



I N S T Y T U T Ł Ą C Z N O Ś C I
SAMODZIELNA ZAMIEJSCOWA PRACOWNIA
KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ
WE WROCŁAWIU

**Studium koegzystencji wybranych cyfrowych systemów
radiokomunikacyjnych**

Sprawozdanie P21/21 30 002 4/882/2004

Wrocław, grudzień 2004 r.

Nr pracy 21300024

Nazwa pracy : Studium koegzystencji wybranych cyfrowych systemów radiokomunikacyjnych

Zlecniodawca :
Instytut Łączności, Warszawa, ul. Szachowa 1

Data rozpoczęcia : styczeń 2004 r.

Data zakończenia : grudzień 2004 r.

Autorzy sprawozdania

i wykonawcy pracy :

dr inż.	Maciej Grzybkowski
mgr inż.	Małgorzata Kondrat
mgr inż.	Jacek Kowalski
mgr inż.	Joanna Kwolek
mgr inż.	Olgierd Łotoczko
dr inż.	Janusz Sobolewski – kierownik tematu
mgr inż.	Dariusz Więcek

Spis treści

1	Wprowadzenie.....	5
2	Opracowanie kryteriów kompatybilności naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T i interaktywnej telewizji cyfrowej DVB-RCT z innymi służbami.....	7
2.1	Wstęp.....	7
2.2	Opis systemu CDMA do celów analizy	7
2.3	Analiza zakłóceń wnoszonych do DVB-T	8
2.3.1	Analiza zakłóceń sąsiedniokanałowych	12
2.4	Analiza zakłóceń wnoszonych do CDMA	12
2.4.1	Analiza zakłóceń sąsiedniokanałowych	13
2.5	Analiza zakłóceń wnoszonych do DVB-RCT	14
2.6	Wnioski	16
3	Analiza metod planowania sieci MFN naziemnych radiodfuzyjnych systemów cyfrowych.....	17
3.1	Podstawy techniczne	18
3.2	Zasięg stacji.....	18
3.3	Minimalne chronione natężenie pola Emin.....	19
3.4	Współczynniki ochronne.....	20
3.5	Konwersja stacji	21
3.6	Wnioski	25
4	Uproszczona metoda planowania sieci SFN naziemnych radiodfuzyjnych systemów cyfrowych na przykładzie DVB-T	27
4.1	Tworzenie obszarów rezerwacji na podstawie przydziałów analogowych.....	27
4.2	Obszar rezerwacji na podstawie stacji z planu przejściowego.....	31
4.3	Planistyczne konfiguracje odniesienia	33
4.3.1	Wprowadzenie.....	33
4.3.2	Planistyczne konfiguracje odniesienia DVB-T	34
4.3.3	Planistyczne konfiguracje odniesienia dla T-DAB	36
4.4	Ogólna charakterystyka sieci odniesienia	36
4.4.1	Rozważania ogólne	36
4.4.1.1	Pojedynczy nadajnik odniesienia	37
4.4.1.2	Sieć odniesienia SFN	37
4.4.1.3	Obliczanie potencjalnych zakłóceń.....	37
4.5	Sieci odniesienia.....	38
4.5.1	Sieci odniesienia dla DVB-T.....	38
4.5.1.1	Rozważania ogólne	38
4.5.1.2	Sieć odniesienia RN 1 (wielkoobszarowa SFN)	38
4.5.1.3	Sieć odniesienia RN 2 (sieci SFN dla małych obszarów, sieci gęste SFN) ..	40
4.5.1.4	Sieć odniesienia RN 3 (sieć SFN dla małych obszarów w środowisku miejskim).....	42
4.5.1.5	Sieć odniesienia RN 4 (niedomknięta sieć SFN dla małych obszarów)	43
4.5.2	Sieci odniesienia dla T-DAB.....	45
4.6	Przykład planu SFN	47
4.7	Podstawy obliczeń sieci SFN	48
4.7.1	Aspekty podstawowe.....	48
4.7.2	Statystyczna metoda sumowania sygnałów	50
4.7.3	Wyniki obliczeń przykładowej sieci SFN	50
4.8	Wnioski	53

5	Analiza kompatybilności systemów radiokomunikacji ruchomej lądowej 3. generacji z wybranymi systemami,.....	54
5.1	Wstęp.....	54
5.2	Sposób zagospodarowania widma w zakresie częstotliwości 2500-2690 MHz	55
5.3	Badanie kompatybilności wspólnie i sąsiedniokanałowej	58
5.3.1	Analiza sposobu zagospodarowania widma.....	58
5.3.2	Separacja geograficzna i częstotliwościowa	60
5.3.2.1	Sposób wyznaczania separacji geograficznej i marginesów ochronnych....	60
5.3.2.2	Modele propagacyjne	61
5.4	Wyniki badań kompatybilności.....	62
5.4.1	Kompatybilność wspólnokanałowa.....	62
5.4.2	Kompatybilność sąsiedniokanałowa	62
5.4.2.1	IMT 2000/UMTS – Radioastronomia	63
5.4.2.2	Służba Stała (MMDS) i IMT-2000/UMTS	65
5.5	Wnioski	65
6	Zakończenie	66
7	Spis literatury	68
8	Wykaz skrótów.....	71

1 Wprowadzenie

W ostatnich kilku latach obserwuje się wielkie zmiany w dotychczasowym podejściu do funkcjonowania systemów radiowych. Mamy do czynienia z niespotykaną dotąd rewolucją techniczną, jaką można nazwać przejście z techniki analogowej na cyfrową i z techniki cyfrowej na informatyczną. Zgodnie ze Strategią Lizbońską Unia Europejska ma stać się do 2010 roku najbardziej konkurencyjną gospodarką opartą na wiedzy. Ważnym elementem tej strategii jest upowszechnienie nowych technologii informacyjno komunikacyjnych w gospodarce jako warunku efektywności, wydajności i konkurencyjności przedsiębiorstw. Unia Europejska postrzega media i nowe technologie, w tym radiokomunikację 3. generacji oraz radio i telewizję cyfrową oraz ich aplikacje i zastosowania jako mechanizm napędzania postępu gospodarczego, technologicznego i cywilizacyjnego krajów europejskich. Sektor komunikacji elektronicznej ze względu na jego ogromny wpływ na wszystkie gałęzie gospodarki ma zasadnicze znaczenie. W tej sytuacji różnego rodzaju systemy radiowe będą odgrywały główną rolę w rozwoju Społeczeństwa Informacyjnego a dostępność widma częstotliwości radiowych będzie miała znaczenie kluczowe.

Aby sprostać tak sprecyzowanym wymaganiom, w zakresie zarówno radiokomunikacji jak i radiodyfuzji na forum międzynarodowym prowadzone są prace nad tworzeniem nowych lub modyfikacją istniejących systemów telekomunikacyjnych.

Aktualnie w Europie i na świecie trwają prace dotyczące wdrożenia systemu IMT-2000/UMTS. Mimo, iż standard IMT-2000/UMTS został już opracowany oraz rozwiązane zostały kwestie widmowe (dla potrzeb systemu przeznaczone zostało tzw. pasmo wstępne i rozszerzone), to jednak nadal w ramach ITU i CEPT prowadzone są prace dotyczące rozwoju tego systemu (możliwości oferowania dodatkowych usług, a co za tym idzie pozyskania i przeznaczenia dodatkowego widma dla potrzeb systemu), jak również badania możliwości jego koegzystencji z systemami już pracującymi. Ponadto podjęte zostały prace nad tworzeniem koncepcji systemów tzw. czwartej generacji, stanowiących dalszy etap rozwoju systemów radiokomunikacji ruchomej.

Prace dotyczące modyfikacji systemów już istniejących zmierzają w kierunku cyfryzacji tych systemów. Proces ten jest szczególnie uwidoczniiony w przypadku radiofonii i telewizji. W najbliższych latach cyfryzacja radiofonii i telewizji stanie się faktem. Obecnie radiofonia i telewizja należy do nielicznych już systemów transmisyjnych nie korzystających z zalet transmisji cyfrowej pozwalającej na nadawanie z mniejszymi mocami, lepsze wykorzystanie widma, znaczną odporność na zakłócenia i odbicia fal. Cyfryzacja radiodyfuzji jest więc nieunikniona, a ostatnie lata pokazały jak szybko i radykalnie może być ona przeprowadzana, czego przykładem jest radiodyfuzja satelitarna gdzie system DVB z powodzeniem praktycznie wyparł większość transmisji analogowych. Cyfryzacja transmisji naziemnej będzie na pewno przebiegać wolniej niż to miało miejsce w transmisji satelitarnej, ale przykłady innych krajów (Wielka Brytania, Niemcy, Szwecja) pokazują, że można w krótkim okresie czasu osiągnąć znaczne pokrycie a nawet zrezygnować z transmisji naziemnej analogowej. Bardzo ważne jest przygotowanie się do zmian w zakresie ochrony innych służb.

W Europie i na świecie trwają prace z zakresu kompatybilności systemu DVB-T w związku z trwającą Regionalną Konferencją Planowania Radiodyfuzji RRC04, odbywającą się pod auspicjami ITU w latach 2004 – 2006. Konferencja ta ma na celu zmianę ustaleń Konferencji Sztokholmskiej z 1961 roku dotyczących zasad planowania i przydziałów

częstotliwości telewizyjnych. W Konferencji biorą udział oprócz Europy kraje Afryki i Bliskiego Wschodu.

