



**INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
ODDZIAŁ WE WROCŁAWIU**

ul. Swojczycka 38, 51-501 Wrocław

**ZAKŁAD KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ
PRACOWNIA GOSPODARKI WIDMEM CZĘSTOTLIWOŚCI RADIOWYCH**

**Analiza metod badania kompatybilności naziemnej telewizji cyfrowej
DVB-T z innymi służbami**

Sprawozdanie Z21/213078/270/98

WROCŁAW, grudzień 1998

Nr pracy: 21.3.07.8

Nazwa pracy: Analiza metod badania kompatybilności naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T z innymi służbami

Zleceniodawca: Praca statutowa

Data rozpoczęcia: styczeń 1998
Data zakończenia: grudzień 1998

Kierownik tematu: mgr inż. Dariusz Więcek

Wykonawcy: mgr Witold Kowal
mgr inż. Andrzej Marszałek
dr inż. Wiktor Sęga
dr inż. Janusz Sobolewski
mgr inż. Dariusz Więcek

Praca wykonana w Pracowni: Gospodarki widmem częstotliwości radiowych

Kierownik Pracowni: dr inż. Wiktor Sęga

Kierownik Zakładu: dr Tomasz Niewodniczański

Spis treści:

1. WSTĘP.....	5
2. ZMIANY WSPÓŁCZYNNIKÓW OCHRONNYCH DLA DVB-T.....	5
2.1 DVB-T ZAKŁÓCANA PRZEZ DVB-T.....	6
2.2 DVB-T ZAKŁÓCANA PRZEZ TELEWIZJĘ ANALOGOWĄ.....	7
2.2.1 Wspólnokanałowe współczynniki ochronne.....	7
2.2.2 Zakłócenia od dolnego kanału sąsiedniego (n-1).....	8
2.2.3 Zakłócenia od górnego kanału sąsiedniego (n+1).....	9
2.2.4 Zakłócenia od kanału lustrzanego.....	9
2.2.5 Zakłócenia od kanałów zachodzących na siebie.....	10
2.3 TELEWIZJA ANALOGOWA ZAKŁÓCANA PRZEZ DVB-T.....	10
2.3.1 Wspólnokanałowe współczynniki ochronne.....	11
2.3.2 Zakłócenia od dolnego kanału sąsiedniego (n-1).....	11
2.3.3 Zakłócenia od górnego kanału sąsiedniego (n+1).....	12
2.3.4 Zakłócenia od kanału lustrzanego.....	12
2.3.6 Zakłócenia od kanałów zachodzących na siebie.....	13
2.4 ZAKŁÓCENIA SYGNAŁU FONII TOWARZYSZĄCEJ TELEWIZJI ANALOGOWEJ PRZEZ DVB-T.....	16
2.5 DVB-T ZAKŁÓCANA PRZEZ T-DAB.....	17
2.6 T-DAB ZAKŁÓCANA PRZEZ DVB-T.....	18
3. KOMPATYBILNOŚĆ TELEWIZJI CYFROWEJ DVB-T Z RADIOASTRONOMIĄ W PAŚMIE CZĘSTOTLIWOŚCI 608-614 MHZ.....	18
3.1 WSTĘP.....	18
3.2 WYMAGANIA OCHRONNE.....	19
3.3 MAKSYMALNA DOPUSZCZALNA GĘSTOŚĆ STRUMIENIA MOCY SYGNAŁU ZAKŁÓCAJĄCEGO.....	19
3.4 MAKSYMALNA WARTOŚĆ NATĘŻENIA POŁA SYGNAŁU ZAKŁÓCAJĄCEGO.....	19
3.5 ZAKŁÓCENIA WSPÓLNOKANAŁOWE.....	20
3.5.1 Poziomy odniesienia sygnału zakłócającego.....	20
3.5.2 Maksymalne dopuszczalne natężenie pola w kanale 38.....	20
3.6 ZAKŁÓCENIA SĄSIEDNIOKANAŁOWE.....	20
3.6.1 Poziomy odniesienia sygnałów zakłócających.....	20
3.6.2 Maksymalne dopuszczalne natężenia pola sygnałów DVB-T w kanałach 37 i 39.....	21
3.7 ODLEGŁOŚCI SEPARACYJNE.....	22
3.8 WSPÓŁCZYNNIKI OCHRONNE DLA RADIOASTRONOMII ZAKŁÓCANEJ PRZEZ DVB-T.....	23
3.9 KOMPUTEROWA ANALIZA KOMPATYBILNOŚCI.....	24
3.10 PODSUMOWANIE.....	24
4. KOMPATYBILNOŚĆ SŁUŻB WOJSKOWYCH PRACUJĄCYCH W PASMACH TELEWIZYJNYCH Z DVB-T.....	25
5. PROBLEMATYKA ZAKŁÓCEŃ WNOSZONYCH DO DVB-T.....	28
6. PROPOZYCJA WARIANTÓW TRANSMISJI NAZIEMNEJ TELEWIZJI CYFROWEJ DVB-T W POLSCE.....	31
6.1 WPROWADZENIE.....	31
6.2 ZAŁOŻENIA.....	31
6.3 WARIANT DLA ODBIORU STACJONARNEGO.....	32
6.3.1 Wybór liczby nośnych.....	32
6.3.2 Wybór sposobu modulacji nośnych.....	33
6.3.3 Wybór sprawności kodu i wielkości odstepu ochronnego.....	33
6.4 WARIANT DO ODBIORU PRZENOŚNEGO.....	34
6.4.1 Wybór liczby nośnych.....	34
6.4.2 Wybór sposobu modulacji nośnych.....	34
6.4.3 Wybór sprawności kodu i wielkości odstepu ochronnego.....	35
6.5 WARIANT DO TRANSMISJI W SIECI SFN.....	35
6.6 INNE WARIANTY SYSTEMÓW DO TESTOWANIA.....	35

6.7 PODSUMOWANIE	35
7. WSTĘPNY PLAN SIECI DVB-T W POLSCE	36
7.1.1 Wybór lokalizacji i parametrów propagacyjnych.....	36
7.1.2 Mapki pokrycia DVB-T.....	39
8. WNIOSKI	43
9. LITERATURA	43

1. Wstęp

Praca niniejsza stanowi kontynuację pracy statutowej prowadzonej w roku 1997 [16]. 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 1998 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. Prace w krajach należących do CEPT prowadzone są 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. Mimo zakończenia w zeszłym roku prac grupy FM24 okazało się, że ustalone kryteria kompatybilności DVB-T z innymi służbami radiodyfuzyjnymi są niewystarczające. Wykonano szereg pomiarów pozwalających na uaktualnienie wcześniej ustalonych wartości natężeń pól i współczynników ochronnych. W związku z tym w 1998 roku wznowiono prace grupy FM24 celem aktualizacji wcześniej opracowanych podstaw technicznych i analiz kompatybilności DVB-T z innymi służbami radiodyfuzyjnymi. Oczekuje się, że prace zespołów SE27 i FM24 potrwają przynajmniej do 2000 roku, a jeżeli zajdzie taka potrzeba to być może i dłużej. 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. Zmiany współczynników ochronnych dla DVB-T

W lipcu 1997 r. odbyła się w Chester w Wielkiej Brytanii konferencja regionalna Administracji CEPT, na której ustalono kryteria techniczne, zasady koordynacji i procedury naziemnej telewizji cyfrowej (DVB-T). Jednym z kryteriów technicznych planowania i koordynacji są współczynniki ochronne. Współczynniki ochronne dla DVB-T zostały przedstawione w Wielostronnym Porozumieniu z Chester w rozdziale 4.

W laboratoriach wielu krajów europejskich (jak w Anglii, Francji, Niemczech) prowadzone są badania współczynników ochronnych dla DVB-T. Wyniki tych badań zgłaszane są między innymi podczas zebrań Grupy Roboczej ITU 11C (Telewizja naziemna, parametry emisji i planowania) powołanej w ramach Grupy Studiów 11 ITU-R oraz na zebraniach Grupy CEPT FM-PT24. Najnowsze wyniki badań oraz nowe wartości współczynników ochronnych były zgłaszane na zebraniu PT 11C, które odbyło się w marcu br. w Genewie (Zalecenie ITU-R BT.1368) oraz na posiedzeniu CEPT FM-PT 24 w listopadzie br. w Paryżu (dokument CEPT/FM-PT24(98) 031). W celu zobrazowania jak zmieniły się wartości współczynników ochronnych dla DVB-T w ramach niniejszej pracy porównano je z wartościami umieszczonymi w rozdziale 4 Wielostronnego Porozumienia. Zmienione wartości współczynników wprowadzono czcionką w kolorze czerwonym a poprzednie wartości umieszczono w nawiasach. Zmiany te są istotne dla planistów DVB-T. W paru przypadkach podano współczynniki ochronne, które dotychczas nie były wyznaczone np.: Tabela A1.19

Wyniki pomiarów pokazały, że w kilku przypadkach wartość współczynnika ochronnego jest identyczna dla DVB-T 7 i 8MHz tabela A1.19, Tabela A1,20, A1.21, A1.26 – A1.28

Poniżej przedstawiono podstawowe zasady ustalania współczynników ochronnych.

Moc odniesienia dla oszacowania współczynnika ochronnego jest następująca:

- dla telewizji cyfrowej DVB-T, średnia moc sygnału (cieplna) modulowanego COFDM mierzona dla szerokości pasma systemu
- dla telewizji analogowej, generalnie, wartość skuteczna mocy sygnału wizji w szczycie impulsów synchronizacji, ale w przypadku SECAM L w szczytach poziomu bieli.

Współczynniki ochronne odnoszące się do danych zakłóceń szacuje się bez szumów lub innych zakłóceń, dla danej jakości, i wyraża się w dB.

W przypadku sygnału pożądanego DVB-T wymagane współczynniki ochronne powinny być mierzone dla stopy błędów $BER = 2 \cdot 10^{-4}$ po dekodерze Viterbi'ego, co odpowiada stopie błędów $BER < 1 \cdot 10^{-11}$ na wejściu demultipleksa MPEG-2 i jest zbliżone do wartości pojedynczego nieskorygowanego błędu na godzinę. W przypadku gdy sygnałem pożądanym jest sygnał cyfrowy, wszystkie współczynniki ochronne dotyczą równocześnie zakłóceń troposferycznych i zakłóceń ciągłych.

W przypadku sygnału pożądanego telewizji analogowej, zakłócenia troposferyczne są wyznaczane dla stopnia pogorszenia jakości 3 a zakłócenia ciągłe dla stopnia pogorszenia jakości 4.

W przypadku kanałów sąsiednich i zachodzących wartości współczynników ochronnych są odniesione do wartości tłumienia sygnałów poza kanałem wynoszącej 40 dB. Wartość 40 dB jest stosowana tylko w przypadku pomiarów współczynników ochronnych i nie jest zalecana dla rzeczywistych nadajników DVB-T.

Podstawowym dokumentem ITU jest Zalecenie ITU-R: „Kryteria planowania dla służb DVB-T w paśmie VHF i UHF” (w obecnej numeracji Zalecenie ITU-R. 1368).

2.1 DVB-T zakłócana przez DVB-T

W tabeli A1.17 podano współczynniki ochronne (zaokrąglone do wartości całkowitych) uzyskane w wyniku pomiarów lub przez ekstrapolację metodą opisaną poniżej.

Tabela A1.17

Współczynniki ochronne (dB) dla DVB-T zakłócaanej przez DVB-T

Tryb wg ITU	Modulacja	Sprawność kodowania	PR (*) kanał Gaussa	PR (**) kanał Rice'a	PR (**) kanał Rayleigh'a
	QPSK	1/2	5	7	8
M1	16-QAM	1/2		13	14
	16-QAM	3/4	14	16	20
M2	64-QAM	1/2		18	19
M3	64-QAM	2/3	19	20	22

(*) Rezultat otrzymany w wyniku pomiarów; tryb 2K; pętla p.cz.; (**) Wynik ekstrapolowany

Współczynniki ochronne dla różnych trybów i różnych typów kanału (np.: Gaussa, Rice'a czy Rayleigh'a) można obliczać z wykorzystaniem wymaganych wartości C/N podanych w tabeli A1.1, powiększonych o współczynnik strat implementacyjnych systemu $\Delta_1 = 3$ dB. Dla odbioru stacjonarnego i przenośnego, można zaadaptować wartości stosowne dla kanałów Rice'a i Rayleigh'a.

Dla **zakłóceń od kanału sąsiedniego i lustrzanego** należy przyjąć współczynnik ochronny równy **-30 dB** (-40 dB) jako odpowiednią wartość ze względu na brak danych.

Współczynnik ochronny dla **kanałów zachodzących**, z braku danych pomiarowych, wyznacza się z następującej zależności:

$$PR = PR(CCI) + 10 \log_{10} (BO / BW),$$

PR(CCI) jest wspólnokanałowym współczynnikiem ochronnym,

BO jest szerokością pasma (w MHz), w którym dwa sygnały DVB-T zachodzą na siebie,

BW jest szerokością pasma (MHz) sygnału pożądanego,

PR = **-30 dB** (-40 dB) jeśli z zależności otrzymamy PR < **-30 dB** (-40 dB).

2.2 DVB-T zakłócana przez telewizję analogową

Współczynniki ochronne dla pożądanego sygnału DVB-T stosuje się zarówno dla przypadku zakłóceń troposferycznych i ciągłych.

We wszystkich tabelach zastosowano tzw. nie kontrolowany offset częstotliwości. Wprowadzając offsety precyzyjne między sygnałami telewizji cyfrowej i analogowej pomiarowo wykazano znacznie niższe wartości stosunków sygnał do zakłócenia. W przypadku dokładniejszej kontroli offsetu można osiągnąć niższe wartości ochronne. Konieczne są dalsze studia nad problemem kontrolowanego offsetu dla DVB-T.

2.2.1 Wspólnokanałowe współczynniki ochronne

Zgodnie z dostępnymi wynikami pomiarów wartości współczynników ochronnych są identyczne dla trybów 2k i 8k.

