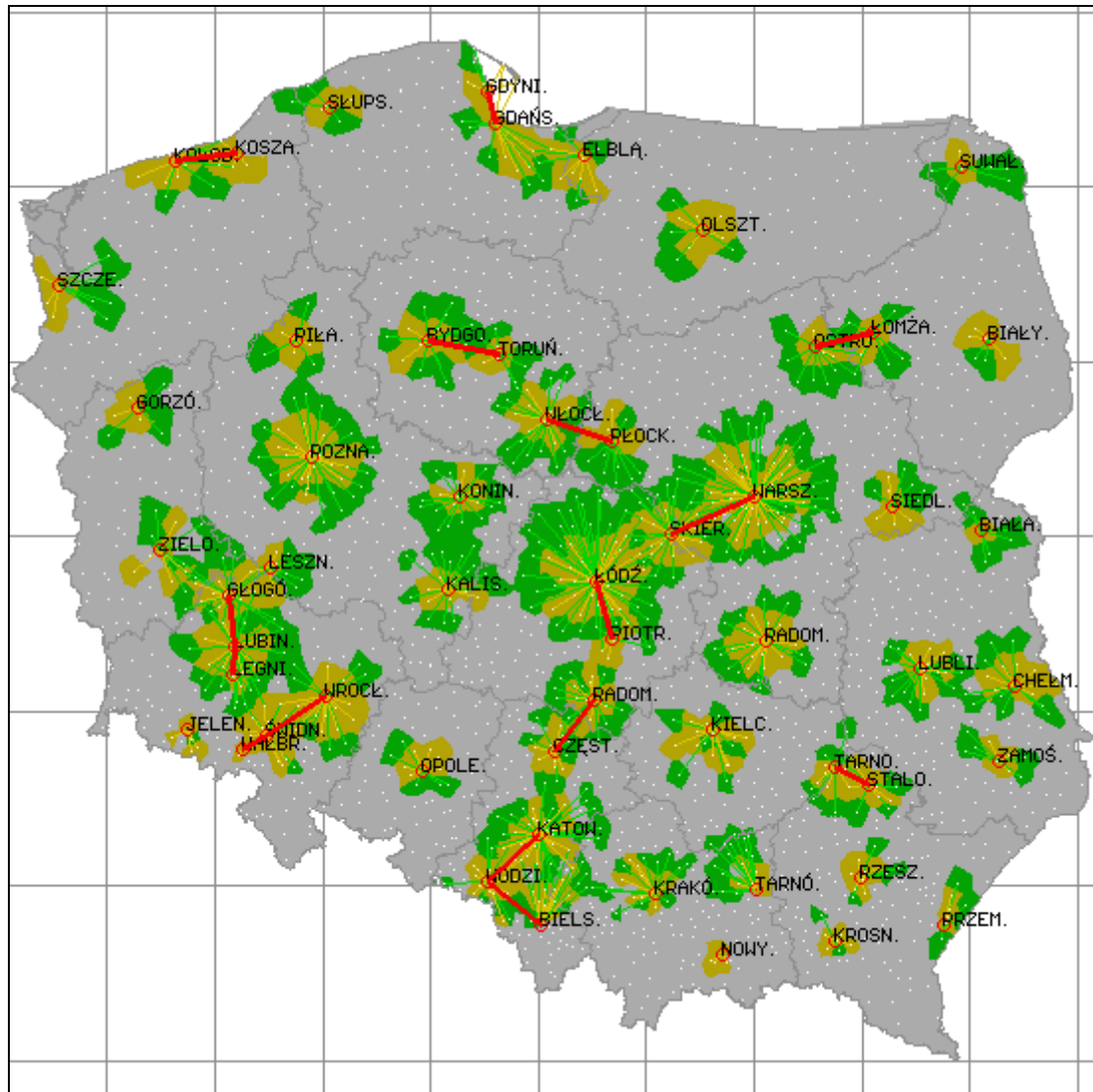
Badania symulacyjne pokazały, że możliwe jest takie dobranie kanałów dla sieci 1-2 DVB-T, że w pierwszym multiplexie będzie jedynie 5 kanałów wojskowych a w drugim multiplexie aż 27 kanałów na 56 stacji.