W Polsce w ostatnim okresie można zauważyć intensyfikację prac zmierzających do wdrożenia radiodifuzji cyfrowej. W kolejnych miastach uruchamiane są nadajniki testowe DVB-T i T-DAB. Poza istniejącymi Platformami DVB i DAB, prezes URTiP powołał zespół ekspercki do celu opracowania możliwości technicznych wdrożenia w Polsce radiodifuzji cyfrowej. W ramach tego Zespołu działa jeden z wykonawców niniejszej pracy. Poza tym powstał zespół zajmujący się sprawami telewizji cyfrowej DVB-T przy Krajowej Izbie Gospodarczej zrzeszającej producentów sprzętu i operatorów. Powołano również Zespół Międzyresortowy zajmujący strategią wprowadzania cyfryzacji w Polsce. W jego skład weszli przedstawiciele różnych ministerstw (m.in. infrastruktury, gospodarki, obrony) a także URTIP, KRRiT operatorzy, nadawcy oraz trzej autorzy niniejszej pracy.

Niezwykle istotne obecnie jest rozwiązywanie wielu problemów w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej systemów oraz planowania sieci a tym samym zagadnień związanych z gospodarką widmem elektromagnetycznym. W IŁ prace te są prowadzone i kontynuowane od wielu lat, dzięki czemu opinie i prace IŁ na ten temat są znane i analizowane przez całe środowisko radiowe w Polsce.

W niniejszej pracy podjęto się opracowania:

- Kryteriów kompatybilności naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T i interaktywnej telewizji cyfrowej DVB-RCT z innymi służbami.
- Analizy metod planowania sieci MFN naziemnych radiodifuzyjnych systemów cyfrowych,
- Uproszczonej metody planowania sieci SFN naziemnych radiodifuzyjnych systemów cyfrowych na przykładzie DVB-T,
- Analizy kompatybilności systemów radiokomunikacji ruchomej lądowej 3. generacji z wybranymi systemami,
 - ◊ Zidentyfikowanie służb i systemów telekomunikacyjnych pracujących w zakresie częstotliwości 2500-2690 MHz i pasmach sąsiadujących,
 - ◊ Stworzenie macierzy koinkydencji, która wskaże jakie systemy wymagają określenia warunków ich koegzystencji z systemem IMT-2000/UMTS.

Praca stanowić będzie rozwinięcie dotychczasowych polskich opracowań planów sieci DVB-T. Pierwsze sieci opracowano w Polsce w IŁ O/Wrocław. W roku 2003 w IŁ rozwinięto istniejącą koncepcję uzupełniając ją o opracowane plany konwersji stacji telewizji prywatnych. Koniecznością stało się szczegółowe przeanalizowanie tworzenia planów sieci wieloczęstotliwościowych MFN i jednoczęstotliwościowych SFN.

Niniejsze sprawozdanie składa się z czterech części:

Pierwsza część (Rozdział 2) zawiera analizę kompatybilności DVB-T i DVB-RCT z systemem CDMA w kanałach 65 i 67;

Kolejna część (Rozdział 3) opisuje analizę metod planowania sieci MFN naziemnych radiodifuzyjnych systemów cyfrowych;

Następna część (Rozdział 4) omawia uproszczoną metodę planowania sieci SFN naziemnych radiodifuzyjnych systemów cyfrowych na przykładzie DVB-T;

Ostatnia (Rozdział 5) zawiera analizę kompatybilności systemów radiokomunikacji ruchomej lądowej 3. generacji z wybranymi systemami.

2 Opracowanie kryteriów kompatybilności naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T i interaktywnej telewizji cyfrowej DVB-RCT z innymi służbami

2.1 Wstęp

W poprzednich etapach pracy [8,22] wykonano analizy kompatybilności systemów DVB-T i DVB-RCT z różnymi innymi systemami radiowymi tj. radioastronomią, systemami wojskowymi. W obecnym etapie pracy skoncentrowano się na analizie kompatybilności niektórych systemami CDMA, które zgodnie niektórych Tabelą Przeznaczeń Częstotliwości [23] mogą być uruchamiane na obszarze Polski także w kanałach telewizyjnych.

W niektórych krajach, także w Polsce, wybrane kanały telewizyjne zostały przeznaczona do wykorzystywania przez system CDMA pracujący w standardzie IS-95 lub CDMA2000 [31]. W Polsce system ten pracuje na zasadzie służby pierwszej ważności i wykorzystywany jest w kanałach 65 i 67 telewizji do tzw. Radiodostępu abonenckiego SRDA, czyli jako łącze centrali ze stacjonarnym abonentem.

Standard CDMA 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 należy opracować kryteria kompatybilnościowe.

Ze względu na fakt, iż w krajach sąsiednich kanały, w których pracuje w Polsce system CDMA, w większości przypadków będą wykorzystywane na potrzeby DVB-T konieczne jest wykonanie analizy kompatybilności zakłóceń wnoszonych do systemu telewizji cyfrowej przez system CDMA. Analiza taka została wykonana w oparciu o opracowany matematyczny model odbiornika DVB-T a wyznaczone współczynniki ochronne mogą być wykorzystywane przy planowaniu sieci DVB-T oraz w koordynacji międzynarodowej stacji obu systemów.

Standard CDMA2000 jest standardem całkowicie cyfrowej transmisji w szerokim paśmie (>1MHz) a analiza tego typu będzie wykorzystywać opracowany wcześniej model odbiornika.

2.2 Opis systemu CDMA do celów analizy

W systemie wykorzystywany jest dostęp kodowy (CDMA) zrealizowany w technice spread spectrum. Każdy kanał systemu CDMA2000-1X zajmuje pasmo 1.23 MHz i umożliwia realizację przepływności 1.2288 Mbit/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 i 67 do realizacji łącza "w górę" czyli od abonenta do centrali. W standardzie tym transmisja realizowana jest w 4 kanałach 1.23 MHz w zakresie 822-830 MHz i 838-846 MHz

Dane systemu [31]:	
Częstotliwość pracy:	822 – 830MHz, 838 – 846MHz
Szerokość pasma 1 kanału:	1,2288MHz
Maksymalna moc promieniowana stacji abonenckiej:	8dBW
Współczynnik szumów odbiorczej stacji bazowej:	4dB

Eb/No:	7dB
Maksymalna przepływność kanału R:	9600-14400bit/s
Typowy zysk anteny odbiorczej Gr:	15dB
Straty doprowadzeń Ls:	4dB

W systemie CDMA2000-3x wykorzystuje się 3 standardowe kanały CDMA2000-1X każdy po ok. 1.23 MHz i umożliwia realizację przepływności 3x1.2288 Mbit/s. W Polsce przewiduje się wykorzystanie kanału 65 i 67 do realizacji łącza “w górę” czyli od abonenta do centrali. W standardzie tym transmisja realizowana jest w kanałach po ok. 4MHz (3x1.25) MHz w zakresie 822-830 MHz i 838-846 MHz

Dane systemu [31]:	
Częstotliwość pracy:	822 – 830MHz, 838 – 846MHz
Szerokość pasma 1 kanału:	około 4MHz
Maksymalna moc promieniowana stacji abonenckiej:	3dBW
Współczynnik szumów odbiorczej stacji bazowej:	4dB
Eb/No:	7dB
Typowy zysk anteny odbiorczej Gr:	15dB
Straty doprowadzeń Ls:	4dB

2.3 Analiza zakłóceń wnoszonych do DVB-T

Dla systemu CDMA2000-1X przyjęto maskę widma na podstawie danych podanych w standardzie CDMA dla stacji MS. Wartości maski są następujące [31] (Tabela 2.1):

Tabela 2.1. Zastosowana maska widma CDMA2000-1X stacji abonenckiej

Częstotliwość [MHz]	Wartość [dB]
-0,9	-42
-0,615	0
0,615	0
0,9	-42

Dla sygnału CDMA2000-3X wykorzystano wartości widmowej gęstości mocy zmierzone podczas wykonywania pomiarów współczynników ochronnych[32]. Jej punkty charakterystyczne podano w Tabeli 2.2.

Tabela 2.2. Zastosowana maska widma CDMA2000-3X stacji abonenckiej

Częstotliwość MHz]	Wartość [dB]
-9	-55
-6	-48
-3,5	-38
-2	-30
-1,88	0
0	0

Korzystając z maski powyżej z opracowanego w modelu odbiornika DVB-T wyznaczono współczynnik ochronny dla zakłóceń pochodzących od terminali CDMA2000-3X. W pierwszej kolejności wyznaczono wspólnokanałowe współczynniki ochronne dla różnych wariantów pracy systemu DVB-T. Wyznaczone wartości umieszczono w Tabeli 2.3, w której podano również współczynniki zmierzone [32] o ile dany tryb pracy systemu DVB-T został zmierzony i wyniki te są znane.