Tabela A1.18

Współczynniki ochronne (dB) dla DVB-T 7 i DVB-T 8 MHz zakłócanej przez telewizję analogową i falę ciągłą (niekontrolowana częstotliwość offsetu)

Konstelacja	Współczynnik ochronny														
	QPSK					16QAM					64 QAM				
Sprawność kodowania	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
Tryb wg ITU						M1					M2	M3			
Fala ciągła i PAL/SECAM z teletekstem i nośnymi dźwięku	-12	-8	-4 (-5)	3 (2)	9 (6)	-8	-3 (-4)	3\ (0)	9	16	-3	3 (4)	10	17	24

Wartości dla PAL/SECAM obowiązują dla wszystkich trybów nośnej fonii używanych w Europie:

MONO FM z pojedynczą nośną dźwięku o poziomie - 10 dB w stosunku do nośnej wizji;

PODWÓJNA (DUAL) FM oraz FM + NICAM z dwiema podnośnymi dźwięku na poziomie -13 dB i -20 dB;

AM + NICAM z dwiema podnośnymi dźwięku odpowiednio -10 dB i -27dB.

We wszystkich tabelach występują warunki tzw. offsetu niekontrolowanego. Wprowadzenie precyzyjnego offsetu między sygnałem analogowym a cyfrowym pozwoliłoby na uzyskanie mniejszych wartości stosunku sygnał/zakłócenie, a więc mniejszych współczynników ochronnych. Przypadki offsetu precyzyjnego wymagają jednak dalszych studiów.

2.2.2 Zakłócenia od dolnego kanału sąsiedniego (n-1)

(Tabela A1.19)

Współczynniki ochronne (dB) dla DVB-T zakłócanej przez telewizję analogową w dolnym kanale sąsiednim (n-1)

Sygnał pożądaný			Sygnał zakłócający					
System	BW	Tryb	PAL B	PAL G,B1	PAL I	PAL D,K	SECAM L	SECAM D,K
DVB-T	8 MHz	M1			-43			
		M2			-38			
		M3			-34			
DVB-T	7 MHz	M1	-43					
		M2	-40					
		M3	-37					

Tabela A1.19

Współczynniki ochronne (dB) dla DVB-T 7 i 8 MHz zakłócanej przez telewizję analogową w dolnym kanale sąsiednim (n-1)

Sygnał pożądaný		Sygnał zakłócający					
Konstelacja	Sprawność kodowania	PAL B	PAL G,B1	PAL I	PAL D,K	SECAM L	SECAM D,K
QPSK	2/3	-44					
16QAM	1/2			-43			
16QAM	2/3	-42					
64QAM	1/2			-38			
64QAM	2/3	-35		-34			

2.2.3 Zakłócenia od górnego kanału sąsiedniego (n+1)

Tabela A1.20

Współczynniki ochronne (dB) dla DVB-T 7 i 8 MHz zakłócanej przez telewizję analogową w górnym kanale sąsiednim (n+1)

Sygnał pożądaný		Sygnał zakłócający
Konstelacja	Sprawność kodowania	PAL /SECAM
QPSK	2/3	-47
16QAM	2/3	-43
64QAM	2/3	-38

2.2.4 Zakłócenia od kanału lustrzanego

Tabela A1.21

Współczynniki ochronne (dB) dla DVB-T 7 i 8 MHz zakłócanej przez telewizję analogową w kanale lustrzanym

Sygnał pożądaný			Sygnał zakłócający					
(System) Konstelacja	(BW) Sprawność kodowania	Mod	PAL B	PAL G,B1	PAL I	PAL D,K	SECAM L	SECAM D,K
QPSK	2/3				-58*			
16QAM	1/2	M1			-58			
16QAM	2/3				-48*			
(DVB-T) 64QAM	(8 MHz) 1/2	M2			-50			
64QAM	2/3	M3			-46			

* wartość obliczona

Uwaga: współczynniki ochronne w tej tabeli będą zależeć od częstotliwości pośredniej odbiornika.

2.2.5 Zakłócenia od kanałów zachodzących na siebie*

Różnica częstotliwości Δf jest wyznaczana jako częstotliwość nośna wizji telewizyjnej analogowej minus środkowa częstotliwość sygnału DVB-T.

Tabela A1.22

Współczynniki ochronne (dB) dla DVB-T 8 MHz zakłócanej przez zachodzący kanał PAL B

DVB-T 8 MHz (ITU-M3, 64 QAM, sprawność kodu=2/3)													
Δf (MHz)	-9.75	-9.25	-8.75	-8.25	-6.75	-3.95	-3.75	-2.75	-0.75	2.25	3.25	4.75	5.25
PR	-37	-14	-8	-4	-2	1	(4) 3	(4) 3	(4) 3	2	-1	-29	-36

Tabela A1.23

Współczynniki ochronne (dB) dla DVB-T 7 MHz zakłócanej przez zachodzący kanał PAL B1, D

DVB-T 7 MHz (ITU-M3, 64 QAM, sprawność kodu=2/3)													
Δf (MHz) dla B1	-9.25	-8.75	-8.25	-7.75	-6.25	-3.45	-3.25	-2.25	-1.25	-1.75	2.75	4.25	4.75
Δf (MHz) dla D	-10.25	-9.75	-9.25	-8.75	-7.25	-3.45	-3.25	-2.25	-1.25	-1.75	2.75	4.25	4.75
PR	-37	-14	-8	-4	-2	1	(4) 3	(4) 3	(4) 3	2	-1	-29	-36

2.3 Telewizja analogowa zakłócana przez DVB-T

Wymienione wartości współczynnika ochronnego stosuje się w przypadku zakłócenia od jednego źródła. W rozdziale tym współczynniki ochronne dla sygnału pożądanego telewizyjnej analogowej zakłócanego przez niepożądany sygnał cyfrowy obejmuje tylko przypadki zakłóceń sygnałów wizji i koloru, tj. z wyłączeniem sygnałów dźwięku.

Zakłócenia troposferyczne odpowiadają stopniu pogorszenia jakości 3, tzn. akceptowane są w małym procencie czasu, pomiędzy 1% a 10%. Zakłócenia ciągłe odpowiadają stopniu pogorszenia jakości 4, tzn. akceptowane są w 50% czasu.

Pomiary współczynnika ochronnego dla sygnału pożądanego telewizyjnej analogowej powinny być wykonywane przy zastosowaniu metody opisanej w Załączniku do Zalecenia ITU-R 1368. Dla przypadku wspólnokanałowego zakłócenia cyfrowe od sygnałów DVB-T dają efekt podobny do szumu Gaussowskiego o takiej samej mocy w szerokości pasma odbiornika.

* Współczynniki ochronne dla zakłóceń od kanałów zachodzących na siebie są prowizoryczne i będą wymagać potwierdzenia na forum ITU-R.

2.3.1 Wspólnokanałowe współczynniki ochronne

Tabela A1.24

Współczynniki ochronne (dB) dla analogowego sygnału wizji TV zakłócanego przez DVB-T 8 MHz

Pożądany system telewizji analogowej	Zakłócenia troposferyczne	Zakłócenia ciągłe	Zakłócenia w skali 4, 5
PAL B, B1, G, D, K	34	40	
PAL I	37	41	45
SECAM L	(37) 34 do 37	(42) 41	
SECAM D, K	(35) 34 do 37	41	

Wartości w tabeli zostały wzięte z Zalecenia ITU-R 1368 i mogą ulec zmianie w efekcie przyszłych pomiarów.

Tabela A1.25

Współczynniki ochronne (dB) dla analogowego sygnału wizji TV zakłócanego przez DVB-T 7 MHz

Pożądany system telewizji analogowej	Zakłócenia troposferyczne	Zakłócenia ciągłe
PAL B	35	41
SECAM B	34 do 37	41

Wartości w tabeli zostały wzięte z Zalecenia ITU-R 1368 i mogą ulec zmianie w efekcie przyszłych pomiarów.

2.3.2 Zakłócenia od dolnego kanału sąsiedniego (n-1)

Tabela A1.26

Współczynniki ochronne (dB) dla analogowego sygnału wizji TV zakłócanego przez DVB-T 8 MHz w dolnym kanale sąsiednim (n-1)

Pożądany system telewizji analogowej	Zakłócenia troposferyczne	Zakłócenia ciągłe
PAL B1, G, D, K	(-7) -9	(-4) -5
PAL I	(-8) -9	(-4) -5
SECAM L	-9	(-7) -5
SECAM D,K	(-5) -9	(-1) -5

Tabela A1.27

Współczynniki ochronne (dB) dla analogowego sygnału wizji TV zakłócanego przez DVB-T 7 MHz w dolnym kanale sąsiednim (n-1)

Pożądaný system telewizji analogowej	Zakłócenia troposferyczne	Zakłócenia ciągłe
PAL B	(-11) -9	(-4) -5

2.3.3 Zakłócenia od górnego kanału sąsiedniego (n+1)

Tabela A1.28

Współczynniki ochronne (dB) dla analogowego sygnału wizji TV zakłócanego przez DVB-T 7 MHz 8 MHz w górnym kanale sąsiednim (n+1)

Pożądaný system telewizji analogowej	Zakłócenia troposferyczne	Zakłócenia ciągłe
PAL B1, G	-9	(-7) -5
PAL I	(-10) -9	(-6) -5
SECAM L	-1	-1
SECAM D, K	(-8) -9	-5
PAL D, K	-9	-5

(Tabela A1.29)

Współczynniki ochronne (dB) dla analogowego sygnału wizji TV zakłócanego przez DVB-T 7 MHz w górnym kanale sąsiednim (n+1)

Pożądaný system telewizji analogowej	Zakłócenia troposferyczne	Zakłócenia ciągłe
PAL B	-5	-3

2.3.4 Zakłócenia od kanału lustrzanego

Tabela A1.30

Współczynniki ochronne (dB) dla analogowego sygnału wizji TV zakłócanego przez DVB-T 8 MHz w kanale lustrzanym

Pożądany system telewizji analogowej	Niepożądany kanał DVB-T	Zakłócenia troposferyczne	Zakłócenia ciągłe
PAL B1, G	n + 9	-19	-15
PAL I	n + 9		
SECAM L	n - 9	-25	-22
SECAM D, K	n + 8	-16	-11
SECAM D, K	n + 9	-16	-11
PAL D, K	n + 8		
PAL D, K	n + 9		

Tabela A1.30a

Współczynniki ochronne (dB) dla analogowego sygnału wizji TV zakłócanego przez DVB-T 7 MHz w kanale lustrzanym

Pożądany system telewizji analogowej	Niepożądany kanał DVB-T	Zakłócenia troposferyczne	Zakłócenia ciągłe
PAL B	n + 10	-22	-18
PAL B	n + 11	-21	-18
SECAM B			

2.3.5 Zakłócenia od kanałów zachodzących na siebie *

* Współczynniki ochronne dla zakłóceń od kanałów zachodzących na siebie są prowizoryczne i będą wymagać potwierdzenia na forum ITU-R.

Tabela A1.31
Współczynniki ochronne (dB) dla sygnału wizji w systemie PAL B1, D zakłócanego
przez zachodzący kanał DVB-T 7 MHz

Różnica częstotliwości (MHz) między DVB-T i sygnałem PAL	Zakłócenia troposferyczne	Zakłócenia ciągłe
Środkowa częstotliwość sygnału DVB-T minus nośna wizji sygnału telewizyjnego analogowego		
-7.75	-16 (-13)	-11 (-8)
-4.75 kanał n - 1	-9 (-10)	-5 (-4)
-4.25	-4	3 (2)
-3.75	13 (14)	20 (21)
-3.25	23 (25)	30 (32)
-2.75	30 (31)	37
-1.75	34	41
-0.75	35	41
2.25 wspólny kanał n	35	41
4.25	35	41
5.25	31 (32)	38
7.25	25	34
(7.75)	(20)	(29)
8.25	4 (6)	9 (13)
(8.75)	(-5)	(-2)
9.25 kanał n + 1	-9 (-7)	-5 (-4)
12.25	-9	-5 (-3)

Tabela A1.32
Współczynniki ochronne (dB) dla sygnału wizji w systemie PAL B1, D zakłócanego
przez zachodzący kanał DVB-T 8 MHz

Różnica częstotliwości (MHz) między DVB-T i sygnałem PAL	Zakłócenia troposferyczne	Zakłócenia ciągłe
Środkowa częstotliwość sygnału DVB-T minus nośna wizji sygnału telewizji analogowej		
-7.25	-16 (-11)	-11(-6)
-5.25	-9 (-10)	-5 (-1)
-4,75	-5	2
-4,25	12	19
-3.75	23 (13)	30 (20)
-3.25	29 (24)	36 (31)
(-2.75)	(30)	(36)
-2.25	33	40
-1.25	34	40
-0.25	34	40
2.75 wspólny kanał n	35 (34)	41 (40)
4.75	34	40
5.75	30 (33)	37 (39)
6,75	25	8
7.75	20 (27)	29 (35)
8.25	24	33
8.75	3 (19)	8 (28)
(9.25)	(5)	(12)
9,75	-9	-5
(10.75)	(-5)	(-3)
12.75	-9 (-7)	-5 (-2)

Tablica ta została otrzymana z Tablicy A1.31 przy uwzględnieniu jako sygnału zakłócającego DVB-T 8 MHz.

*) Dla wszystkich odmian systemu SECAM oczekiwane są podobne wartości. Są one przedmiotem studiów.

**) Wartości dla zakłóceń ciągłych i troposferycznych pochodzą z obliczeń przy użyciu Tabeli A1.31.

2.4 Zakłócenia sygnału fonii towarzyszącej telewizji analogowej przez DVB-T

W rozdziale tym wszystkie przedstawiane wartości odniesione są do poziomu pożądanego sygnału nośnej dźwięku.

Wartości odniesienia stosunku sygnału do szumu (S/N, p.-p. ważony) dla sygnału dźwięku telewizji analogowej są następujące:

- 40 dB dla zakłóceń troposferycznych (zbliżone do stopnia pogorszenia jakości 3)
- 48 dB dla zakłóceń ciągłych (zbliżone do stopnia pogorszenia jakości 4)

Wartości odniesienia bitowej stopy błędów dla cyfrowego sygnałów dźwięku NICAM są następujące:

- $1 \cdot 10^{-4}$ dla zakłóceń troposferycznych ((zbliżone do stopnia pogorszenia jakości 3)
- $1 \cdot 10^{-5}$ dla zakłóceń ciągłych ((zbliżone do stopnia pogorszenia jakości 4)

W przypadku gdy nadawane są dwie podnośne dźwięku, każda z nich musi być rozważana oddzielnie.