### **9.2 Plan sieci 3-4 DVB-T**

Przeprowadzono badania symulacyjne dotyczące dwóch kolejnych multiplexów tym razem małej mocy, które dzięki ulokowaniu stacji w dużych skupiskach ludzkich mogą dać

stosunkowo duże pokrycie ludnościowe. Mała moc stacji jest atutem przy koordynacji międzynarodowej, co pozwala mieć nadzieję, że koordynacja przebiegnie sprawniej i szybciej niż ma to miejsce w odniesieniu do planu sieci 1-2 DVB-T. Udział kanałów „wojskowych” (zablokowanych dla telewizji) sprowadza się do jednego przypadku. Można się spodziewać, że realizacja planu 3-4 DVB-T wyprzedzi realizację planu 1-2 DVB-T, biorąc również pod uwagę przyznawanie koncesji, która powinna budzić mniej emocji.

### 9.2.1 Spodziewane pokrycie ludnościowe i powierzchniowe sieci 3-4 DVB-T



Rys. 9.3

Mapka spodziewanego pokrycia powierzchniowego planowanej sieci 3-4 DVB-T

Mapkę wyznaczono na podstawie obliczeń w zbiorze gmin (2242 punkty testowe – białe kropki). Kolor zielony wyznacza zasięg badanych stacji na poziomie  $E_{min} = 53$  dB, a kolor żółty – zasięg na poziomie  $E_{chr} = 65$  dB. Linia czerwoną połączono stacje mogące pracować jako SFN.

Na bazie 55 obiektów oszacowano wstępnie pokrycie ludnościowe i powierzchniowe kraju oraz zbadano możliwości doboru kanałów.

**Tabela 9.1**  
**Spodziewane pokrycie ludnościowe i powierzchniowe planowanej sieci 3-4 DVB-T**

Pokrycie	Dla $E_{min}=53$ dB	Dla $E_{chr}=65$ dB
Ludność	<b>60.2%</b>	<b>51.8%</b>
Powierzchnia	<b>31.6%</b>	<b>15.7%</b>

### 9.2.2 Próba tworzenia sieci SFN

Dwa sygnały pochodzące od dwóch różnych stacji ulegają wzmocnieniu jeśli różnica dróg od tych stacji jest mniejsza od  $c \cdot T_g$ , gdzie  $c$  – prędkość światła = 300 000 km/s,  $T_g$  – przedział ochronny równy  $\frac{1}{4}$  czasu trwania symbolu, który dla systemu z liczbą podnośnych 8k wynosi 224  $\mu$ s, co daje przykładową odległość 67 km. Z zasad prostej geometrii trójkąta (różnica dwóch boków trójkąta jest zawsze mniejsza od boku trzeciego) wynika, że dwie stacje leżące względem siebie bliżej niż ta odległość wzmacniają się w każdym punkcie.

Ze względu na bliskie odległości pomiędzy niektórymi stacjami wydzielono w planowanej sieci stacje mogące pracować z jednakową częstotliwością. Stacjom tym przydzielono jednakowy numer SFN. Warunek na odległość mniejszą od 67 km pozwala na pogrupowanie stacji w bardziej rozległe sieci jednoczęstotliwościowe niż pokazano to na mapce 1. Należy jednak wziąć pod uwagę podział administracyjny kraju i fakt, że swoboda w doborze kanałów na większym obszarze jest zdecydowanie mniejsza. Proponowane połączenia zapewniają geometrycznie wzmacnianie sygnału w każdym punkcie.

### 9.2.3 Próby doboru kanałów

Próby doboru kanałów przeprowadzono dla trzech wariantów (dotyczy uwzględniania sieci SFN). Najlepsze wyniki uzyskano dla wariantu mieszanego, tj. przy braku kanałów dla SFN - poszukiwania przeprowadzono dla poszczególnych stacji. Dla dwóch stacji: Katowice i Wodzisław Śląski zabrakło kanału, dla trzech stacji: Bielsko-Biała, Gdańsk i Kołobrzeg znaleziono tylko po 1 kanale, dla 4 stacji: Kraków, Łódź, Warszawa, Wrocław - po 2 kanały, dla ponad połowy tj. 28 stacji można znaleźć po 7 i więcej kanałów. W przypadku stacji Wrocław jeden z kanałów jest niestety kanałem „wojskowym”.