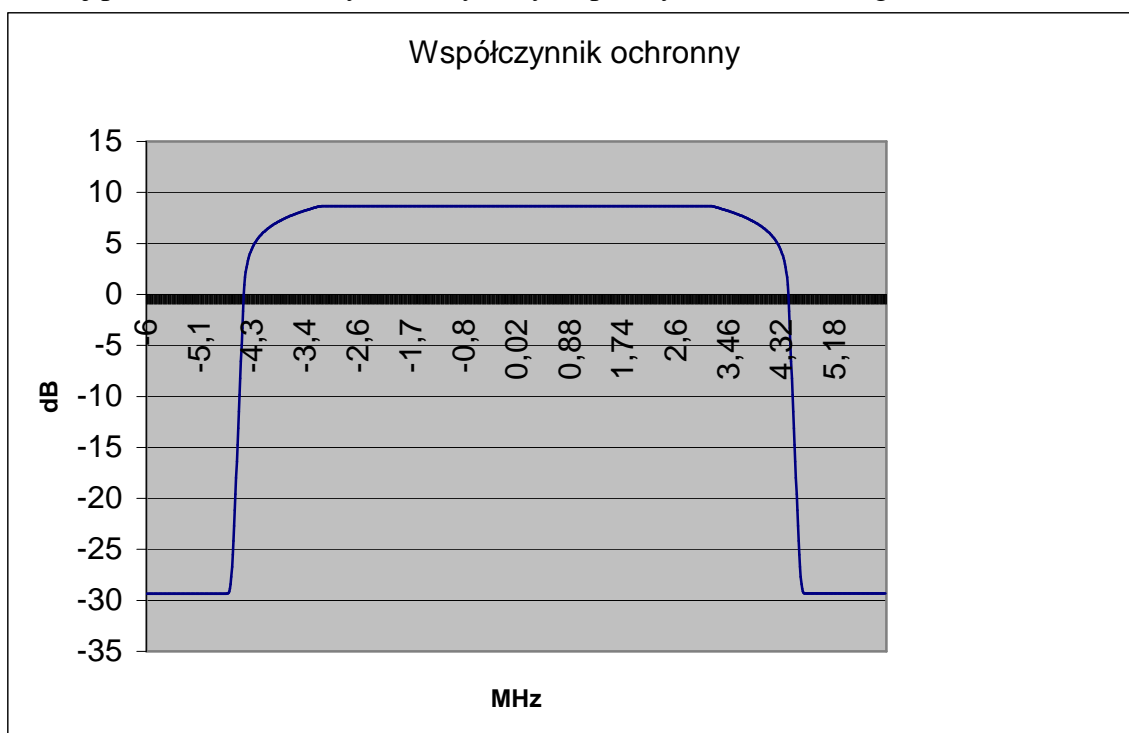
Tabela 2.3. Wspólnokanałowe współczynniki ochronne dla DVB-T zakłócanego sygnałem CDMA2000-3X (stacja abonencka)

Wariant DVB-T [MHz]	PR [dB] obliczony	PR [dB] zmierzony
8k QPSK 2/3	5,1dB	5 do 6dB
8k QPSK 7/8	9dB	
8k 16QAM 1/2	11dB	12 do 13dB
8k 16QAM 2/3	11,3dB	12 do 13dB
8k 16QAM 7/8	13dB	
8k 64QAM 2/3	18dB	17 do 19dB

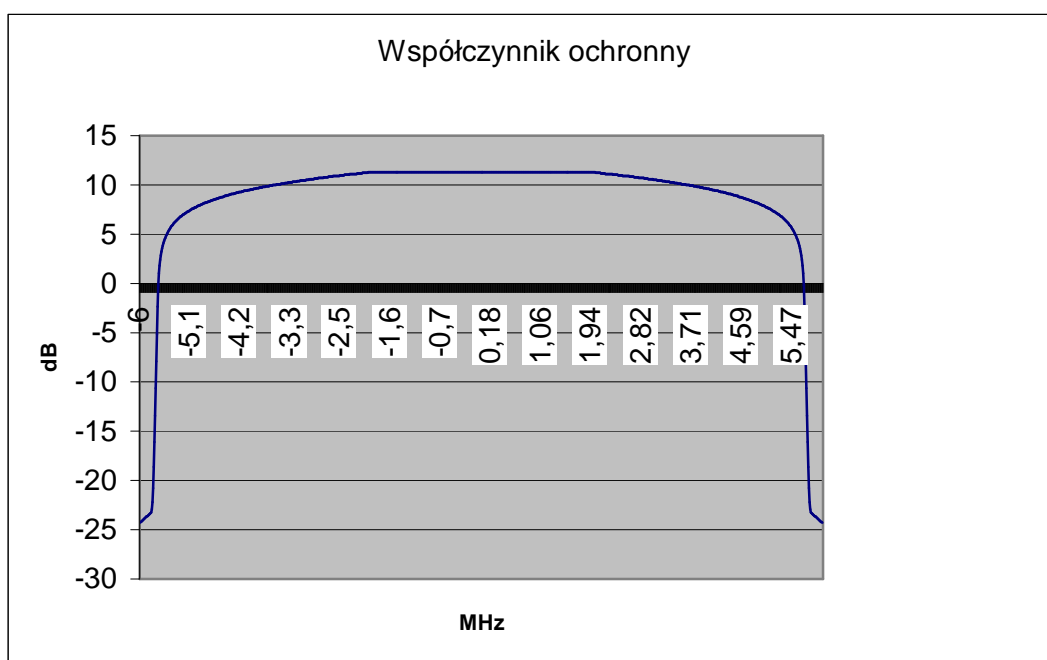
Jako dane systemu DVB-T przyjęto warianty: 8k QPSK 2/3, 8k QPSK 7/8, 8k 16QAM 1/2, 8k 16QAM 2/3, 8k 16QAM 7/8, 8k 64QAM 2/3. Dla 3 z nich wykonane i opublikowane zostały pomiary co pozwoliło na weryfikację współczynników obliczonych. Jak widać z tabeli różnice między wartościami obliczonymi a zmierzonymi są niewielkie (1dB) co pozwala na potwierdzenie poprawności modelowania.

Poniżej przedstawiono otrzymane wykresy współczynnika ochronnego zarówno dla wariantu CDMA2000-1X jak i CDMA2000-3X.

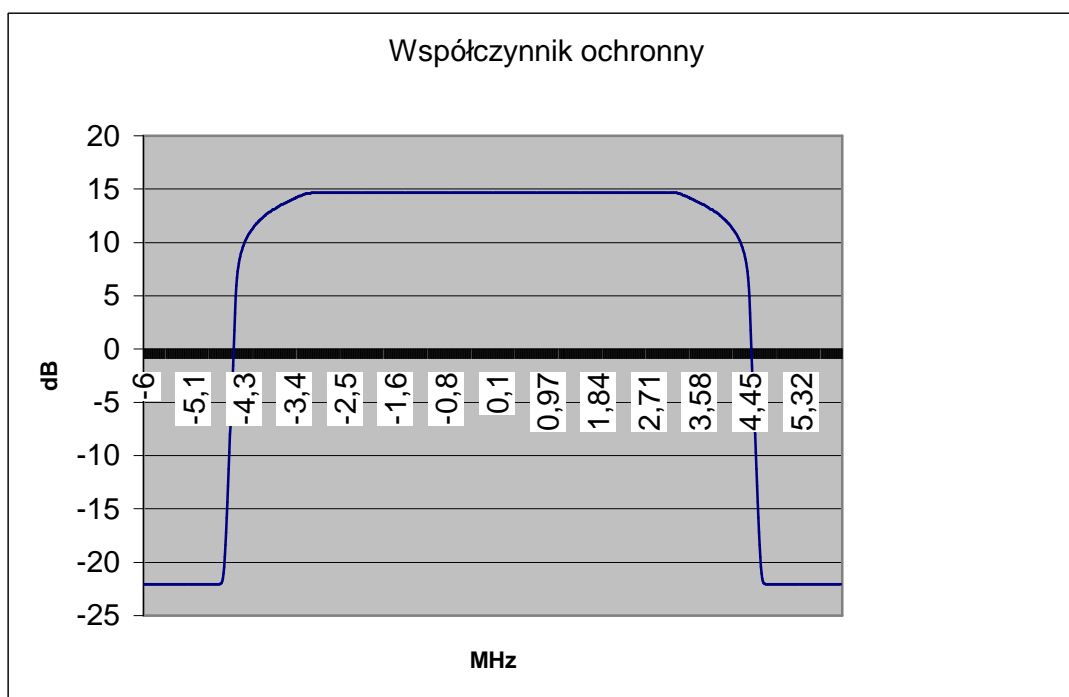
Poniżej przedstawiono otrzymane wykresy współczynnika ochronnego.



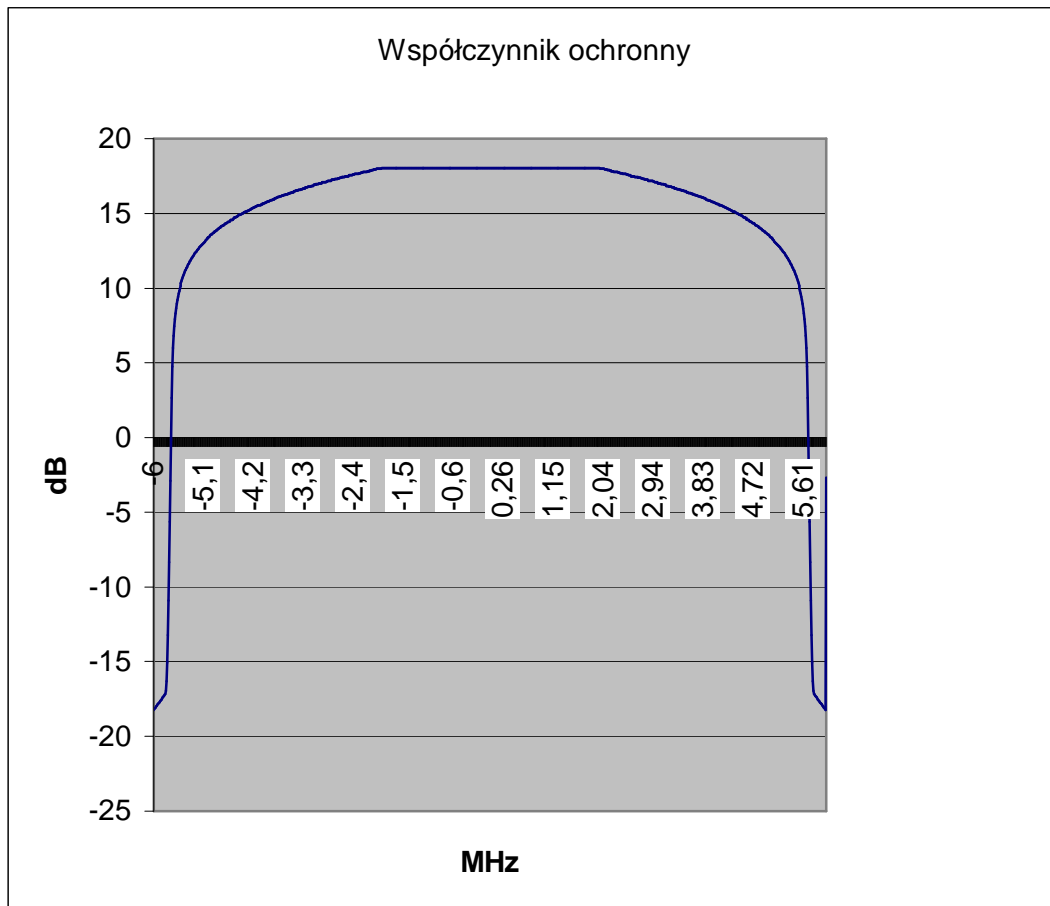
Rys. 2.1 Krzywa współczynnika ochronnego dla DVB-T 16QAM, kod 2/3 zakłócanego przez sygnał CDMA2000-1X