Tabela A1.33

Współczynniki ochronne (dB) dla sygnału fonii towarzyszącej telewizji analogowej zakłócanego przez sygnał DVB-T

Współczynnik ochronny w dB		Sygnał zakłócający	
Pożyczany sygnał fonii		DVB-T 7 MHz	DVB-T 8 MHz
FM	Troposferyczne	6	5
	Ciągłe	16	15
AM	Troposferyczne		
	Ciągłe		
NICAM System B, B1, G	Troposferyczne		
	Ciągłe		
NICAM System L	Troposferyczne	5	4
	Ciągłe	6	5
NICAM System I	Troposferyczne		
	Ciągłe		

W tabeli podano współczynniki ochronne dla różnicy między częstotliwością środkową sygnału fonii a częstotliwością środkową DVB-T równa jest 0 kHz

Tabela A1.34
Współczynniki ochronne (dB) dla sygnału fonii FM telewizji analogowej zakłócanej przez DVB-T 8 MHz

DVB-T 8 MHz (Δf - różnica częstotliwości środkowej sygnału DVB-T i częstotliwości środkowej sygnału FM w MHz)									
Różnica częstotliwości Δf	-5*	-4.2*	-4	-3.5	0	3.5	4	4.2	4.5
Zakłócenia troposferyczne	-1	-1	4	5	5	4	2	-18	-33
Zakłócenia ciągłe	8	8	13	15	15	14	11	-12	-28

* większa ochrona dla mniejszych częstotliwości spowodowana jest zniekształceniami różnicowymi nośnej wizji.

Tabela A1.35
Współczynniki ochronne (dB) dla sygnału fonii FM telewizji analogowej zakłócanej przez DVB-T 7 MHz

DVB-T 7 MHz (Δf - różnica częstotliwości środkowej sygnału DVB-T i częstotliwości środkowej sygnału FM w MHz)									
Różnica częstotliwości Δf	-5*	-3.7*	-3.5	-3	0	3	3.5	3.7	> 4
Zakłócenia troposferyczne	0	0	5	6	6	5	3	-17	< -32
Zakłócenia ciągłe	9	9	14	16	16	15	12	-11	< -27

* większa ochrona dla mniejszych częstotliwości spowodowana jest zniekształceniami różnicowymi nośnej wizji.

2.5 DVB-T zakłócana przez T-DAB

Tabela A1.36

Współczynniki ochronne (dB) dla DVB-T 8 MHz zakłócanej przez T-DAB

DVB-T 8 MHz (ITU Tryb M3, 64 QAM, kod 2/3)									
$\Delta f = \text{Środkowa częstotliwość T-DAB minus środkowa częstotliwość DVB-T}$									
Δf (MHz)	-5	-4.2	-4	-3	0	3	4	4.2	5
PR	-30	-6	-5	28	29	28	-5	-6	-30

Tabela A1.37

Współczynniki ochronne (dB) dla DVB-T 7 MHz zakłócanej przez T-DAB

DVB-T 7 MHz (ITU Tryb M3, 64 QAM, kod 2/3)									
$\Delta f = \text{Środkowa częstotliwość T-DAB minus środkowa częstotliwość DVB-T}$									
Δf (MHz)	-4.5	-3.7	-3.5	-2.5	0	2.5	3.5	3.7	4.5
PR	-30	-6	-5	28	29	28	-5	-6	-30

2.6 T-DAB zakłócana przez DVB-T

Tabela A1.38

Współczynniki ochronne (dB) dla T-DAB zakłócanego przez DVB-T 8 MHz

DVB-T 8 MHz (ITU Tryb M3, 64 QAM, sprawność kodu 2/3)									
$\Delta f = \text{Środkowa częstotliwość DVB-T minus środkowa częstotliwość T-DAB}$									
Δf (MHz)	-5	-4.2	-4	-3	0	3	4	4.2	5
PR	-50	-1	0	1	1	1	0	-1	-50

Tabela A1.39

Współczynniki ochronne (dB) dla T-DAB zakłócanego przez DVB-T 7 MHz

DVB-T 7 MHz (ITU Tryb M3, 64 QAM, sprawność kodu 2/3)									
$\Delta f = \text{Środkowa częstotliwość DVB-T minus środkowa częstotliwość T-DAB}$									
Δf (MHz)	-4.5	-3.7	-3.5	-2.5	0	2.5	3.5	3.7	4.5
PR	-49	0	1	2	2	2	1	0	-49

3. Kompatybilność telewizji cyfrowej DVB-T z radioastronomią w paśmie częstotliwości 608-614 MHz

3.1 Wstęp

W paśmie częstotliwości 608-614MHz w niektórych krajach europejskich (także w Polsce) prowadzone są obserwacje radioastronomiczne. Służby radioastronomiczne w tym paśmie mimo swego drugorzędnego charakteru (ang. *secondary service*) mają szczególną pozycję. W Regulaminie Radiokomunikacyjnym na podstawie przypisu S5.149 poleca się administracjom ochronę służb radioastronomicznych. W związku z tym należało opracować kryteria kompatybilności umożliwiające ochronę radioastronomii w tym paśmie przed zakłóceniami pochodzącymi od DVB-T. Prace w tym względzie prowadzone były w ramach Zespołu Projektowego CEPT PT SE27, w których uczestniczył przedstawiciel IŁ Wrocław. Ponieważ sprawa radioastronomii dotyczyła szczególnie Polski, gdyż na kilka obserwatoriów europejskich pracujących w tym paśmie 2 pracują w Polsce, główny ciężar prac spadł na stronę polską. Zaowocowało to publikacją dokumentów w ramach SE27, z których ostatni

został zaakceptowany przez SE27 oraz SE WG jako materiał wyczerpujący zagadnienia kompatybilności DVB-T i radioastronomii.

3.2 Wymagania ochronne

W celu ochrony radioastronomii definiuje się maksymalne widmowe gęstości mocy sygnałów zakłócających, które są dopuszczalne w określonych pasmach częstotliwości w Zaleceniu ITU-R RA.769 [10]. W paśmie 608-614MHz wartości ochronne są następujące:

Typ obserwacji:	Poziom ochronny:
Pojedynczy teleskop	-253 dB(W/m ² Hz)
Interferometr	-247 dB(W/m ² Hz)
VLBI	-211dB(W/m ² Hz) (w 1% czasu)

Poziom ochronny zależy od typu obserwacji i jest określany dla każdego obserwatorium oddzielnie, w zależności od tego jaki rodzaj prac jest prowadzony.

Podane wartości szkodliwych zakłóceń nie mogą przekraczać 10% czasu obserwacji a w przypadku VLBI 1% czasu. W ramach ITU prowadzone są prace zmierzające do zmniejszenia tych procentów czasu.

3.3 Maksymalna dopuszczalna gęstość strumienia mocy sygnału zakłócającego

Maksymalna dopuszczalna gęstość strumienia mocy sygnału zakłócającego zależy od pasma zajmowanego przez sygnał zakłócający.

W przypadku DVB-T zakłócać jest całe pasmo radioastronomiczne (6MHz = 68dBHz). W tym przypadku maksymalna dopuszczalna gęstość strumienia mocy sygnału zakłócającego przyjmuje następujące wartości:

Pojedynczy teleskop:	$-253 + 68 = -185$ dB(W/m ²)
Interferometr:	$-247 + 68 = -179$ dB(W/m ²)
VLBI:	$-211 + 68 = -143$ dB(W/m ²) (1% czasu)

3.4 Maksymalna wartość natężenia pola sygnału zakłócającego

Maksymalna gęstość strumienia mocy sygnału zakłócającego może zostać przekształcona na maksymalną wartość natężenia pola sygnału zakłócającego przy założeniu, że dotyczy to pasma 608-614MHz. Odpowiednie wartości będą następujące:

Pojedynczy teleskop:	-39 dB μ V/m
Interferometr:	-33 dB μ V/m
VLBI:	+3 dB μ V/m (1% czasu)

Powyższe wartości dotyczą pojedynczego sygnału zakłócającego DVB-T.

3.5 Zakłócenia wspólnokanałowe

Zakłócenia wspólnokanałowe powstają, gdy nadajnik DVB-T pracuje w kanale 38 telewizji (606-614MHz) i w ten sposób wprowadza sygnał zakłócający do radioastronomii w paśmie 608-614MHz.

3.5.1 Poziom odniesienia sygnału zakłócającego

W przypadku DVB-T całe pasmo radioastronomiczne 608-614 MHz podlega zakłóceniom pochodzącym od telewizji cyfrowej pracującej w kanale 38. Zakłócenia pochodzą od 3/4 pasma DVB-T (6 z 8MHz). Oznacza to, że poziom sygnału zakłócającego w paśmie radioastronomicznym 608-614MHz będzie o 1.2dB ($10\log\{6/8\}$)mniejszy niż poziom sygnału DVB-T w całym kanale 38. Oznacza to, że dopuszczalne poziomy zakłóceń radioastronomii w przypadku DVB-T należy powiększyć o 1.2dB.

3.5.2 Maksymalne dopuszczalne natężenie pola w kanale 38

W związku z rozważaniami umieszczonymi powyżej w przypadku dowolnego nadajnika DVB-T pracującego w kanale 38 maksymalne dopuszczalne natężenie pola sygnału pochodzącego od nadajnika DVB-T wyniesie:

Pojedynczy teleskop:	$-39 + 1.2 = -37.8$ dB μ V/m
Interferometr:	$-33 + 1.2 = -31.8$ dB μ V/m
VLBI:	$+3 + 1.2 = 4.2$ dB μ V/m (1% czasu)

3.6 Zakłócenia sąsiedniokanałowe

3.6.1 Poziomy odniesienia sygnałów zakłócających

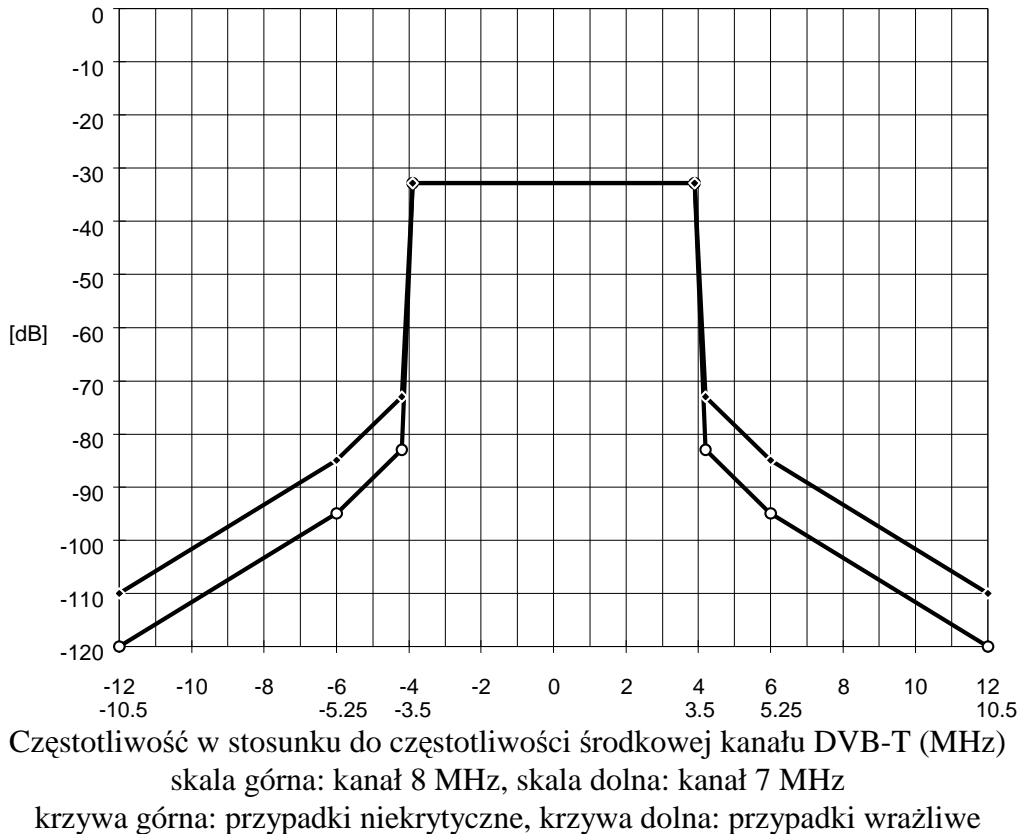
Moc sygnału DVB-T pochodzącego od kanałów sąsiednich (37 i 39) zakłócająca systemy radioastronomiczne w paśmie 608-614MHz może zostać wyznaczona poprzez scałkowanie odpowiedniej części maski widma DVB-T umieszczonej w raporcie EBU [1] (rys.1).