### 9.2.4 Koordynacja międzynarodowa

**Tabela 9.2**  
**Ilościowe zestawienie stacji wymagających koordynacji międzynarodowej z 10 państwami**

Liczba stacji (z 55) wymagających koordynacji	S	CZE	D	DNK	LTU	RUS	BLR	SVK	LTV	UKR	$\Sigma$
na poziomie 31 dB na granicy państwa	4	3	3	3	3	2	1	1	1	1	22
+ na poziomie o 12 dB niższym	+3	+7	+3	+3	+0	+3	+3	+3	+2	+2	+28

Pomimo, że plan dotyczy stacji małej mocy część z nich położona bliżej granicy musi być koordynowana międzynarodowo. Praktycznie bez koordynacji może pracować 25 spośród 55 obiektów. Stacje z 15 obiektów muszą być koordynowane ze względu na poziom zakłóceń przekraczający 31 dB[ $\mu$ V/m] na granicy państwa (kryterium dominującego zakłócenia). W uzgodnieniach dwustronnych jest to możliwe do przyjęcia kryterium. Dalsze 15 obiektów może być branych pod uwagę przy zastosowaniu bardziej ostrego kryterium przyjętego w ramach porozumienia Chester'97, według którego wypadkowy sygnał zakłócający liczony metodą „sumowania mocy” po dodaniu nowej stacji nie powinien wzrosnąć więcej niż o 0,3 dB. Zakładając, że stacja zagraniczna sięga swoim zasięgiem granicy Polski i jej zasięg nie jest ograniczony przez inne stacje, sytuacja naruszająca to kryterium może teoretycznie powstać już przy poziomie zakłóceń 19 dB [ $\mu$ V/m] na granicy państwa.

## 10. Wnioski

W niniejszej pracy przedstawiono niektóre z problemów kompatybilności systemu telewizji cyfrowej DVB-T do tej pory nie analizowanych, skupiając się na zagadnieniach dotyczących użytkowania widma w Polsce.

Kompatybilność systemów Talkback i OB z DVB-T opracowana w ramach Zespołu SE27 została przyjęta przez kraje CEPT i opublikowana w Raportach ERC [12,13].

Kompatybilność systemów wojskowych i DVB-T została zakończona jeśli chodzi o ochronę systemów wojskowych. Wyniki pomiarów służą do uzgodnień z krajami byłego Układu Warszawskiego odpowiednich poziomów ochronnych tych służb do celów koordynacji międzynarodowej a także krajowej DVB-T. Ostateczne ich ustalenie nastąpi w najbliższym czasie na forum międzynarodowym. Do rozwiązania pozostaje sprawa zakłóceń od systemów wojskowych do DVB-T. Wykorzystując opracowywany model odbiornika DVB-T planuje się w kolejnym etapie pracy wykonanie analiz teoretycznych pozwalających na określenie kryteriów kompatybilności. Być może (pod warunkiem zakupu odpowiedniego sprzętu pomiarowego i odbiornika DVB-T) udałoby się dokonać weryfikacji pomiarowej modelu teoretycznego.

Przedstawiciele IŁ Wrocław aktywnie uczestniczą w międzynarodowych pracach, prowadzonych głównie w ramach CEPT, zmierzających do ustalenia wszystkich wymaganych kryteriów kompatybilności DVB-T. Również w kraju, aktywnie uczestniczą w pracach tzw. platformy cyfrowej przygotowującej wdrożenie naziemnej telewizji cyfrowej w Polsce. Efektem pracy, poza niniejszym opracowaniem, są publikacje na forum międzynarodowym (CEPT), referaty publikowane na konferencjach [14,15], opracowania dla potrzeb polskiej platformy cyfrowej a także przygotowywane są dalsze publikacje w czasopiśmie specjalistycznych. Wiedza i doświadczenie pracowników IŁ Wrocław są przydatne dla wspomagania prac Państwowej Agencji Radiokomunikacyjnej w zakresie koordynacji międzynarodowej DVB-T.

Ponieważ niniejsze sprawozdanie nie wyczerpuje wszystkich zagadnień, które należałoby opracować dla potrzeb administracji polskiej planowana jest kontynuacja pracy w przyszłym roku. W dalszym etapie planowane jest uzupełnianie brakujących danych o systemach oraz opracowanie brakujących analiz kompatybilności DVB-T z innymi systemami.