Rys. 2.2. Krzywa współczynnika ochronnego dla DVB-T 16QAM, kod 2/3 zakłócanego przez sygnał CDMA2000-3X



Rys. 2.3. Krzywa współczynnika ochronnego dla DVB-T 64QAM, kod 2/3 zakłócanego przez sygnał CDMA2000-1X



Rys. 2.4. Krzywa współczynnika ochronnego dla DVB-T 64QAM, kod 2/3 zakłócanego przez sygnał CDMA2000-3X

Wyznaczone wartości współczynników ochronnych zostały porównane z wartościami zmierzonymi przedstawionymi na forum ITU-R [32]. Uzyskane wyniki potwierdzają prawidłowość obliczeń.

Minimalny poziom sygnału użytecznego DVB-T dla kanału 65 wyznacza się następująco: wartość minimalna mediany natężenia pola w paśmie V (800MHz) dla 95% miejsc pokrycia jest równa 60 dBμV/m. Wartość tą należy skorygować, ze względu na częstotliwość pracy:

$$E_{\min} = 60 + 20 \log 826/800 = 60,3 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

Dopuszczalne wspólnokanałowe natężenie pola sygnału zakłócającego, pochodzącego od terminala CDMA będzie więc następujące:

$$E_{\text{dop}} = E_{\min} - C/I = 60,3 - 8,6 = 51,7 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

Dla systemu 16QAM, kod 2/3.

$$E_{\text{dop}} = E_{\min} - C/I = 60,3 - 14,6 = 45,7 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

Dla systemu 64QAM 2/3.

Maksymalna moc terminala wynosi 8dBW.

Jako wysokość nadajnika przyjęto wartość 37,5m.

Zakładając analizę propagacyjną według standardowych krzywych propagacyjnych wg Zalecenia ITU-R P. 1546 przyjętego jako metoda propagacyjna do obliczeń koordynacyjnych cyfrowych systemów radiodifuzyjnych podczas Konferencji RRC'04 [15], wymagana odległość separacyjna między terminalem CDMA a odbiornikiem DVB-T wyniesie:

$d_{sep} = \text{ok. } 15\text{km}$ dla wariantu 16QAM

$d_{sep} = \text{ok. } 20\text{km}$ dla wariantu 64QAM

Ponieważ z reguły terminale CDMA pracują w odległościach maksymalnych do kilkunastu km od stacji bazowej widać, że nie jest możliwe współistnienie systemu CDMA i DVB-T w tym samym zakresie częstotliwości na tym samym obszarze pracy.

2.3.1 Analiza zakłóceń sąsiedniokanałowych

Bazując na wyznaczonych wartościach współczynników ochronnych można przyjąć jako minimalną wymaganą wartość współczynnika równą:

$$PR = -14,1\text{dB}$$

Przyjmując tą wartość w niniejszej analizie otrzyma się dopuszczalną wartość natężenia pola w kanale sąsiednim równą

$$E_i = 60,3 - (-14,1) = 74,4 \text{ dB}\mu\text{V/m.}$$

Wartość ta, przy maksymalnej mocy terminali CDMA 8dBW i przy założeniu wysokości skutecznej nadajnika CDMA równej 37,5m, oznacza odległość separacyjną w kanale sąsiednim równą:

$$d_{sep} = \text{ok. } 2\text{km}$$

Jeżeli odbiornik DVB-T jest odbiornikiem stacjonarnym wyposażonym w antenę kierunkową i kierunki nadchodzenia sygnałów DVB-T i CDMA są różne powstaje dodatkowy pozytywny wpływ charakterystyki anteny skutkujący dalszym zmniejszeniem zakłóceń. Oznacza to, że nadajnik CDMA praktycznie nie zakłóca odbiornika DVB-T odbierającego sygnał w kanale sąsiednim. Jednak w przypadku odbiorników przenośnych czy przewoźnych DVB-T powstaje problem zakłóceń w pobliżu terminali noszonych CDMA także w przypadku sąsiedniokanałowym na tym samym obszarze pracy obu systemów. Niewielkie nawet odseparowanie terytorialne pozwala jednak na uniknięcie problemów tych zakłóceń.

2.4 Analiza zakłóceń wnoszonych do CDMA

W niniejszym rozdziale w sposób teoretyczny, na bazie parametrów urządzeń CDMA i maski widma DVB-T określono kryteria ochrony systemu CDMA.

Aby wyznaczyć chroniony poziom natężenia pola elektrycznego odbiornika CDMA na początku wyznaczona została minimalna wartość czułości odbiorczej stacji bazowej:

$$S = N + kT + 10\log[R(E_b/N_0)] = -123,19\text{dBm}$$

Jako dane do obliczeń przyjęto parametry systemu podane w rozdziale 2.2.

Wyznaczono wymagany minimalny użyteczny poziom mocy sygnału na wejściu anteny następująco:

$$P_{min} = S + Gr - L_s = -123,19 + 15 - 4 = -112,18$$

Na tej podstawie określono wymagany poziom sygnału użytecznego:

$$E_{min} [dB\mu V/m] = -112,18 + 58,30 + 77,2 = 23,31 \text{ dB}\mu V/m \text{ (dla } f=822\text{MHz)}$$

Zakładając ochronę minimalnego poziomu użytecznego dla stacji bazowej, oraz zakładając wartość $C/I = 10\text{dB}$ [6], otrzymujemy wartość dopuszczalnego natężenia pola sygnału zakłócającego DVB-T na poziomie $13,3 \text{ dB}\mu V/m$ w paśmie $1,23\text{MHz}$ co odpowiada natężeniu pola od stacji DVB-T równego $21,3 \text{ dB}\mu V/m$ w paśmie 8MHz . Wartość ta jest zgodna z podawanymi poziomami ochrony wyznaczonymi na podstawie pomiarów w Izraelu [30,33].

Jest to bardzo restrykcyjna wartość uniemożliwiająca współistnienie DVB-T i CDMA na tym samym obszarze oraz wymagająca stosowania bardzo dużych odległości separacyjnych między nadajnikami DVB-T i stacjami bazowymi CDMA: rzędu 150km dla nadajnika DVB-T o mocy 1kW (przy uwzględnieniu dopuszczalnych zakłóceń w 1% czasu i wysokości skutecznej nadajnika 150m). W przypadku nadajników DVB-T o większej mocy lub wyżej położonych odległości separacyjne mogą sięgać kilkuset km .

2.4.1 Analiza zakłóceń sąsiedniokanałowych

W przypadku zakłóceń sąsiedniokanałowych aby wyznaczyć krzywą współczynnika ochronnego należy ją uzależnić od offsetu (odstrojenia częstotliwości środkowej DVB-T od częstotliwości środkowej CDMA). W tym celu można wykorzystać maskę widma sygnału DVB-T. Maska ta, przyjęta w czasie Konferencji w Chester jest następująca [1]:

Tabela 2.4 Maska DVB-T wg. ustaleń Konferencji Chester 97

Częstotliwość względna MHz	Przypadek niekrytyczny Poziom względny dB	Przypadek wrażliwy 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 wypadkowy współnokanałowy współczynnik ochronny dla CDMA względem DVB-T równy:

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

Jako minimalne użyteczne natężenie pola dla CDMA w paśmie 822-830MHz przyjmuje się wartość:

$$E_{\min} [\text{dB}\mu\text{V/m}] = 23,3$$

Uwzględniając powyższe można przedstawić charakterystykę odporności na zakłócenia w następujący sposób:

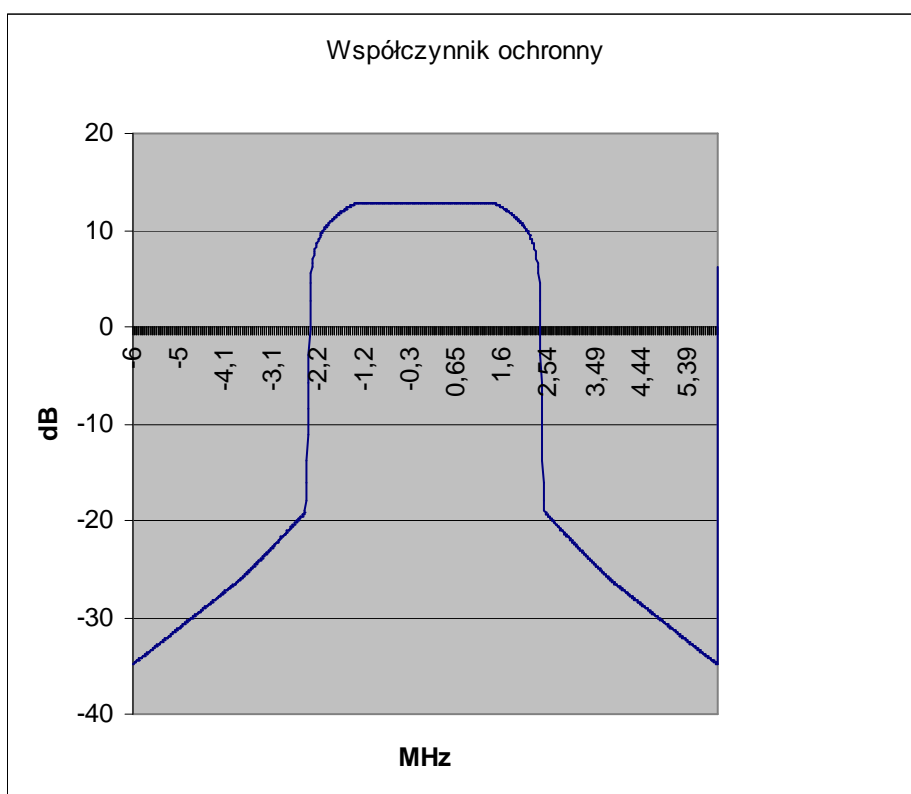
Tabela 2.5 Chroniona wartość natężenia pola CDMA [dBuV/m]

Częstotliwość względna MHz	Przypadek niekrytyczny	Przypadek wrażliwy
	Dopuszczalne natężenie pola dBuV/m	Dopuszczalne natężenie pola dBuV/m
-12.0	98,5	108,5
-6.0	73,5	83,5
-4.2	61,5	71,5
-3.8	21,3	21,3
+3.8	21,3	21,3
+4.2	61,5	71,5
+6.0	73,5	83,5
+12.0	98,5	108,5

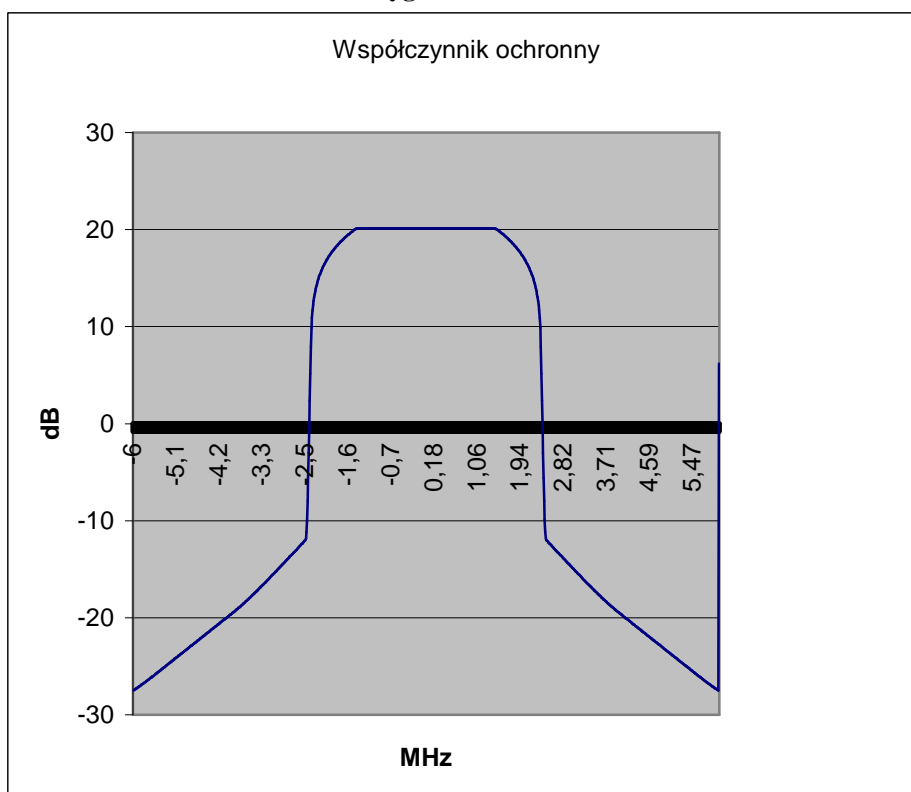
Analizując wpływ zakłóceń od kanałów sąsiednich DVB-T można dostrzec, że chroniona wartość natężenia pola dla skrajnych kanałów CDMA nie będzie przekraczać wartości 61,5 dBuV/m w przypadkach niekrytycznych i 71,5 dBuV/m w przypadkach krytycznych (tzn. np. podczas koordynacji międzynarodowej). Oznacza to dość dobre warunki dla wprowadzania DVB-T w kanałach sąsiednich. Np. nadajnik DVB-T o dużej mocy, np. 50kW, heff=150m można uruchomić w kanale sąsiednim do CDMA w odległości 34km od stacji bazowej CDMA (zakładając spełnienie wymaganych krytycznych masek widma). 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.

2.5 Analiza zakłóceń wnoszonych do DVB-RCT

W przypadku systemu DVB-RCT zastosowano maskę widma systemu DVB-RCT podaną w Sprawozdaniu z 2003 roku [8] i wykonano analizę wykorzystując opracowany model odbiornika. Uzyskano następujące przebiegi współczynników ochronnych. Zastosowano ten sam tryb pracy DVB-RCT co w Sprawozdaniu [8] a więc sygnał o szerokości 0,94MHz.



Rys. 2.5. Krzywa współczynnika ochronnego dla DVB-RCT 16QAM, kod 2/3 zakłócanego przez sygnał CDMA2000-3X



Rys. 2.6. Krzywa współczynnika ochronnego dla DVB-RCT 64QAM, kod 2/3 zakłócanego przez sygnał CDMA2000-3X

Ze względu na fakt, iż system DVB-RCT będzie pracował na zasadzie drugiej ważności można założyć, a także procedura strojenia systemu będzie korzystała z metod przeszukiwania pasma, problem współużytkowania widma DVB-RCT z CDMA nie wystąpi, zwłaszcza, że w Polsce dedykowane są dla systemu 2 kanały TV (docelowo jeden) a sąsiedzi nie wykorzystują systemu CDMA. Stąd podane współczynniki ochrony DVB-RCT są interesujące, ale mają małe znaczenie praktyczne.

2.6 Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy widać, że koegzystencja systemu DVB-T i CDMA w tym samym paśmie jest niemożliwa bez rozdziału częstotliwościowego lub przestrzennego. W tym samym kanale, na tym samym obszarze nie mogą pracować oba systemy jednocześnie. Ponieważ w Polsce system CDMA pracuje w kanałach 65 i 67 należy założyć, że kanałów tych nie będzie można wykorzystywać do celów transmisji DVB-T.

Możliwe jest jednak takie odseparowanie przestrzenne systemów, które pozwoli na spełnienie wymagań kompatybilności. Krytycznymi są zakłócenia od nadajników DVB-T do stacji bazowych CDMA. Zakłócenia od CDMA są znacznie mniejsze, tak więc w przypadku koordynacji międzynarodowej główny nacisk należy położyć na ochronę stacji bazowych CDMA. Wymagania ochronne systemu CDMA mogą spowodować pewne trudności koordynacyjne w przypadku stacji bazowych leżących stosunkowo blisko granicy państwa, jeśli w tym samym kanale za granicą będzie pracował nadajnik DVB-T o stosunkowo dużej mocy.

Na podstawie przeprowadzonych analiz zakłóceń między DVB-T i CDMA pracujących w kanałach sąsiednich można pozytywnie ocenić możliwości ich sąsiedniokanałowej pracy. Warunkiem tego jest jednak stosowanie międzynarodowo ustalonych masek widma sygnałów oraz stosowanie odpowiedniej separacji geograficznej. Jednak wykorzystywanie na tym samym obszarze jednocześnie systemu CDMA i DVB-T w kanale sąsiednim może również być problematyczne. W przypadku chęci zmniejszenia kosztów nadajników DVB-T poprzez zastosowanie łagodniejszych (a więc tańszych) filtrów w nadajniku problem pracy sąsiedniokanałowej może stać się znaczący nawet w przypadku zastosowania dość dużej separacji geograficznej. W przypadku sąsiedniokanałowej pracy obu systemów należałoby przeprowadzić każdorazowo indywidualną analizę kompatybilności w oparciu o konkretne lokalizacje i krzywe wyznaczonych współczynników ochronnych.

Przedstawiona analiza pokazuje poziomy chronione i wartości wymaganych odległości separacyjnych. Zarówno w przypadku wspólnokanałowym jak i sąsiedniokanałowym krytycznym elementem są zakłócenia wnoszone do CDMA przez DVB-T. Tak więc zarówno w koordynacji międzynarodowej jak i w planowaniu sieci krajowych należy przede wszystkim sprawdzić poziomy zakłóceń jakie mogą wystąpić na stacjach bazowych CDMA od systemu DVB-T. Zapewnienie tej ochrony sprawi, że zakłócenia w drugą stronę (do DVB-T) nie wystąpią o ile terminale będą znajdować się w obszarze pracy systemu CDMA a więc w zasięgu stacji bazowej. Próby uruchomienia terminala CDMA poza obszarem działania stacji bazowej będą mogły generować zakłócenia do systemu DVB-T. Wszystkie te problemy sprawiają, że w większości krajów europejskich na potrzeby systemów CDMA przeznacza się pasma, w których nie pracują systemy dużej mocy jak np. radiodifuzyjne stacje DVB-T nie tylko w kraju ale i za granicą.