W stosunku do promieniowanej mocy odniesienia 0 dBW moc sygnału zakłócającego P_i pochodząca od nadajnika pracującego w kanale 37 lub 39 jest następująca:

P_i (zakłócenia od nadajnika w kanale 37) = - 66.2 dBW (ERP)

P_i (zakłócenia od nadajnika w kanale 39) = - 45.8 dBW (ERP)

Poziom mocy mierzony w paśmie 4 kHz, gdzie 0 dB odpowiada całkowitej mocy wyjściowej



Rys. 1. Maski widma DVB-T dla przypadków niekrytycznych i wrażliwych

Punkty graniczne dla rysunku 1

Punkty graniczne					
Częstotliwość względna MHz	Kanały 8 MHz		Częstotliwość względna MHz	Kanały 7 MHz	
	Przypadek niekrytyczny	Przypadek wrażliwy		Przypadek niekrytyczny	Przypadek wrażliwy
	Poziom względny dB	Poziom względny dB		Poziom względny dB	Poziom względny dB
-12.0	-110.0	-120.0	-10.5	-110.0	-120.0
-6.0	-85.0	-95.0	-5.25	-85.0	-95.0
-4.2	-73.0	-83.0	-3.7	-73.0	-83.0
-3.9	-32.8	-32.8	-3.4	-32.8	-32.8
+3.9	-32.8	-32.8	+3.4	-32.8	-32.8
+4.2	-73.0	-83.0	+3.7	-73.0	-83.0
+6.0	-85.0	-95.0	+5.25	-85.0	-95.0
+12.0	-110	-120.0	+10.5	-110	-120.0

3.6.2 Maksymalne dopuszczalne natężenia pola sygnałów DVB-T w kanałach 37 i 39

W przypadku nadajników pracujących w kanale 37 maksymalny dopuszczalny poziom sygnałów zakłócających jest następujący:

Pojedynczy teleskop: $-39 + 66.2 = 27.2 \text{ dB}\mu\text{V/m}$
Interferometr: $-33 + 66.2 = 33.2 \text{ dB}\mu\text{V/m}$
VLBI: $+3 + 66.2 = 69.2 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ (1% czasu)

W przypadku nadajników pracujących w kanale 39 maksymalny dopuszczalny poziom sygnałów zakłócających jest następujący:

Pojedynczy teleskop: $-39 + 45.8 = 6.8 \text{ dB}\mu\text{V/m}$
Interferometr: $-33 + 45.8 = 12.8 \text{ dB}\mu\text{V/m}$
VLBI: $+3 + 45.8 = 48.8 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ (1% czasu)

3.7 Odległości separacyjne

Minimalne odległości separacyjne między obserwatoriami radioastronomicznymi i nadajnikami DVB-T mogą być wyznaczone przy wykorzystaniu zdefiniowanych w poprzednich paragrafach dopuszczalnych poziomów zakłócających oraz przy wykorzystaniu krzywych propagacyjnych odpowiednich dla pasma 608-614MHz, pochodzących z Zalecenia ITU-R P.370 [11].

Poniżej przedstawiono przykładowe wartości odległości separacyjnych

- sytuacja wspólnokanałowa

Moc nadajnika DVB-T = 1 kW (ERP)
częstotliwość pracy = kanał 38
skuteczna wysokość anteny nadawczej = 150 m.
wysokość anteny odbiorczej = 10 m.

Maksymalne dopuszczalne natężenie pola sygnału zakłócającego w tym przypadku prowadzi do następujących wymaganych minimalnych odległości separacyjnych między nadajnikiem DVB-T a obserwatorium:

pojedynczy teleskop - nadajnik DVB-T:	$\approx 640 \text{ km}$
Interferometr - nadajnik DVB-T:	$\approx 570 \text{ km}$
VLBI - nadajnik DVB-T (1% czasu):	$\approx 280 \text{ km}$

- sytuacja sąsiedniokanałowa

Moc nadajnika DVB-T = 1 kW (ERP)
Częstotliwość pracy = kanał 37 lub 39
Skuteczna wysokość anteny nadawczej = 150 m.
Wysokość anteny odbiorczej = 10 m.

kanal 37:

Maksymalne dopuszczalne natężenie pola w tym przypadku odpowiada następującym minimalnym odległościom separacyjnym: (50% miejsc, 10% czasu):

pojedynczy teleskop - nadajnik DVB-T:	≈ 85 km
Interferometr - nadajnik DVB-T:	≈ 67 km
VLBI - nadajnik DVB-T (1% czasu):	≈ 14.5 km

kanal 39:

Maksymalne dopuszczalne natężenie pola w tym przypadku odpowiada następującym minimalnym odległościom separacyjnym: (50% miejsc, 10% czasu):

pojedynczy teleskop - nadajnik DVB-T:	≈ 190 km
Interferometr - nadajnik DVB-T:	≈ 150 km
VLBI - nadajnik DVB-T (1% czasu):	≈ 37 km

W przypadku kolejnych sąsiednich kanałów (36 i 40) można określić odpowiednie poziomy dopuszczalnych sygnałów zakłócających oraz minimalnych odległości separacyjnych postępując według reguł stosowanych wcześniej.

Dla innych niż podane powyżej przykładowe wartości mocy nadajników, wymagane odległości separacyjne można wyznaczyć korzystając z metody podanej powyżej, wykorzystując dopuszczalne poziomy sygnałów zakłócających oraz krzywe propagacyjne z Zalecenia 370.

3.8 Współczynniki ochronne dla radioastronomii zakłócaonej przez DVB-T

W przypadku ochrony radioastronomii w kanale 38 telewizji można wykorzystać podane poniżej współczynniki ochronne w zależności od różnicy częstotliwości (offsetu) Δf . Offset jest tutaj definiowany jako różnica między częstotliwością środkową sygnału DVB-T a środkową częstotliwością pasma radioastronomicznego (611 MHz).

Dyskryminacja anteny odbiorczej radioastronomii RD: 0 dB (na wszystkich azymutach)

Procent czasu zakłóceń:

- 10% dla pojedynczego teleskopu i Interferometru
- 1% dla VLBI

Chronione natężenia pola i wysokości anten odbiorczych:

Rodzaj obserwacji	Chronione natężenie pola	Wysokość anteny odbiorczej[m]
Pojedynczy teleskop	-39 dB μ V/m.	50
Interferometr	-33 dB μ V/m.	10
VLBI	+3 dB μ V/m.	50

Współczynniki ochronne:

Δf [MHz]	-9	-7.0	-6.8	0	6.8	7.0	9
PR [dB]	-66.2	-45.8	-1.2	-1.2	-1.2	-45.8	-66.2

3.9 Komputerowa analiza kompatybilności

W przypadku szczegółowych, komputerowych analiz kompatybilności DVB-T z radioastronomią w kanale 38 należy dodatkowo wyspecyfikować dla każdego obserwatorium astronomicznego:

- położenie geograficzne obserwatorium,
- wysokość obserwatorium nad poziomem morza.

W Polsce obserwacje radioastronomiczne w kanale 38 prowadzone są w obserwatoriach w Krakowie i w Toruniu, a odpowiednie dane tych obserwatoriów umieszczono poniżej.

Obserwatorium	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość [m.n.p.m.]
Kraków	19°49'36''	50°03'18''	314
Toruń	18°33'50.05''	53°05'43.9''	100

3.10 Podsumowanie

Odległości separacyjne między obserwatoriami radioastronomicznymi a nadajnikami telewizyjnymi DVB-T pracującymi w kanałach telewizyjnych 36-40 zależą głównie od rodzaju prowadzonych obserwacji oraz od mocy nadajników telewizji cyfrowej. Przedstawiono przykładowe odległości separacyjne dla nadajnika DVB-T o mocy 1kW. W przypadku większych mocy nadajników wymagane odległości separacyjne wzrosną. Dystanse separacyjne są stosunkowo duże, a w przypadku kanałów 37, 38, 39 mogą dochodzić do kilkuset km i więcej. Należy podkreślić jednak, że jest to wynikiem niezwykle czułych odbiorników radioastronomicznych, które mogą być zakłócone nawet przez bardzo małe sygnały. Podobne odległości separacyjne (rzędu kilkuset km) występują w Raporcie 36 ERC dotyczącym kompatybilności radioastronomii w paśmie 3.4GHz - 105GHz [6]. Poniżej 10GHz odległości separacyjne wynoszą często powyżej 500km. W pasmach telewizyjnych, gdzie warunki propagacji naziemnej są znacznie korzystniejsze niż powyżej 3.4 GHz można się więc spodziewać znacznie większych odległości separacyjnych. Podane zatem obliczone wartości przykładowe można uznać za wiarygodne. Problematyczne stanie się więc w Polsce użytkowanie kanału 38 dla potrzeb DVB-T oraz również w pewnym stopniu kanałów sąsiednich - 36, 37, 39, 40. Problem ten jest dość szczególny, gdyż od wielu lat w Polsce kanał 38 jest wykorzystywany dla nadajników dużej mocy telewizji analogowej. Ponieważ poziomy ochronne radioastronomii nie zależą od rodzaju sygnału zakłócającego, dlatego wartości podane powyżej należałoby stosować również dla telewizji analogowej. Nadajniki dużej mocy pracujące w kanale 38 występowały już w Planie Sztokholmskim i użytkowane są od wielu lat, zanim jeszcze wprowadzono przypis do Regulaminu Radiokomunikacyjnego nakazujący ochronę radioastronomii w kanale 38. Należy zadać sobie pytanie jak jest możliwa koegzystencja obserwacji astronomicznych w kanale 38 oraz nadajników dużej mocy TV analogowej w tym samym paśmie? Prawdopodobnie ze względu na znaczny poziom zakłóceń od nadajników telewizyjnych występujący w tym paśmie stale od wielu lat, obserwacje radioastronomiczne w paśmie 608-614MHz nie są u nas prowadzone, lub też były prowadzone podczas okresowego wyłączenia nadajników w nocy. Obecnie nadajniki pracują 24 godziny na dobę i zapewne nie jest możliwe prowadzenie poprawnych obserwacji radioastronomicznych. Tak więc pozostaje pytanie - czy radioastronomowie w Polsce rzeczywiście potrzebują ochrony pasma 608-614MHz, a jeśli tak, to jaką politykę gospodarki widmem należy w tym względzie prowadzić? Odstąpienie bowiem od transmisji w kanale 38

telewizji i ograniczone wykorzystywanie kanałów sąsiednich wiązałoby się ze znacznymi kosztami przestrajania nadajników i być może niemożnością dobrania innych kanałów telewizyjnych dużej mocy zastępujących kanał 38 i sąsiednie.

4. KOMPATYBILNOŚĆ SŁUŻB WOJSKOWYCH PRACUJĄCYCH W PASMACH TELEWIZYJNYCH Z DVB-T

Sprawa kompatybilności służb wojskowych pracujących w pasmach telewizyjnych jest jedną z najważniejszych spraw kompatybilności DVB-T z innymi służbami w skali europejskiej.

Kraje byłego Układu Warszawskiego stosowały w kanałach telewizyjnych systemy radionawigacji lotniczej na podstawie odpowiedniego przypisu do Regulaminu Radiokomunikacyjnego i na podstawie tego przypisu mogą użytkować te systemy nadal. Pojawia się więc problem wzajemnego współużytkowania widma przez systemy wojskowe i DVB-T. Problem ten w pierwszym wzglądzie dotyczyć będzie koordynacji międzynarodowej stacji DVB-T, które będą zgłaszane z zagranicy, a które mogą pracować w tych samych pasmach częstotliwości co krajowe systemy wojskowe. Aby umożliwić skuteczne i obiektywne ocenianie sytuacji kompatybilnościowej konieczna jest znajomość współczynników ochronnych i dopuszczalnych poziomów zakłóceń. Należy więc przeprowadzić odpowiednie pomiary. Do chwili obecnej kompleksowe badanie odporności systemów wojskowych na zakłócenia pochodzące od DVB-T przeprowadzili jedynie Węgrzy. Zaprezentowali oni część wyników pomiarów na forum CEPT. Pełną dokumentację pomiarową posiada także IŁ Wrocław. Ponieważ te systemy wojskowe wykorzystywane są przez wiele innych krajów byłego Układu Warszawskiego konieczne będzie wspólne ustalenie kryteriów ochronnych. Węgrzy zaproponowali, aby dokumentacje pomiarowe zostały przekazane wszystkim administracjom krajów byłego Układu Warszawskiego, a następnie w drodze konsultacji i ewentualnych spotkań podjęte zostaną wspólne ustalenia kryteriów ochrony. Jest to dla nas szczególnie istotny aspekt sprawy, gdyż prawdopodobnie za kilka lat obecnie funkcjonujące systemy wojskowe zostaną zastąpione przez inne, natomiast w krajach z nami sąsiadujących (np. Białoruś, Ukraina) nadal prawdopodobnie wykorzystywane będą systemy, które funkcjonują obecnie u nas. W związku z tym wspólne ustalenie kryteriów ochrony służb wojskowych z tymi krajami umożliwi w przyszłości koordynację polskich stacji DVB-T pracujących w pasmach współużytkowanych z radionawigacją lotniczą ze służbami wojskowymi tych krajów.

W Polsce obecnie pracują następujące systemy wojskowe w pasmach telewizyjnych:

- System identyfikacji „przyjaciel-wróg” IFF (identification friend-foe) w kanałach 43-46
- System aktywnej odpowiedzi SOD w kanałach 54-55
- System radionawigacji lotniczej RSBN w kanałach 61-63
- System radarów radionawigacyjnych RSP w kanałach 66-69

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. Moc nadajnika naziemnego wynosi 36dBW natomiast moc nadajnika na samolocie 33dBW. Czułość odbiornika naziemnego wynosi -105dBW a odbiornika na samolocie -100dBW.