## 11. Literatura

- [1] Sprawozdanie z pracy nr 21 4 14 6 *Organizacja laboratorium do badania kompatybilności elektromagnetycznej w odbiorze radiowym, telewizyjnym i innych służbach*, sierpień 1998, praca wykonywana na zlecenie ZK PAR
- [2] Zalecenie ITU-R BT.500-9
- [3] Recommendation ITU-R BT.1368 *Planning Criteria for Digital Television Services in the VHF/UHF Bands*, ITU-R SG11
- [4] Zalecenie ITU-R BT.655-5
- [5] European Conference of Postal and Telecommunications Administrations: “*The Chester 1997 Multilateral Coordination Agreement relating to Technical Criteria, Coordination Principles and Procedures for the introduction of Terrestrial Digital Video Broadcasting (DVB-T)*”, Chester, 25 lipca 1997
- [6] European Telecommunication Standard ETS 300744 *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital Terrestrial television (DVB-T)*, ETSI, 1997
- [7] ETSI Technical Report 101 200
- [8] Sprawozdanie Z21/213089/416/99 “*Analiza metod badania kompatybilności naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T z innymi służbami*”, Wrocław, grudzień 1999
- [9] ITU-R Recommendation P.370-7: VHF and UHF Propagation Curves For The Frequency Range From 30 MHz To 1 000 MHz, Geneva 1995.
- [10] Radio Regulations, Geneva 1992
- [11] Tabela przeznaczeń częstotliwości i zakresów częstotliwości na obszarze Rzeczypospolitej Polskiej, PAR, Warszawa 1997
- [12] ERC Raport 89 „*Compatibility and sharing analysis between DVB-T and talkback links in bands IV and V*”, Edinburgh, October 2000
- [13] ERC Raport 90 „*Compatibility and sharing analysis between DVB-T and OB (Outside Broadcast) audio links in bands IV and V*”, Edinburgh, October 2000
- [14] M. Kałuski, M. Macher, D. Więcek *Kompatybilność między systemami nawigacyjnymi RSBN/ PRMG i systemami naziemnej telewizji cyfrowej*, Krajowa Konferencja Radiodyfuzji i Radiokomunikacji, Poznań, czerwiec 2000.
- [15] D. Więcek, *Porównanie osiągnięć systemów telewizji cyfrowej*, Krajowa Konferencja Radiodyfuzji i Radiokomunikacji, Poznań, czerwiec 2000.



## 12. Wykaz skrótów:

ACI	interferencje w kanale sąsiednim (ang. Adjacent Channel Interference)
BER	bitowa stopa błędów (ang. Bit Error Rate)
CDMA	wielodostęp kodowy (ang. Code Division Multiple Access)
COFDM	kodowane ortogonalne zwielokrotnienie częstotliwościowe (ang. Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
C/N	Stosunek sygnału do szumu (ang. Carrier-to-Noise Ratio)
C/I	Stosunek sygnału do zakłócenia, współczynnik ochronny (ang. Carrier-to-Interference Ratio)
DVB	nadawanie cyfrowych sygnałów wizyjnych (ang. Digital Video Broadcasting)
DVB-T	naziemne DVB (ang. DVB-Terrestrial)
ETS	europejska norma telekomunikacyjna (ang. European Telecommunication Standard)
FEC	korekcja błędów w przód (ang. Forward Error Correction)
HDTV	telewizja o dużej rozdzielczości (ang. High Definition TeleVision)
IS-95	standard amerykański CDMA o numerze IS-95 (ang. Industry Standard 95)
MFN	sieć wieloczęstotliwościowa (ang. Multi Frequency Network)
MPEG	grupa ekspertów do spraw obrazów ruchomych (ang. Moving Picture Experts Group)
OFDM	ortogonalne zwielokrotnienie częstotliwościowe (ang. Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
PAL	Phase Alternating Line
QAM	modulacja kwadraturowa amplitudy (ang. Quadrature Amplitude Modulation)
QPSK	modulacja z czterostanowym kluczowaniem przesunięcia fazy (ang. Quaternary Phase Shift Keying)
RF	częstotliwość radiowa (ang. Radio Frequency)
RS	Reed-Solomon (kod cyfrowy)
SDTV	telewizja o standardowej rozdzielczości (ang. Standard Definition TeleVision)
SECAM	Systeme Sequentiel Couleur A Mémoire
SFN	sieć jednoczęstotliwościowa (ang. Single Frequency Network)
TV	telewizja (ang. TeleVision)
TVA	telewizja analogowa
UVF	częstotliwość ultra-wysoka (ang. Ultra-High Frequency)
VHF	częstotliwość bardzo-wysoka (ang. Very-High Frequency)