3 Analiza metod planowania sieci MFN naziemnych radiodfuzyjnych systemów cyfrowych

Jedną z możliwych realizacji sieci DVB-T są sieci wieloczęstotliwościowe MFN (*Multi Frequency Network*), w której każdy nadajnik pracuje na innej częstotliwości i nie współpracuje z innymi nadajnikami na obszarze pokrycia. Planowanie takiej sieci zakłada m.in. dostępność pewnej puli kanałów, z której dokonywany jest ich rozdział dla każdego z nadajników. Nadajniki pracujące w tym samym kanale muszą być położone na tyle daleko, aby nie wystąpiły wzajemne zakłócenia. Odległość ta zależy od wielu czynników, m.in. wymaganego współczynnika C/N w systemie oraz wynikającego z niego współczynnika ochronnego, informującego o dopuszczalnej proporcji pól użytecznych do zakłócających.

Podczas Konferencji w Chester w 1997 roku [1] ustalono procedury i kryteria techniczne koordynacji międzynarodowej stacji DVB-T, podano również podstawowe kryteria planistyczne. O ile kryteria koordynacyjne są obligatoryjne dla wszystkich krajów porozumienia, o tyle sprawy planowania sieci, wyboru rodzaju odbioru, transmisji, trybów pracy, każdy kraj rozwiązuje we własnym zakresie. Podane w materiałach Chester wartości planistyczne (współczynniki C/N, minimalne natężenia pola, współczynniki korekcyjne) wykorzystywane w obliczeniach zasięgów użytkowych mają charakter informacyjny i można je stosować, ale również można dokonywać ich modyfikacji na potrzeby krajowe. Ponieważ cały czas na świecie trwają prace w tej dziedzinie, wartości te są weryfikowane i zmodyfikowane przed Regionalną Konferencją Planowania radiodfuzji cyfrowej RRC'04-06, która odbywa się w latach 2004 – 2006 pod auspicjami ITU.

Jakkolwiek strategię wdrażania naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T zakładają w okresie przejściowym pracę sieci cyfrowych równoległą z emisją analogową (simulcasting), to interesującą możliwością poszerzenia oferty programowej DVB-T może okazać się konwersja istniejących stacji analogowych na cyfrowe. Takie rozwiązanie zastosowano w 2003 r. w rejonie Berlina, rezygnując całkowicie z emisji analogowych na rzecz stacji telewizji cyfrowej o odpowiednio zmniejszonych mocach promieniowanych.

Dokonane w Instytucie Łączności analizy wykazały możliwość zbudowania dwóch kompatybilnych z pracującymi sieciami analogowymi multipleksów DVB1 i DVB2 o zasięgu ogólnopolskim przy wykorzystaniu stacji dużej mocy i kanałów zakresu fal decymetrowych [4,5,6]. Ponadto została zaplanowana ogólnopolska sieć stacji dużej mocy pracująca w kanałach 61-69 (DVB5) [7]. Oprócz multipleksów o zasięgu ogólnopolskim istnieją także, sporządzone w oparciu o istniejące obiekty małej mocy, plany dwóch sieci obsługujących obszary większych miast (DVB3, DVB4) [5,6].

Z zastosowaniem zasad konwersji sieci analogowych na cyfrowe, w opracowaniu URTiP [6] przedstawiono dwie kolejne sieci cyfrowe DVB6 i DVB7 o zasięgu ogólnopolskim, powstałe z wykorzystaniem kanałów stacji analogowych telewizji publicznej TVP1, TVP2, TVP3. Ze względu na użycie w skonwertowanych sieciach wyłącznie kanałów zakresu fal decymetrowych, w niektórych lokalizacjach niezbędne okazało się (szczególnie w przypadku konwersji sieci TVP1) wykorzystanie kanałów programu TVP3. W niniejszym rozdziale przedstawiono propozycję kolejnej skonwertowanej sieci ogólnopolskiej DVB8, powstałej z użyciem kanałów analogowych sieci komercyjnych (POLSAT, TVN, TV4 i NIEPOKALANÓW). Wykorzystano uzgodnione międzynarodowo kanały poniżej 60, a w tym czasowo niedostępne, działające w pasmach współużytkowanych ze służbami wojskowymi, zawarte w Planie Sztokholmskim – ST61 [10]. Zaprezentowano uzyskane wyniki pokrycia ludnościowego oraz powierzchniowego.

3.1 Podstawy techniczne

System DVB-T umożliwia wykorzystywanie różnych trybów transmisji. Możliwe jest zastosowanie różnej liczby nośnych OFDM (2k lub 8k), różnych sposobów modulacji poszczególnych nośnych (QPSK, 16-QAM, 64-QAM), różnych sprawności kodowania oraz różnych wartości odstepu ochronnego dla poszczególnych symboli. Ogółem można określić 120 różnych trybów transmisji standardowej plus warianty z tzw. modulacją hierarchiczną [2]. Wybór konkretnego wariantu transmisji zależy głównie od rodzaju przesyłanych informacji (liczby i jakości programów telewizyjnych) oraz rodzaju odbioru, jaki zamierza się osiągnąć: stacjonarny, przenośny czy w ruchu jak również związanego z tym uzyskiwanego zasięgu. Nie bez znaczenia jest też sposób nadawania – SFN (jednoczęstotliwościowy), MFN (wieloczęstotliwościowy) i związane z tym wymagane odległości między nadajnikami w sieci.

Każda nośna OFDM może być w systemie DVB-T modulowana za pomocą QPSK, 16-QAM lub 64-QAM. System QPSK zapewnia dużą odporność sygnału na zakłócenia, jednak ilość transmitowanej informacji (maksymalnie 11 Mbit/s) raczej wyklucza jego stosowanie do transmisji kilku programów telewizyjnych dobrej jakości. Do wyboru pozostaje więc tryb 16-QAM lub 64-QAM. Wariant 16-QAM daje możliwości transmisji maksymalnie do 22 Mbit/s a 64-QAM pozwala na transmisję nawet do 30 Mbit/s. Tryb 16-QAM jest stosowany głównie w odbiorze przenośnym i w ruchu, w którym niezwykle trudno jest zapewnić wymagany dla 64-QAM odpowiednio wysoki stosunek C/N. Jego lepsze właściwości, w stosunku do 64-QAM w tym rodzaju odbioru, potwierdziły też liczne testy. Wariant 64-QAM wykorzystuje się głównie w związku z koniecznością zapewnienia transmisji dużego strumienia bitów w przypadku nadawania kilku programów dobrej jakości w jednym multipleksie.

W systemie DVB-T można wybrać również sprawność kodu zabezpieczającego przed błędami (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8) oraz wielkość odstepu ochronnego 1/4, 1/8, 1/16, 1/32). Wybór zdeterminowany jest głównie przepływnością sygnału cyfrowego oraz koniecznością uodpornienia systemu na zakłócenia. Generalnie korzystnie jest 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 przepływność będzie można wykorzystywać w multipleksie.

W dłuższym horyzoncie czasowym należy zakładać migrację sieci MFN do sieci SFN, które efektywniej wykorzystują widmo i dają lepszą jakość odbioru (zwłaszcza przenośnego) przy większych zasięgach. W przypadku transmisji w rozległych sieciach SFN podstawową cechą sygnału OFDM powinien być duży odstep ochronny pozwalający na skuteczną eliminację echa i stosowanie nadajników znacznie odległych od siebie. Największy możliwy odstep ochronny według specyfikacji dla systemu DVB-T wynosi 224 μ s i występuje w przypadku transmisji 8k i odstepu 1/4. Umożliwia on eliminację słabych ech nawet o czasie trwania do około 270 μ s. Pozwala to na stosowanie nadajników sieci SFN odległych o ok. 70 km.

3.2 Zasięg stacji

W trakcie rozwoju sieci DVB-T od okresu początkowego (pojedyncze stacje) poprzez okres emisji równoległej (wiele stacji) DVB-T w sieciach MFN do okresu docelowego, całkowicie cyfrowego (wiele sieci SFN), występować będzie nieustanna modyfikacja sposobów nadawania. O ile w początkowym okresie dążyć się będzie do maksymalizowania zasięgów ze względu na małą liczbę nadajników o tyle później równie istotne staną się na

pewno względy jakościowe. Należy podkreślić, że system DVB-T bez względu na to, jaki wariant się wybierze, zawsze umożliwi odbiór przenośny i stacjonarny w okolicy nadajnika i tylko stacjonarny nieco dalej. Dlatego każda stacja DVB-T odznaczała będzie się kilkoma zasięgami: dla odbioru stacjonarnego, przenośnego zewnętrznego, wewnętrznego na wyższych piętrach i wewnętrznego na parterze.

Sieci DVB-T planowane są z uwzględnieniem podstawowych parametrów technicznych, które stosuje się również w planowaniu sieci analogowych, tj. minimalna wartość mediany natężenia pola użytecznego oraz współczynniki ochronne określające proporcje pomiędzy polami zakłócającymi i użytecznymi.

Przyjmuje się, że w pierwszej fazie uruchamiania nadajników DVB-T w Polsce stosowany będzie wariant transmisji w sieci wieloczęstotliwościowej (MFN) a odbiór będzie realizowany zarówno w wariacie stacjonarnym jak i przenośnym. Dla takich warunków pracy przeprowadzono dalsze analizy.

3.3 Minimalne chronione natężenie pola E_{min}

Wymagania na E_{min} są uzależnione od założonej przez operatora przepustowości kanału zdefiniowanej dla różnych stosunków sygnał/szum (C/N).