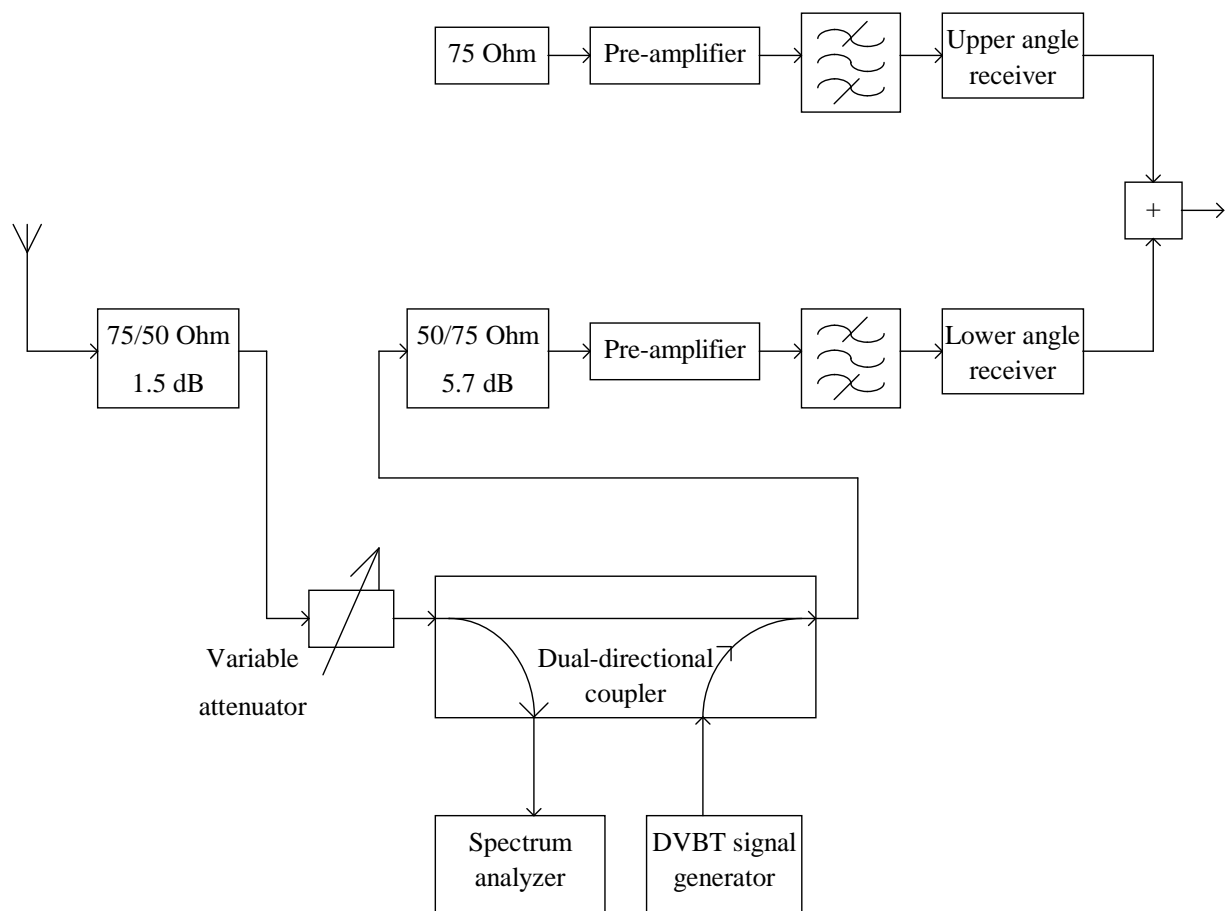
System SOD jest częścią złożonego systemu radionawigacyjnego i w pasmach telewizyjnych (kanały 54-55) występuje jedynie transmisja na trasie samolot-ziemia. Urządzenia na pokładzie samolotu posiadają moc 23dBW a odbiorniki na ziemi czułość -65dBW.

System RSBN jest złożonym systemem radionawigacyjnym. W pasmach telewizyjnych występuje jedynie część transmisji systemu RSBN wykorzystująca nadawanie z samolotu do ziemi. Moc nadajnika na samolocie to 27dBW a czułości minimalne odbiorników naziemnych osiągają wartość -121dBW.

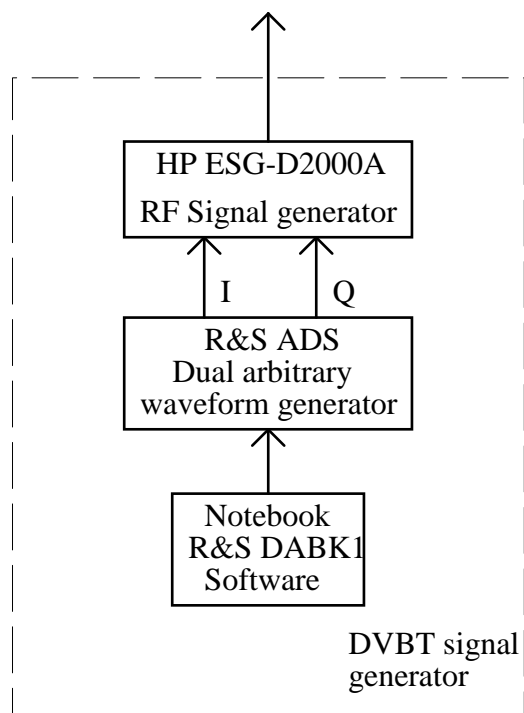
W kanałach 66-69 występuje ponadto system radarowy RSP, który składa się wyłącznie z części naziemnej. Moc nadajnika wynosi 53.5dBW a czułość odbiornika -135dBW.

Jednym z podstawowych problemów ochrony służb wojskowych jest określenie poziomu ochronnego. Najbezpieczniejsza sytuacja występuje wtedy, gdy poziom ochronny odpowiada poziomowi czułości odbiornika, gdyż wówczas nawet przy bardzo niskim sygnale równym poziomowi czułości odbiornik będzie pracował prawidłowo. Niestety wykorzystywane w różnych krajach urządzenia odbiorcze mają różne czułości, co więcej - nawet w Polsce występują różne urządzenia tego samego systemu mające różne poziomy czułości. Najbezpieczniejszą, z punktu widzenia służb wojskowych, byłaby więc sytuacja, w której pod uwagę brałoby się urządzenia najbardziej czułe i dla nich ustalano poziom ochronny. Niestety prowadzić to może do bardzo krytycznych wartości poziomów ochronnych, które nie pozwolą na uruchomienie wielu przyszłych stacji DVB-T. Ponadto w opinii specjalistów węgierskich należy rozróżnić „czułość urządzenia”, która definiuje minimalny poziom sygnału, który może być odebrany przez odbiornik od „czułości systemowej”, która definiuje minimalny użyteczny poziom sygnału podczas normalnej pracy systemu. W ich opinii należy brać pod uwagę tą drugą wartość, która jest z reguły o 6-10dB większa od przeciętnej czułości odbiorników wojskowych. Problem przyjętego progu ochronnego będzie kluczową sprawą w trakcie uzgodnień międzynarodowych w ramach krajów byłego Układu Warszawskiego. Aby umożliwić zajmowanie stanowiska administracji polskiej w trakcie takich uzgodnień podjęto decyzje o przeprowadzeniu w Polsce pomiarów kompatybilności urządzeń wojskowych i DVB-T. W pracach tych uczestniczyć będzie m.in. IŁ Wrocław a ich wyniki spodziewane są w przyszłym roku. Pomiary te pozwolą na weryfikację wartości zmierzonych przez Węgrów oraz umożliwią aktywny udział Polski w tworzeniu norm kompatybilności tych służb z DVB-T.

Schemat układu pomiarowego odporności sygnału RSBN wykonanego przez Węgrów podano na rys. 2. Na rys. 3 podano schemat układu generatora sygnału DVB-T wykorzystującego generator sygnałowy firmy Rohde-Schwarz wraz z odpowiednim oprogramowaniem.



Rys. 2 Schemat układu pomiarowego odporności systemu RSN na zakłócenia pochodzące od DVB-T



Rys. 3. Schemat układu generującego sygnał DVB-T w pomiarach węgierskich

W Tabeli 4.1 podano wyniki pomiarów współczynników ochronnych systemu RSBN przeprowadzonych przez Węgrów. Należy zauważyć, że chronionym poziomem sygnału użytecznego jest w niej poziom -102.7 [dBW] podczas gdy urządzenia polskie mają czułość nawet -121 [dBW] co mogłoby mieć radykalny wpływ na wymagania ochronne. W tabeli poziomowi „lose” odpowiada całkowita utrata informacji przesyłanej przez system RSBN a poziomowi „find” utrata 50% odbieranych impulsów.

Miejsce Kecskemet, Hungary					
Data pomiarów: 21 lipiec 1997					
RSBN					
Użyteczny sygnał	-102.7	[dBW]			
Tłumienie sygnału DVB-T:	29.2	[dB]			
współczynnik ochronny = użyteczny poziom sygnału-(poziom sygnału wyjściowego DVB-T - tłumienie sygnału DVB-T) [dB]					
Różnica	DVB-T	DVB-T			DVB-T
częstotliwości	poziom wyjściowy	poziom wyjściowy	współczynnik ochronny	współczynnik ochronny	częstotliwość
DVB-T-RSzBN	lose	find	lose	find	średkowa
[MHz]	[dBmW]	[dBmW]	[dB]	[dB]	[MHz]
-18	17	17	-60.5	-60.5	790
-16	17	14	-60.5	-57.5	792
-14	17	14	-60.5	-57.5	794
-12	17	13	-60.5	-56.5	796
-10	8	4	-51.5	-47.5	798
-9	-1	-4	-42.5	-39.5	799
-8	-9	-14	-34.5	-29.5	800
-7	-8	-10	-35.5	-33.5	801
-6	-26	-31	-17.5	-12.5	802
-4	-35	-40	-8.5	-3.5	804
-2	-35	-41	-8.5	-2.5	806
0	-35	-42	-8.5	-1.5	808
2	-35	-42	-8.5	-1.5	810
4	-33	-38	-10.5	-5.5	812
6	-26	-32	-17.5	-11.5	814
7	7	4	-50.5	-47.5	815
8	7	3	-50.5	-46.5	816
10	10	4	-53.5	-47.5	818
12	11	5	-54.5	-48.5	820
14	11	5	-54.5	-48.5	822
16	11	5	-54.5	-48.5	824
18	17	10	-60.5	-53.5	826
20	17	14	-60.5	-57.5	828

Tabela 4.1 Wyniki pomiarów współczynników ochronnych przy zakłócaniu RSBN przez DVB-T wykonanych przez Węgrów

5. PROBLEMATYKA ZAKŁÓCEŃ WNOSZONYCH DO DVB-T

W chwili obecnej występuje dość 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? Prawdopodobnie problem ten nie będzie dotyczył wielkich światowych koncernów elektronicznych dbających o jakość swoich produktów, lecz część niezbyt bogatych, małych firm może wyprodukować odbiorniki nie spełniające kryteriów odporności na zakłócenia. Należy jednak uznać, że odbiorniki nie spełniające podstawowych kryteriów odporności nie będą mogły stanowić podstawy do określania współczynników ochronnych, które z reguły dotyczą pewnego średniego poziomu odbiorników a nie wszystkich odbiorników w ogóle. Sprawa odporności urządzeń radio- i telekomunikacyjnych w ogóle, jest dość skomplikowana od czasu gdy Europejski Instytut do spraw Standaryzacji w dziedzinie Telekomunikacji (ETSI) przestał umieszczać w normach systemowych wymaganą wartość współczynnika C/I (carrier-interference) definiującego wymagany stosunek sygnału użytecznego do sygnałów zakłócających.

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.

Kraje skandynawskie, które należą do najbardziej zaawansowanych w pracach nad DVB-T postanowiły, m.in. z powodu braku ustaleń międzynarodowych, opracować własną normę definiującą parametry odbiorników DVB-T. Obecnie trwa proces ostatecznej akceptacji ustalonych wymagań opracowanych w ramach grupy 4 krajów (Dania, Norwegia, Szwecja, Finlandia). Nie wiadomo, jak ustalenia krajów skandynawskich będą pokrywać się z przyszłymi normami europejskimi.

Po stronie nadajników problematyczna staje się sprawa maski widma sygnału DVB-T, której postać ma szczególny wpływ na współczynniki ochronne, zwłaszcza sąsiedniokanałowe. Brak ustalonych standardów komplikuje prace zespołów międzynarodowych w ramach CEPT, gdzie różne zespoły projektowe przyjmują inne kryteria do analiz kompatybilnościowych. Na przykład Zespół Projektowy CEPT PT SE27 wykorzystywał w swoich analizach maskę widma DVB-T ustaloną podczas konferencji w Chester w 1997. Tymczasem EBU przy współpracy z Zespołem Projektowym CEPT PT SE21 zajmującym się emisjami ubocznymi zdefiniował inną maskę widma, znacznie różniącą się od ustalonej w Chester. Sprawa jest o tyle skomplikowana, że maska ustalona przez SE21 jest obecnie w trakcie zatwierdzania przez ITU, co może doprowadzić do tego, że obowiązywać będą 2 maski widma - ustalona w Chester i zalecana przez ITU. Sprawa ta była poruszana podczas ostatniego zebrania zespołu SE27 w Budapeszcie, gdzie postanowiono skierować zapytanie do grupy roboczej WG SE z prośbą o ustosunkowanie się do sprawy masek widma. Zmiana dotychczas stosowanej maski widma może pociągnąć za sobą dość radykalne zmiany współczynników ochronnych w przypadku zakłóceń sąsiedniokanałowych.

Jedną z najistotniejszych spraw odnośnie odporności odbiorników DVB-T na zakłócenia są kryteria odporności, czyli kryteria decydujące o tym, czy odbiornik już jest zakłócany czy jeszcze nie. Do tej pory podstawowym kryterium odporności odbiornika DVB-T była elementowa stopa błędów BER na wyjściu dekodera zewnętrznego (Viterbi'ego) przed dekoderelem Reed'a-Solomona (RS). Poziomem odniesienia była jej wielkość wynosząca $2 \cdot 10^{-4}$. Odpowiadało to BER na poziomie 10^{-11} na wejściu dekodera MPEG-2. Jej przekroczenie oznaczało pojawienie się zakłóceń na niedopuszczalnym poziomie. Ponieważ jednak większość odbiorników powszechnego użytku nie będzie posiadać wyjścia przed dekoderelem RS, nie będzie możliwa kontrola tej stopy błędów. Dlatego w roku bieżącym rozpoczęto prace mające na celu opracowanie kryteriów odporności na zakłócenia odbiorników DVB-T, które można by stosować do dowolnych odbiorników DVB-T, również konsumenckich. W związku z tym przedstawiciele monachijskiego instytutu naukowo-badawczego IRT zaproponowali stosowanie metody Flag Błędów (*Error Flag Method*) lub metod subiektywnych przy pomiarach odporności na zakłócenia odbiorników domowych. Pierwsza z tych metod polega na liczeniu flag błędów generowanych przez dekoderelem RS. Stwierdzono, że dobremu odbiorowi odpowiada brak błędów synchronizacji i maksymalnie 2 flagi błędów generowane przez dekoderelem 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 dekoderelem RS) są mniejsze niż 1dB. Drugą proponowaną metodą pomiarów odporności odbiorników DVB-T na zakłócenia jest metoda subiektywna polegająca na obserwacji ekranu odbiornika i określaniu poziomów sygnałów, przy których na ekranie pojawiają się zakłócenia. Metoda ta generuje takie same wartości współczynników ochronnych jak metoda Flag Błędów. Z punktu widzenia kryteriów kompatybilności 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.

6. PROPOZYCJA WARIANTÓW TRANSMISJI NAZIEMNEJ TELEWIZJI CYFROWEJ DVB-T W POLSCE

6.1 Wprowadzenie

System DVB-T umożliwia stosowanie różnych trybów transmisji. Możliwe jest stosowanie różnej liczby nośnych OFDM (2k lub 8k), różnych sposobów modulacji poszczególnych nośnych (QPSK, 16QAM, 64QAM) różnych sprawności kodowania oraz różnych wartości odstępu ochronnego dla poszczególnych symboli. Ogółem można określić 120 różnych trybów transmisji (zob. Tabela 6.1). Wybór wariantu transmisji zależy głównie od rodzaju przesyłanych informacji (liczby i jakości programów telewizyjnych) oraz rodzaju odbioru: stacjonarny, przenośny czy ruchomy. Nie bez znaczenia jest też sposób nadawania (SFN, MFN) i związane z tym odległości między nadajnikami w sieci.

6.2 Założenia

Aby dokonać wyboru wariantu transmisji należy przyjąć założenia odnośnie podstawowych parametrów sygnału oraz sposobu nadawania w sieci. Przyjęto następujące założenia:

- nadawanych w jednym kanale 8 MHz (w jednym multipleksie) jest 4-5 programów telewizyjnych o jakości PAL wymagających strumienia ok. 24 Mbit/s,
- transmisja przeprowadzana jest w sieci MFN (z możliwością ewentualnego rozszerzenia pokrycia za pomocą przekaźników pracujących w tym samym kanale na skraju obszaru pokrycia) i przyszłego przejścia do trybu SFN,
- zapewniony jest odbiór stacjonarny (odbiór przenośny i ruchomy jest możliwy lecz nie w całym obszarze pokrycia),
- wymagany stosunek $C/N \leq 20$ dB (w celu poprawnej koordynacji międzynarodowej).
- osobno określono tryb pracy dla wariantu odbioru przenośnego
- niezależnie dokonano analizy wariantów pracy modulatora dla transmisji SFN.

Tabela 6.1

C/N (dB) dla transmisji nie-hierarchicznej wymagany do osiągnięcia bitowej stopy błędów $BER = 2 \cdot 10^{-4}$ po dekodерze Viterbi'ego dla wszystkich kombinacji współczynników kodowania i typów modulacji. Podane są również przepływności netto po dekodерze Reed-Solomona.

			Wymagany C/N dla $BER = 2 \cdot 10^{-4}$ po dekodерze Viterbi'ego (quasi-bezbłędna transmisja po dekodерze Reed-Solomona, *)			Przepływność netto (Mbit/s)			
Wariant systemu	Modulacja	Sprawność kodu	Kanał Gaussa	Kanał Rice'a (F_1)	Kanał Rayleigha (P_1)	$D/T_U = 1/4$	$D/T_U = 1/8$	$D/T_U = 1/16$	$D/T_U = 1/32$
A1	QPSK	1/2	3.1	3.6	5.4	4.98	5.53	5.85	6.03
A2	QPSK	2/3	4.9	5.7	8.4	6.64	7.37	7.81	8.04
A3	QPSK	3/4	5.9	6.8	10.7	7.46	8.29	8.78	9.05
A5	QPSK	5/6	6.9	8.0	13.1	8.29	9.22	9.76	10.05
A7	QPSK	7/8	7.7	8.7	16.3	8.71	9.68	10.25	10.56
B1	16-QAM (M1 **)	1/2	8.8	9.6	11.2	9.95	11.06	11.71	12.06
B2	16-QAM	2/3	11.1	11.6	14.2	13.27	14.75	15.61	16.09
B3	16-QAM	3/4	12.5	13.0	16.7	14.93	16.59	17.56	18.10
B5	16-QAM	5/6	13.5	14.4	19.3	16.59	18.43	19.52	20.11
B7	16-QAM	7/8	13.9	15.0	22.8	17.42	19.35	20.49	21.11
C1	64-QAM (M2 **)	1/2	14.4	14.7	16.0	14.93	16.59	17.56	18.10
C2	64-QAM (M3 **)	2/3	16.5	17.1	19.3	19.91	22.12	23.42	24.13
C3	64-QAM	3/4	18.0	18.6	21.7	22.39	24.88	26.35	27.14
C5	64-QAM	5/6	19.3	20.0	25.3	24.88	27.65	29.27	30.16
C7	64-QAM	7/8	20.1	21.0	27.9	26.13	29.03	30.74	31.67

Uwagi: (*) Quasi-bezbłędna transmisja oznacza wystąpienie w ciągu godziny mniej niż jednego nieskorygowanego błędu i odpowiada to $BER = 1 \cdot 10^{-11}$ na wejściu demultipleksera MPEG-2.

(**) Tryby pracy systemu przyjęte przez ITU-R jako reprezentatywne dla oszacowania współczynników ochronnych.

6.3 Wariant dla odbioru stacjonarnego

6.3.1 Wybór liczby nośnych

System DVB-T umożliwia stosowanie transmisji OFDM na około 2 tys. nośnych (system 2k) lub około 8 tys. nośnych (system 8k). Przyszłe urządzenia nadawcze będą posiadały możliwość wyboru transmisji zarówno w wariancie 2k jak i 8k. Również odbiorniki

będą mogły automatycznie przełączać tryb pracy na 2k lub 8k. Wybór wariantu nie jest więc ograniczony sprzętem nadawczo-odbiorczym. Ze względu jednak na istnienie obecnie w Europie jedynie jednego lub dwóch prototypowych odbiorników obsługujących wariant 8k większość państw europejskich przeprowadza eksperymenty w systemie 2k, gdyż dla tego wariantu istnieje wystarczająca liczba odbiorników testowych.

Generalną różnicą między wariantem 2k i 8k jest liczba nośnych oraz związany z nią czas trwania symboli. Dla systemu 8k symbole mają dłuższy czas trwania, wzrasta więc dzięki temu odporność systemu na odbicia (propagację wielodrogową). Również dzięki dłuższym symbolom mogą być stosowane większe odległości między nadajnikami w sieci SFN stąd ten sposób transmisji jest idealny dla sieci SFN pokrywającej duże obszary. Możliwe jest oczywiście również stosowanie wariantu 8k w sieci MFN. System 2k to system przeznaczony głównie dla sieci MFN lub małych SFN, charakteryzuje się stosunkowo dobrym odbiorem przenośnym i ruchomym. Krótkie czasy trwania symboli wymagają jednak, w przypadku użycia systemu 2k w małej sieci SFN, stosunkowo niedużych odległości między nadajnikami.

Ze względu na swe zalety w eliminacji odbić, jak również na możliwość przyszłego stosowania dużych sieci SFN przy wykorzystaniu istniejących miejsc nadawczych bez konieczności budowy wielu nowych przekaźników do odbioru stacjonarnego na terenie Polski najlepszym wydaje się system 8k.

6.3.2 Wybór sposobu modulacji nośnych.

Każda nośna OFDM może być w systemie DVB-T modulowana za pomocą QPSK, 16QAM lub 64QAM. System QPSK zapewnia dużą odporność sygnału na zakłócenia, jednak ilość transmitowanej informacji (maksymalnie 11 Mbit/s) wyklucza jego stosowanie do transmisji kilku programów telewizyjnych wysokiej jakości. Do wyboru pozostaje więc wariant 16QAM lub 64QAM. Niestety wariant 16QAM również nie doje możliwości transmisyjnych dużego strumienia bitów (maksymalnie 22 Mbit/s). Stosowany jest on jednak głównie do celów odbioru przenośnego (w domu) i ruchomego, gdzie niezwykle trudno zapewnić jest odpowiednio wysoki stosunek C/N wymagany w trybie 64QAM. Jeżeli jednak transmisja ma dotyczyć wyłącznie odbioru stacjonarnego najlepszym trybem pracy jest 64QAM, gdyż nie jest wówczas wymagany stosunkowo mały stosunek C/N (wystarczy 20 dB) oraz można osiągnąć duże przepływności sygnału cyfrowego (24Mbit/s i więcej). Do celów odbioru stacjonarnego na terenie Polski rekomendowany jest więc system 64QAM.

6.3.3 Wybór sprawności kodu i wielkości odstępu ochronnego

Do wyboru pozostaje jeszcze sprawność kodu ($1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$, $7/8$) oraz wielość odstępu ochronnego ($1/4$, $1/8$, $1/16$, $1/32$). Wybór zdeterminowany jest głównie przepływnością sygnału cyfrowego oraz koniecznością uodpornienia systemu na zakłócenia. Generalnie najlepiej stosować jak najlepsze zabezpieczenie transmisji (jak najmniejszą sprawność kodu), gdyż umożliwia to poprawę odporności transmisji. Im więcej jednak bitów przeznaczonych zostanie do zabezpieczenia transmisji tym mniejszą ilość informacji będzie można przenieść w multipleksie. Aby możliwa była transmisja strumienia 24 Mbit/s należy zastosować sprawność kodu $2/3$ lub większą. Dodatkowo aby uodpornić sygnał na propagację wielodrogową można zastosować dłuższe odstępy ochronne. Do wyboru są więc systemy:

1. kod 2/3, odstęp 1/32, 24.13 Mbit/s
2. kod 3/4, odstęp 1/8, 24.88 Mbit/s
3. kod 5/6, odstęp 1/4. 24.88 Mbit/s

System pierwszy ma najlepiej zabezpieczoną transmisję lecz jest najmniej odporny na odbicia. System trzeci jest najbardziej odporny na odbicia lecz ma najslabiej zabezpieczoną przed błędami transmisję. Jako rozwiązanie kompromisowe, oferujące zarówno dobrą odporność na błędy transmisji jak również stosunkowo dobrą odporność na odbicia można by stosować wariant drugi: kod o sprawności 3/4, odstęp ochronny 1/8. Jednak ze względu na to, iż pomiary współczynników ochronnych i koordynacja międzynarodowa przeprowadzana jest dla wariantu 64QAM, 2/3 (wariant C2 ITU-R), który odznacza się nieco niższym stosunkiem C/N powinno się stosować wariant 1 ze względu na poprawność planowania sieci. Możliwe jest stosowanie wariantów o wyższym współczynniku C/N, należy jednak pamiętać, że może wówczas dojść do zakłóceń pomiędzy sieciami DVB-T polskimi i zagranicznymi oraz pomiędzy DVB-T i telewizją analogową lub innymi służbami ze względu na konieczność stosowania w tych przypadkach wyższych współczynników ochronnych, które do chwili obecnej nie zostały ustalone. Dlatego stosowanie wariantów powyżej C2 (C3, C5, C7) powinno być analizowane szczegółowo dla każdego przypadku i ustalane z wykonawcami planów sieci DVB-T.

Dopuszczalne jest natomiast stosowanie wariantu C1 w przypadku projektu zrobionego dla sieci C2, gdyż charakteryzuje się on niższymi współczynnikami C/N i lepszą odpornością na zakłócenia.

W związku z powyższym jako wariant systemu dla odbioru stacjonarnego rekomenduje się system C2: **8k, 64QAM, kod 2/3, odstęp 1/32, 24.13 Mbit/s**. Możliwe jest również stosowanie tego wariantu z dłuższymi odstępami ochronnymi pamiętając jednak, że wiązać się to będzie z ograniczeniem przepływności wyjściowego sygnału cyfrowego.

6.4 Wariant do odbioru przenośnego

6.4.1 Wybór liczby nośnych

Dla odbioru przenośnego i ruchomego najlepszym trybem transmisji jest wariant 2k ze względu na lepszą tolerancję efektu Dopplera i lepsze pokrycie wewnątrz budynków. Jego lepsze cechy w przypadku odbioru przenośnego i ruchomego potwierdziły liczne pomiary (np. w Niemczech). Dlatego w tym przypadku do transmisji rekomendowany jest wariant 2k.

6.4.2 Wybór sposobu modulacji nośnych.

W przypadku odbioru przenośnego i ruchomego, aby zrealizować transmisję strumienia bitów o przepływności przynajmniej 20Mbit/s można zastosować system 16QAM i 64 QAM. Lepsze efekty zostaną osiągnięte w przypadku systemu 16QAM lecz jakość transmitowanych programów będzie niższa ze względu na mniejszą przepływność multipleksu wyjściowego. Mimo to, ponieważ dla odbioru przenośnego na podstawie przeprowadzonych testów zaleca się aby stosować modulację 16QAM. Należy przyjąć ten wariant za optymalny i liczyć się z koniecznością zmniejszenia przepływności sygnału cyfrowego w celu zmieszczenia 4 programów w jednym multipleksie 20Mbit/s.

6.4.3 Wybór sprawności kodu i wielkości odstępu ochronnego

Ze względu na konieczność transmisji przynajmniej 20Mbit/s proponuje się przyjęcie wariantu 7/8 o odstępie ochronnym 1/16 (wariant B7) umożliwiającego transmisję 20,49 Mbit/s. Możliwe byłoby też stosowanie wariantu B5 z odstępem ochronnym równym 1/32, lecz jego mała wartość (7 μ s) nie pozwoliłaby na skuteczną eliminację odbić. Dlatego do odbioru przenośnego i ruchomego zaleca się wariant **B7: 2k, 16QAM, kod 7/8, odstęp ochronny 1/16**.

6.5 Wariant do transmisji w sieci SFN

W przypadku transmisji w dużych sieciach SFN podstawową cechą sygnału OFDM powinien być stosunkowo duży odstęp ochronny umożliwiający stosowanie nadajników odległych od siebie na duże odległości. Największy możliwy odstęp ochronny według specyfikacji dla systemu DVB-T wynosi 224 μ s i występuje w przypadku transmisji 8k i odstępu 1/4. Umożliwia on eliminację słabych ech nawet o czasie trwania do około 270 μ s. Umożliwia to stosowanie nadajników sieci SFN odległych o prawie 90km. Jest to szczególnie ważne w przypadku rozległych sieci SFN. Aby zapewnić transmisję strumienia 24Mbit/s przy odstępie ochronnym równym 1/4 należy zastosować wariant transmisji C5 (kod 5/6, odstęp 1/4, transmisja 24,88Mbit/s). Możliwe byłoby stosowanie też niższych sprawności kodu (warianty C3 i C2) jednak należałoby się liczyć z koniecznością transmisji mniejszego strumienia bitów (poniżej 20Mbit/s) a co za tym idzie programów o niższej jakości.