Dla kilku wybranych systemów transmisji minimalna wartość natężenia pola E_{min} dla częstotliwości $f = 500$ MHz ujęto w tabeli 3.1 [9]:

Tabela 3.1. Minimalna wartość natężenia pola dla wybranych systemów transmisji

Modulacja	C/N	E_{min}
16-QAM 2/3 odbiór stacjonarny	14,6	39 dB(μ V/m)
16-QAM 2/3 odbiór przenośny	17,2	48 dB(μV/m)
64-QAM 2/3 odbiór stacjonarny	20,1	44 dB(μV/m)
64-QAM 2/3 odbiór przenośny	22,3	53 dB(μ V/m)

W przeprowadzonych analizach założono przypadek odbioru stacjonarnego z anteną zewnętrzną umieszczoną na wysokości 10 m n.p.t. a także przenośnego z prostą anteną na wysokości 1,5 m n.p.t. Wymagany stosunek sygnału do szumu dla wartości $BER = 2 \cdot 10^{-4}$ na wyjściu dekodera Viterbiego przyjęto odpowiednio na poziomie 20 dB (odbiór stacjonarny) lub 17 dB dla odbioru przenośnego, co zależnie od przyjętego odstępu ochronnego oraz rodzaju odbioru umożliwia emisję strumienia danych z prędkością odpowiednio ok. 20 Mbit/s bądź 15 Mbit/s [2]. Odpowiada to konieczności zapewnienia minimalnej mediany natężenia pola w paśmie IV (przy częstotliwości 500 MHz), dla odbioru stacjonarnego z prawdopodobieństwem przestrzennym 50 %, wynoszącej 44 dB(μ V/m), zaś dla przenośnego 48 dB(μ V/m) – tabela 3.1. Wartości te zostały następnie skorygowane w celu zwiększenia niezawodności odbioru. Warunek dobrego odbioru wymaga, aby zapewniony był w 95 % miejsc obszaru obsługi. Jeśli odbiór jest zapewniony w 70 % miejsc, jest to tzw. odbiór akceptowalny.

Skorygowaną minimalną wartość mediany natężenia pola, odpowiadającą częstotliwości f można wyznaczyć ze wzoru:

$$E_{skor \min} = E_{\min} + 20 \cdot \log(f/500) + \mu \cdot \sigma \quad (1)$$

gdzie:

E_{\min} – minimalna mediana wartości natężenia pola dla częstotliwości 500 MHz;

σ - odchylenie standardowe dla rozkładu natężenia pola (w przypadku sygnału telewizji cyfrowej równe 5,5 dB);

μ - współczynnik korekcyjny dla rozkładu normalnego: $\mu(70\%) = 0,52$ i $\mu(95\%) = 1,64$;

f - częstotliwość w MHz.

W przypadku odbioru stacjonarnego, przyjęta do obliczeń minimalna mediana (osiągana w 50 % czasu), skorygowana dla 95 % miejsc i dla częstotliwości 500 MHz, wynosi $E_{\min} = 53$ dB(μ V/m). Dla warunków odbioru przenośnego, po dodatkowym uwzględnieniu korekcji na wysokość anteny odbiorczej, skorygowana minimalna mediana wynosi 69 dB(μ V/m). Ponadto przyjmuje się, że poziom sygnału podlega rozkładowi logarytmiczno-normalnemu, określone przez odchylenie standardowe $\sigma = 5,5$ dB i wartość ta nie jest uzależniona od stosowanej metody obliczeń propagacyjnych.

3.4 Współczynniki ochronne

Przyjęte wartości współczynników ochronnych zamieszczono w tabeli 3.2 [9].

Tabela 3.2. Współczynniki ochronne dla potrzeb planowania telewizji cyfrowej

Przypadek zakłóceń	Numer kanału zakłócającego			
	k	k – 1	k + 1	k + 9
DVB-T → TVA (zakłócenia ciągłe)	40	– 5	– 5	– 15
DVB-T → TVA (zakłócenia troposferyczne)	34	– 9	– 9	– 19
DVB-T → DVB-T	20 ^{*)}	– 30 ^{*)}	– 30 ^{*)}	X
TVA → DVB-T	3 ^{**)}	– 35 ^{**)}	– 38 ^{**)}	X

X - brak zakłóceń

Podane wartości dla zakłóceń DVB-T wybrano dla modulacji 64-QAM 2/3 – odbiór stacjonarny. Przyjęto, że sygnał użyteczny wyznaczany jest dla $T = 50\%$ i $L = 50\%$, natomiast sygnał zakłócający dla $T = 1\%$ i $L = 50\%$.

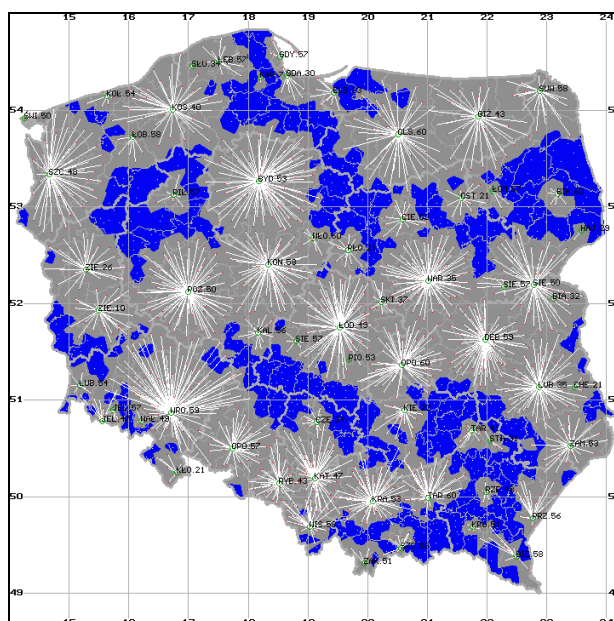
W przypadku zakłóceń wnoszonych do systemu DVB-T w wymaganym procencie miejsc (95% – odbiór dobry, 70% – odbiór akceptowalny) zastosowano odpowiedni współczynnik korekcyjny lokalizacji sygnału użytecznego i zakłócającego. Generalnie współczynnik ten zależy od współczynnika rozkładu μ i odchyłeń standardowych sygnałów użytecznego σ_1 i zakłócającego σ_2 i jest równy $C_M = \mu \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{1/2}$. Tak więc wartości w tabeli opatrzone ^{*)} należy zwiększyć o 13 dB dla odbioru dobrego lub o 4 dB dla odbioru akceptowalnego, a wartości opatrzone ^{**)} odpowiednio o 18 lub 6 dB. Przy projektowaniu sieci uwzględniono dyskryminację kierunkową anten odbiorczych taką samą jak w przypadku telewizji analogowej w przypadku odbioru stacjonarnego.

3.5 Konwersja stacji

W pracy [6] zawarto między innymi propozycję dwóch ogólnopolskich sieci cyfrowych powstałych w wyniku konwersji stacji telewizji publicznej. W związku z wykorzystaniem do celów konwersji wszystkich kanałów telewizji publicznej, w niniejszej pracy podjęto próbę przekształcenia sieci stacji telewizji komercyjnych w jedną ogólnopolską sieć cyfrową DVB8. Zdecydowanie najlepsze efekty pokrycia uzyskano konwertując sieć Polsatu oraz uzupełniając tak powstałą sieć cyfrową o stacje z pozostałych sieci komercyjnych.

Konwersji stacji dokonano zgodnie z ustaleniami Konferencji Chester 97 [1], zawierającymi kryteria techniczne dotyczące planowania i koordynacji sieci naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T. W myśl ustaleń podjętych na Konferencji, moce promieniowane wszystkich podlegających konwersji stacji telewizji analogowej zostają obniżone o wartość 7 dB.

W skład sieci TV Polsat wchodzi 63 stacje (w tym 32 dużej mocy), z czego dwie pracują w zakresie fal metrowych [14]. Na rys. 3.1 przedstawiono obecny zasięg pracującej sieci analogowej Polsat. Wyniki pokrycia ludnościowego oraz powierzchniowego dla analizowanych w artykule sieci telewizyjnych zawarto w tabeli 3. Jako warunki odbioru telewizji analogowej przyjęto odbiór stacjonarny z anteną zewnętrzną umieszczoną na wysokości 10 m n.p.t. oraz minimalną medianę natężenia pola przekraczaną w 50 % miejsc wynoszącą odpowiednio 55 dB ($\mu\text{V/m}$) w kanałach 6-12, 65 dB ($\mu\text{V/m}$) w kanałach 21-34 i 70 dB ($\mu\text{V/m}$) w kanałach 35-60.

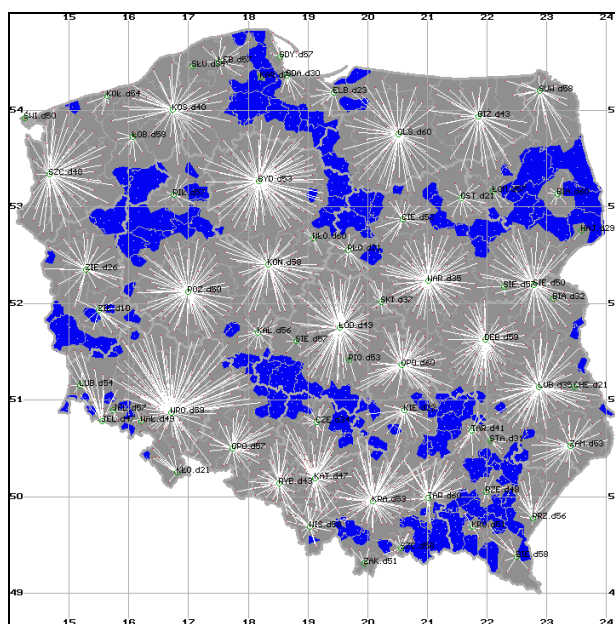


Rys. 3.1. Zasięg stacji analogowych należących do sieci telewizji Polsat (kolorem szarym oznaczono miejsca poprawnego odbioru, kolorem niebieskim obszary gdzie odbiór nie jest możliwy)

Obliczenia zasięgów wykonano wykorzystując metodę uwzględniającą szczegółowe przekroje tras propagacji. Prezentowane mapki przygotowano wykorzystując Cyfrowy Model Terenu i oprogramowanie opracowane w Instytucie Łączności w Oddziale we Wrocławiu. Za pomocą tego narzędzia oraz posiadanych banków danych o stacjach TV obliczono sygnały użyteczne od stacji TV w siedzibach wszystkich gmin. Dla uniknięcia redundancji w szacowaniu pokrycia w każdej gminie wyodrębniono najsilniejszy sygnał. Na mapach zasięgu

kolorem szarym oznaczono miejsca poprawnego odbioru stacjonarnego, kolorem żółtym odbioru zakłóconego, kolorem zielonym poprawnego odbioru przenośnego bądź stacjonarnego, zaś kolorem niebieskim obszary gdzie odbiór nie jest możliwy.