Jako wariant transmisji 4 programów wysokiej jakości w rozległej sieci SFN proponuje się przyjęcie systemu C5: **8k, 64QAM, kod 5/6, odstęp ochronny 1/4**.

6.6 Inne warianty systemów do testowania

W przypadku przeprowadzania testów można również określić parametry pracy systemu DVB-T w przypadku innych wariantów pracy niż proponowanych w poprzednich rozdziałach.

Interesującym mogłoby być sprawdzenie parametrów odbioru sygnału DVB-T zastosowanego w testach w Wielkiej Brytanii: system **2k, 16QAM, kod 3/4, odstęp 1/32**.

Dodatkowo należałoby przetestować systemy **2k i 8k: QPSK i 16QAM, kod 2/3** z różnymi wartościami odstępu ochronnego. Systemy te zalecane są do pomiarów współczynników ochronnych w nowej wersji roboczej Zalecenia ITU-R BT. 1368.

W celach poznawczych celowe byłoby przetestowanie także innych wariantów pracy systemu DVB-T, a także wariantu pracy z modulacją hierarchiczną.

6.7 Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej wyżej analizy jako wariant systemu DVB-T do stosowania na terenie Polski dla odbioru stacjonarnego zaproponowany został tryb: **8k, 64QAM, sprawność kodu 2/3, odstęp ochronny 1/32** umożliwiający transmisję 24,13 Mbit/s przy zapewnieniu wymaganego stosunku C/N równego 17,1 dB. Zaletą proponowanego rozwiązania jest możliwość stosowania go w sieci MFN a następnie przy wykorzystaniu istniejącej infrastruktury nadawczej przechodzenie do trybu SFN.

Należy podkreślić jednak, że system ten zapewnia poprawną transmisję do odbiorcy stacjonarnego. Do odbioru przenośnego oraz ruchomego wymagany będzie inny sposób transmisji. Jako wariant transmisji dla odbioru przenośnego i ruchomego zaproponowano system: **2k, 16QAM, kod 7/8, odstęp 1/16**.

Jako wariant transmisji w rozległych sieciach SFN zaproponowano system: **8k, 64QAM, kod 5/6, odstęp ochronny 1/4**. Umożliwi on stosowanie dużych odległości między nadajnikami co pozwoli na wykorzystanie istniejącej infrastruktury nadawczej.

Podano ponadto warianty transmisji, które należałoby przetestować podczas uruchamiania nadajników eksperymentalnych w Polsce.

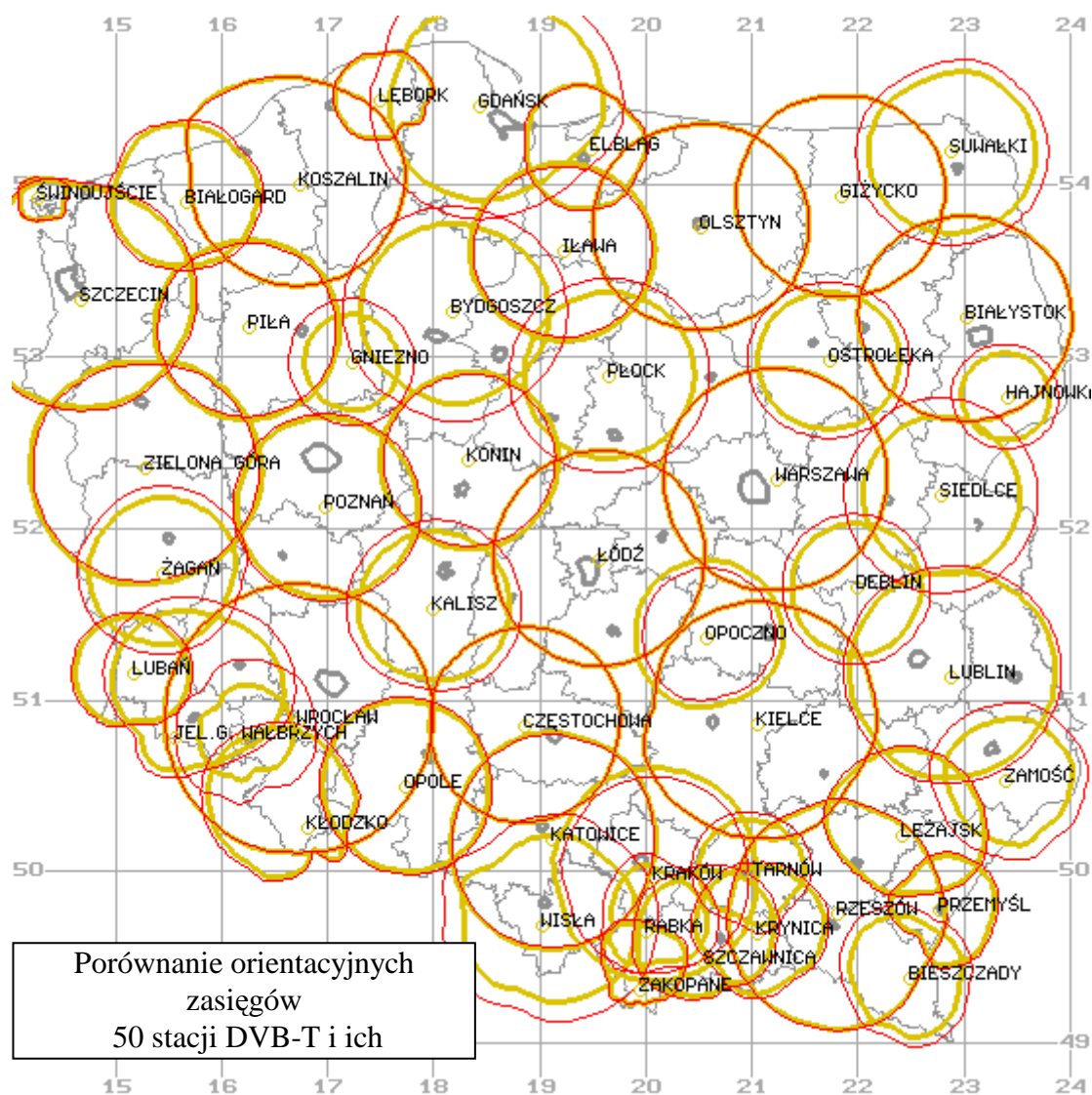
Podkreślić należy również fakt, że przechodzenie z jednego wariantu transmisji na drugi będzie mogło w przyszłości odbywać się przez odpowiednie przełączenie nadajnika z jednego trybu pracy w drugi, a odbiorca nie powinien zauważyć nawet momentu przełączania, gdyż jego odbiornik będzie automatycznie zmieniał tryb pracy dostosowując się do nadawanego sygnału. Możliwa będzie np. chwilowa zmiana trybu transmisji na transmisję o większej przepływności (na przykład po to aby nadać kilkugodzinny, dodatkowy program lokalny) a później powrót do standardowego trybu pracy bez zauważalnych przez widza różnic. Dlatego proponowane tryby pracy systemu DVB-T należy potraktować jako wstępne, które w przyszłości będą modyfikowane na potrzeby lokalnych rozgłośni zależnie od warunków odbioru i wymagań widzów.

7. Wstępny plan sieci DVB-T w Polsce

W oparciu o opisane w niniejszej pracy założenia opracowano dla Polski projekt planu dla DVB-T w kanałach 21-60, współistniejący z docelową siecią telewizji analogowej.

7.1.1 Wybór lokalizacji i parametrów propagacyjnych

Podstawą do rozmieszczenia stacji dla DVB-T był docelowy plan sieci TVP2. Po drobnych korektach i odrzuceniu stacji o mniejszym znaczeniu wytypowano 50 nadajników, dla których w dalszej kolejności próbowano dobrać kanały. Zachowano charakterystyki kierunkowe anten, natomiast moce obniżono przeciętnie o 12 dB, tak by uzyskać zasięgi porównywalne z odpowiednimi zasięgami w TVP2.



Linią grubą żółtą zaznaczono zasięgi stacji analogowych TVP2, a linią czerwoną cienką zasięgi stacji DVB-T. W oparciu o te stacje zbudowano algorytmy do planowania i otrzymano pierwsze próbne wyniki. Obliczenia wykazały, że stacje w pobliżu granic Państwa, mogą być krytyczne przy doborze kanałów ze względu na koordynację zagraniczną. W związku z tym, o ile było to możliwe zmniejszono tym stacjom moce i uzupełniono o dodatkowe stacje małej mocy (100 W) o znaczeniu strategicznym.

Tabela - Podstawowe parametry stacji DVB-T planowanej sieci MFN

Lp	Nazwa stacji DVB-T	Ha	Hsk	kW
1	BIAŁOGARD	200	238	10
2	BIAŁYSTOK	313	382	25
3	BIESZCZADY	60	409	3
4	BOGATYNIA	64	229	0,1
5	BYDGOSZCZ	307	360	50
6	CIECHANÓW	100	121	1
7	CZĘSTOCHOWA	310	343	50
8	DEBLIN	200	256	10
9	ELBLĄG	105	246	3
10	GDĄSK	305	450	10
11	GIŻYCKO	310	358	10
12	GNIEZNO	120	155	10
14	HAJNOWKA	120	169	3
15	ŁAWA	310	327	10
16	JELEŃ GÓRA	24	1037	3
17	KALISZ	250	350	10
18	KATOWICE	345	407	10
19	KIELCE	133	485	50
20	KŁODZKO	52	756	3
21	KONIN	310	323	10
22	KOSZALIN	310	434	25
23	KRAKÓW	275	483	10
13	KRYNICA - GORLICE	55	494	0,1
24	KRYNICA 2	41	587	0,1
25	KUDOWA ZDRÓJ	35	164	0,1
26	LEŻAJSK	200	254	25
27	ŁĘBORK	81	159	3
28	LUBAŃ	127	237	1
29	LUBLIN	330	375	25
30	ŁÓDŹ	318	428	25
31	OLSZTYN	348	389	50
32	OPOCZNO	180	313	3
33	OPOLE	195	206	25
34	OSTROŁĘKA	250	270	10
35	PIŁA	310	353	10
36	PŁOCK	252	260	25
37	POZNAŃ	274	298	50
38	PRZEMYŚL	83	236	3
39	RABKA	41	651	0,1
40	RZESZÓW	105	416	25
41	SIEDLCE	291	330	10
42	SUWAŁKI	222	297	10
43	SZCZAWNICA	100	852	0,1
44	SZCZECIN	256	389	25
45	ŚWINOUJŚCIE	67	69	1
46	TARNÓW	85	262	3
47	WAŁBRZYCH	62	576	0,1
48	WARSZAWA	350	364	50
49	WETLINA	15	640	0,1
50	WISŁA	83	945	1
51	WROCŁAW	125	654	50
52	ZAKOPANE	90	461	1
53	ZAMOŚĆ	142	223	25
54	ZIELONA GÓRA	310	374	50
55	ŻAGAŃ	250	331	3

Przyjęty szereg mocy dla planowanych stacji DVB-T:

0,1kW (20dBW), 1kW (30dBW), 3kW (35dBW), 10kW (40dBW), 25kW (44dBW) i 50kW (47dBW).

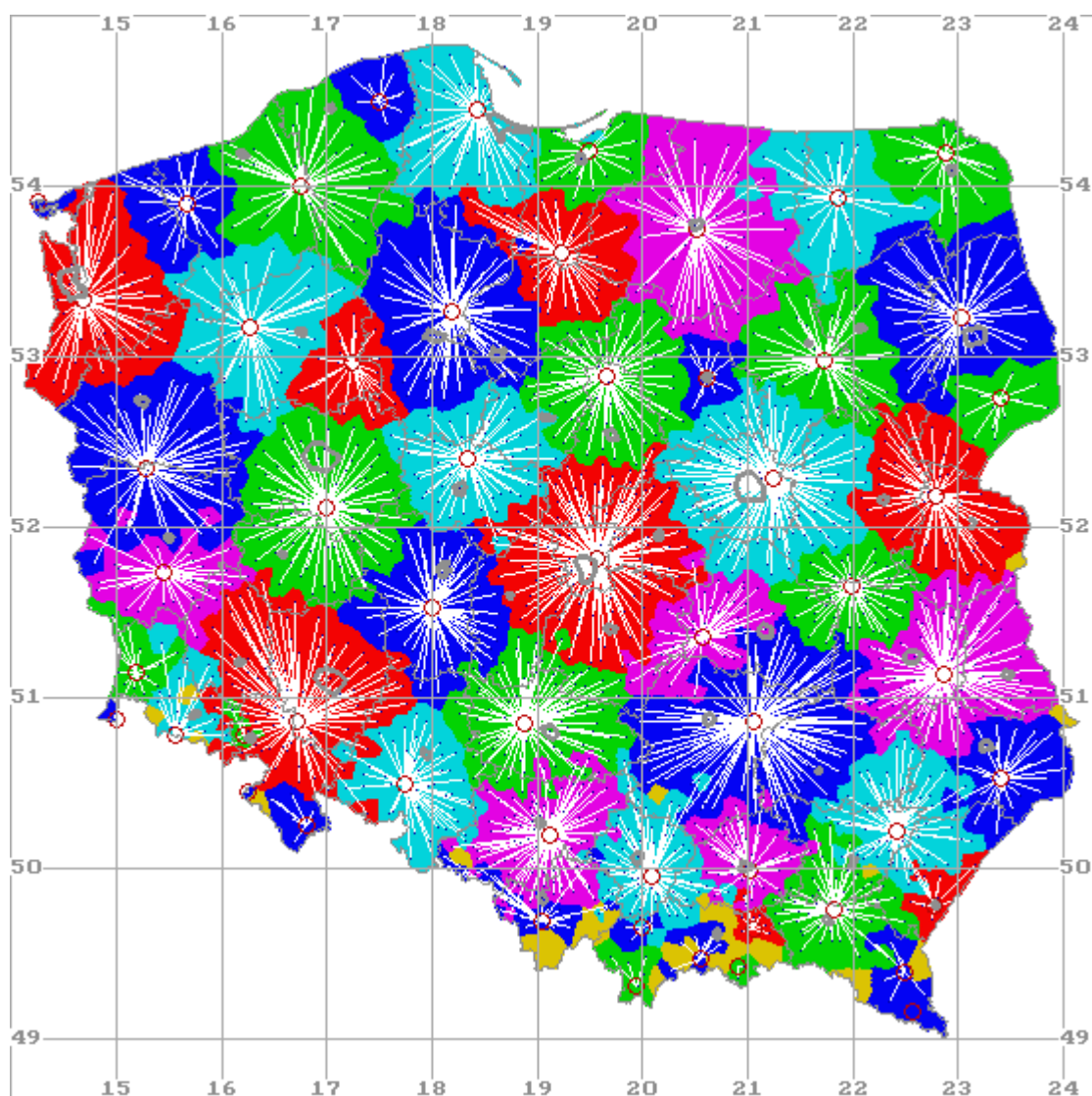
7.1.2 Mapki pokrycia DVB-T

Obliczenia symulacyjne przeprowadzono dla 2207 sygnałów pożądaných (na poziomie > 53 dB) pochodzących od 55 planowanych stacji DVB-T. Sprawdzone jak te sygnały są zakłócające przez pozostałe 54 stacje DVB-T. Na podstawie tych obliczeń stworzono tabelę wzajemnych kolizji. W tabeli tej pomiędzy stacjami podano najmniejszą wartość marginesu ($E_u - E_z$) w krytycznym punkcie dla pary stacja pożądana (wiersz), stacja zakłócająca (kolumna). Zarówno sygnały pożądate jak i zakłócające wyznaczono metodą 425. Sygnały pożądate dla $T=50\%$, sygnały zakłócające dla $T=1\%$.

Czas obliczeń ok. 6 godz. (2215 sygnałów pożądaných * 54 stacje zakłócające * 40 kanałów)

Na podstawie tabeli wzajemnych kolizji przeprowadzono próbę rozdzielności logicznej kanałów, aby zbadać ile jest potrzebnych kanałów do zrealizowania jednej sieci MFN.

Poniżej przedstawiono mapkę dla takiego logicznego rozdzielności.

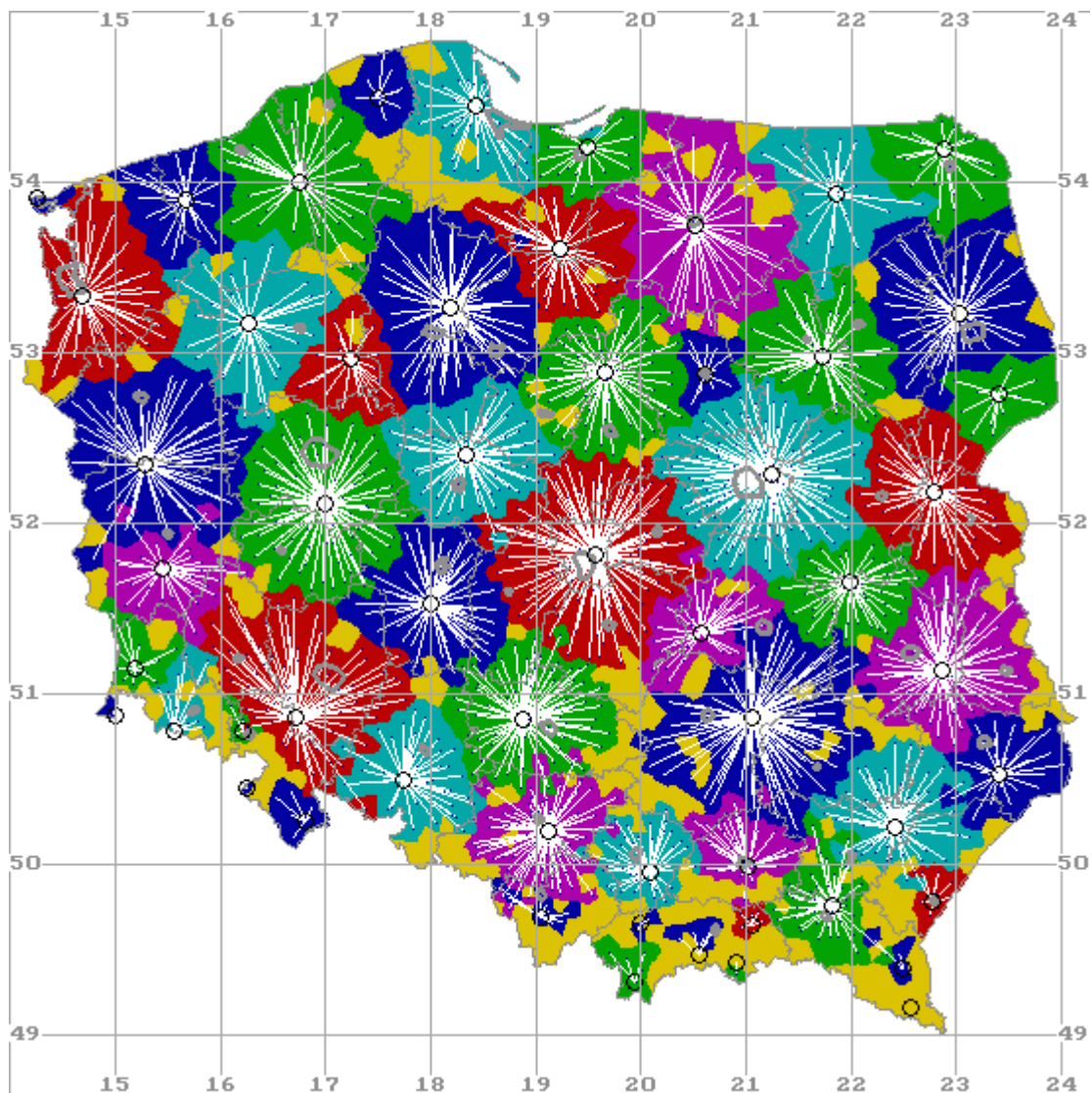


Mapka pokrycia Polski przez planowaną sieć MFN telewizji cyfrowej.
Warunek dobrego odbioru stacjonarnego ($E_{gr} = 53$ dB).

Jak pokazano na mapce do zrealizowania takiej sieci wystarczy 5 kanałów oznaczonych różnymi kolorami (niebieski, zielony, błękitny, czerwony i fioletowy) kolorem żółtym oznaczono gminy, do których nie dociera sygnał na wymaganym poziomie od żadnej z planowanych stacji.

Planowana sieć za wyjątkiem terenów górskich umożliwia pokrycie całej Polski siecią stacji DVB-T, przy spełnieniu kryteriów dobrego odbioru stacjonarnego (graniczne natężenie pola > 53 dB).

Na następnej mapce pokazano jak zmniejszają się obszary pokrycia od poszczególnych stacji, gdy podwyższymy minimalny poziom sygnału z 53 dB do 65 dB co odpowiada odbiorowi akceptowalnemu dla przekaźnej telewizji cyfrowej na zewnątrz budynków.



Mapka pokrycia Polski przez planowaną sieć MFN

Warunek akceptowalnego odbioru przenośnego ($E_{gr} = 65 \text{ dB}$).

Tabela - Przykład przydziału logicznych kanałów dokonany prostym algorytmem na podstawie macierzy wzajemnych kolizji

Lp.	Nazwa stacji DVB-T	Kanał
1.	BIAŁOGARD	K 1
2.	BIAŁYSTOK	K 1
3.	BIESZCZADY	K 1
4.	BOGATYNIA	K 1
5.	BYDGOSZCZ	K 1
6.	CIECHANÓW	K 1
7.	CZĘSTOCHOWA	K 2
8.	DEBLIN	K 2
9.	ELBLĄG	K 2
10.	GDAŃSK	K 3
11.	GIŻYCKO	K 3
12.	GNIEZNO	K 4
13.	HAJNOWKA	K 2
14.	ŁAWA	K 4
15.	JELEŃ GÓRA	K 3
16.	KALISZ	K 1
17.	KATOWICE	K 5
18.	KIELCE	K 1
19.	KŁODZKO	K 1
20.	KONIN	K 3
21.	KOSZALIN	K 2
22.	KRAKÓW	K 3
23.	KRYNICA - GORLICE	K 4
24.	KRYNICA 2	K 2
25.	KUDOWA ZDRÓJ	K 1
26.	ŁĘBORK	K 1
27.	LEŻAJSK	K 3
28.	ŁÓDŹ	K 4
29.	LUBAŃ	K 2
30.	LUBLIN	K 5
31.	OLSZTYN	K 5
32.	OPOCZNO	K 5
33.	OPOLE	K 3
34.	OSTROŁĘKA	K 2
35.	PIŁA	K 3
36.	PŁOCK	K 2
37.	POZNAŃ	K 2
38.	PRZEMYŚL	K 4
39.	RABKA	K 1
40.	RZESZÓW	K 2
41.	SIEDLCE	K 4
42.	SUWAŁKI	K 2
43.	ŚWINOUJŚCIE	K 1
44.	SZCZAWNICA	K 1
45.	SZCZECIN	K 4
46.	TARNÓW	K 5
47.	WAŁBRZYCH	K 2
48.	WARSZAWA	K 3
49.	WETLINA	K 3
50.	WISŁA	K 1
51.	WROCŁAW	K 4
52.	ŻAGAŃ	K 5
53.	ZAKOPANE	K 2
54.	ZAMOŚĆ	K 1
55.	ZIELONA GÓRA	K 1

Na zrealizowanie jednej pełnej sieci MFN DVB-T potrzeba zaledwie 5 kanałów. Przedstawione rozwiązanie jest poprawne, ale nie jedyne.

8. Wnioski

W niniejszej pracy przedstawiono główne problemy kompatybilności systemu telewizji cyfrowej DVB-T skupiając się na zagadnieniach dotyczących użytkowania widma w Polsce. Przedstawiona analiza kompatybilności radioastronomii w kanale 38 telewizji i DVB-T może zostać uznana za zakończoną. Materiał obejmujący całokształt tego zagadnienia został opublikowany przez pracownika IŁ Wrocław w ramach prac zespołu SE27 i po aprobacie przez SE WG stanowi obecnie wytyczną w tej kwestii dla krajów zrzeszonych w CEPT.

Druga bardzo istotna dla Polski sprawa - kompatybilność systemów wojskowych i DVB-T wchodzi obecnie w etap pomiarowy, a jego wyniki znane będą w przyszłym roku. W pracach tych uczestniczyć będzie także IŁ Wrocław. Wyniki pomiarów posłużą do uzgodnień z krajami byłego Układu Warszawskiego odpowiednich poziomów ochronnych tych służb do celów koordynacji międzynarodowej a także krajowej DVB-T.

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 krajowych konferencjach [12, 21], opracowania dla potrzeb polskiej platformy cyfrowej a także przygotowywane są dalsze publikacje w czasopiśmie specjalistycznych. Wiedza i doświadczenie pracowników IŁ Wrocław są niezwykle przydatne dla wspomagania prac Państwowej Agencji Radiokomunikacyjnej w zakresie koordynacji międzynarodowej DVB-T. W bieżącym roku przedstawiciele IŁ Wrocław wspomagali administrację państwową w uzgadnianiu przyszłych stacji DVB-T ze Szwecją.

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 kompatybilności DVB-T oraz przygotowanie szczegółowych zasad planowania sieci telewizji cyfrowej.

9. Literatura

- [1] *BPN 005 Report: Terrestrial Digital Television, Planning and Implementation Considerations*, EBU, July 1997
- [2] Convergent Decision Group (CDG), „*Digital Terrestrial Television in Europe*”, 1997
Grupa Decyzyjna CDG „*Ziemska Telewizja Cyfrowa w Europie*”, 1997
- [3] CRAF handbook for radio astronomy - 2nd edition, CRAF Secretariat, Dwingeloo 1997.
- [4]. Draft revision of Recommendation ITU-R BT.1368 *Planning Criteria for Digital Television Services in the VHF/UHF Bands*, ITU-R SG11, 14.04.1998
- [5]. *Digital Terrestrial Television Transmission, User's Needs and System Selection*, Inter-Union Technical Committee, World Broadcasting Unions
- [6] ERC Report 36: *Sharing Between Fixed Service And The Radio Astronomy Service In The Frequency Range 3.4GHz - 105GHz*.
- [7] European Broadcasting Union: „*Terrestrial Digital Television - Planning and Implementation Considerations*”, lipiec 1997

- [8] 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
- [9]. European Telecommunication Standard ETS 300744 *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital Terrestrial television (DVB-T)*, ETSI, 1997
- [10] ITU-R Recommendation RA.769-1: Protection Criteria Used For Radioastronomical Measurements, ITU, Geneva 1995.
- [11] ITU-R Recommendation P.370-7: VHF and UHF Propagation Curves For The Frequency Range From 30 MHz To 1 000 MHz, Geneva 1995.
- [12] Marszałek A, Sęga W, Sobolewski J.: *Kompatybilność ziemskiej telewizji cyfrowej DVB-T z innymi służbami*, Krajowa Konferencja Radiodfuzji i Radiokomunikacji, Poznań, maj 1998.
- [13]. C. R. Nokes: *Evaluation of a DVB-T compliant Digital terrestrial Television System*, IBC 97, Amsterdam, September 1997
- [14] R.V. Paiement *Evaluation of single carrier and multi-carrier modulation techniques for digital ATV terrestrial broadcasting* CRC Report RP-94-004, Ottawa, December 1994
- [15] Project Team FM-PT24: Reference Report „*Planning and Introduction of Terrestrial Digital Television (DVB-T) in Europe*”, marzec 1997
- [16] Sprawozdanie Z21/213027/168/97 „*Analiza metod badania kompatybilności ziemskiej telewizji cyfrowej DVB-T z innymi służbami*”, Wrocław, grudzień 1997
- [17]. *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 July 1997
- [18]. C. Weck, *Coverage aspects of digital terrestrial television broadcasting*, EBU Technical Review, Winter 1996
- [19] Więcek D.: *Modulacja i kodowanie kanałowe COFDM* Krajowe Sympozjum Telekomunikacji KST'95 6-8 września 1995.
- [20] Więcek D.: *COFDM - kodowanie kanałowe i modulacja systemu DAB. Część I, II i III*. Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 10/1995, nr 12/1995 I nr 3/1996.
- [21] Więcek D.: *Modulacja OFDM*, Krajowa Konferencja Radiodfuzji i Radiokomunikacji, Poznań, maj 1998.