W pierwszej kolejności dokonano konwersji analogowo-cyfrowej całej sieci telewizji Polsat, uzyskując wyniki przedstawione na rys. 3.2 (sieć DVB8-A). Konwersji poddano wszystkie stacje TV zarówno pracujące w kanałach decymetrowych jak i metrowych. Zauważalny jest wzrost pokrycia ludnościowego i powierzchniowego pomimo zmniejszenia mocy promieniowanych stacji o 7 dB. W porównaniu z TV analogową zasięg ludnościowy wzrósł o około 5 % zaś powierzchniowy o ponad 8 %.



Rys. 3.2. Zasięg sieci cyfrowej DVB8-A powstałej w wyniku konwersji analogowej sieci POLSAT (kolorem szarym oznaczono miejsca poprawnego odbioru, kolorem niebieskim obszary gdzie odbiór nie jest możliwy)

Plany sieci DVB6 i DVB7 sporządzono z wykorzystaniem wyłącznie kanałów zakresu fal decymetrowych [6]. Dlatego w następnym etapie zaplanowano sieć DVB8-B złożoną ze skonwertowanych stacji Polsatu z pominięciem pracujących w zakresie III nadajników KARTUZY i ZIELONA GÓRA 1. Dodatkowo rozważono ewentualność zastosowania kanałów pozostałych pracujących sieci komercyjnych mogących przyczynić się do poprawy pokrycia.

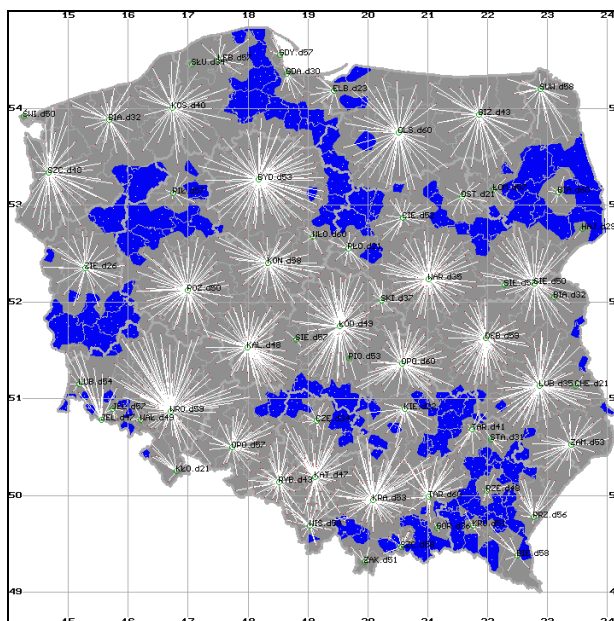
Tabela 3. 3. Zestawienie pokrycia ludnościowego i powierzchniowego dla kolejnych wariantów sieci

Wariant sieci	Pokrycie	
	Ludnościowe [%]	Powierzchniowe [%]
Analogowa TV	84,9	73,5
DVB8-A	89,7	81,9
DVB8-B	89,8	82,1
DVB8-C	94,5	91,4
DVB8-C*	93,9	90,9
DVB8-C**	79,0	66,4

* - obliczenia przeprowadzone z udziałem bazy sygnałów zakłócających,

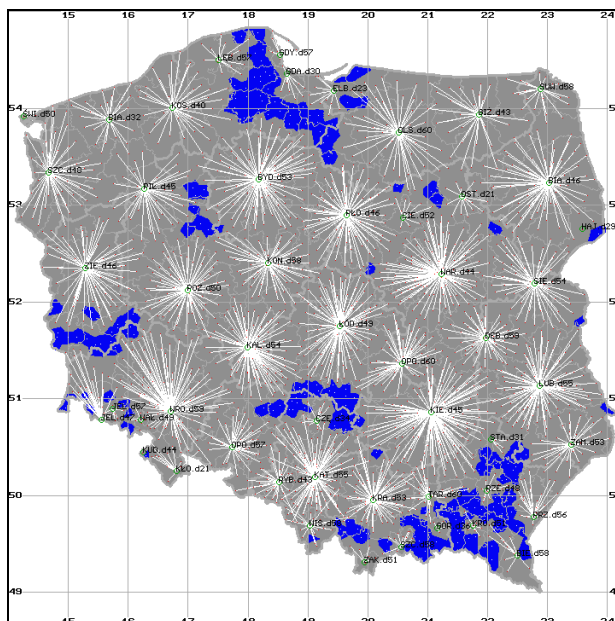
** - wyniki dotyczące odbioru przenośnego zewnętrznego uzyskane z udziałem bazy sygnałów zakłócających

W tym celu przeanalizowano wyniki pokrycia sieci TVN, TV4 oraz TV NIEPOKALANÓW [14]. Spośród stacji wchodzących w skład tych sieci najistotniejszy wpływ na wzrost pokrycia proponowanej sieci DVB8-B wykazało dodanie stacji GORLICE (TV NIEPOKALANÓW) oraz stacji dużej mocy KALISZ (TV4) i BIAŁOGARD (TVN).

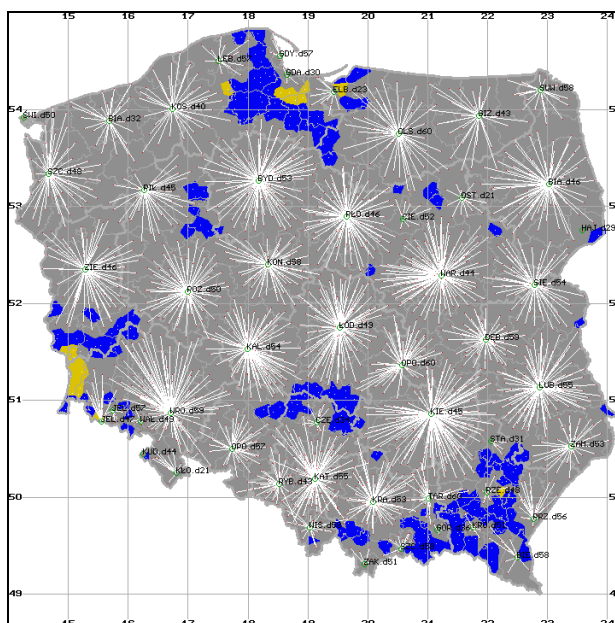


Rys. 3.3. Zasięg sieci cyfrowej DVB8-B (kolorem szarym oznaczono miejsca poprawnego odbioru, kolorem niebieskim obszary gdzie odbiór nie jest możliwy)

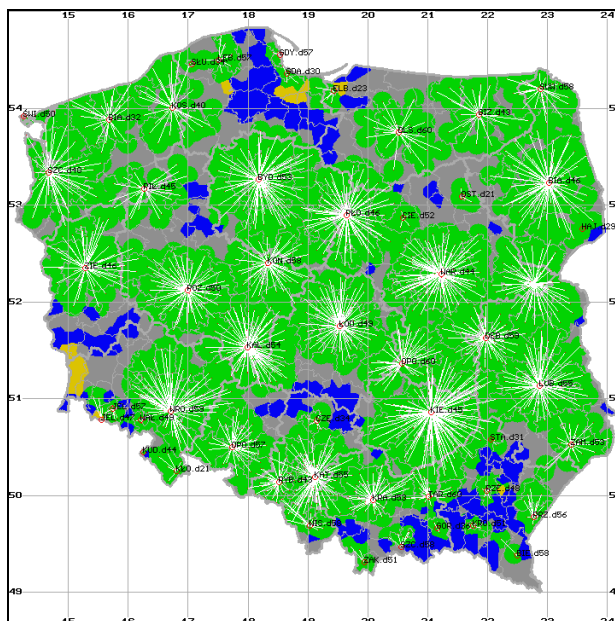
W planowanej sieci DVB8-B nie uwzględniono stacji LUBAŃ w związku z wykorzystaniem jej w cyfrowej sieci DVB6. Na tej podstawie sporządzono plan sieci cyfrowej przedstawiony na rys. 3.3. W ten sposób uzyskano trzecią cyfrową sieć ogólnopolską DVB8-B o pokryciu ludnościowym sięgającym 90 % (tabela 3.3).



Rys. 3.4. Zasięg sieci cyfrowej DVB8-C (kolorem szarym oznaczono miejsca poprawnego odbioru, kolorem niebieskim obszary gdzie odbiór nie jest możliwy)



Rys. 3.5. Interferencyjny zasięg sieci cyfrowej DVB8-C (kolorem szarym oznaczono miejsca poprawnego odbioru, kolorem żółtym odbioru zakłóconego, kolorem niebieskim obszary gdzie odbiór nie jest możliwy)



Rys. 3.6. Zasięg sieci cyfrowej DVB8-C z uwzględnieniem interferencji z zaznaczeniem obszarów odbioru przenośnego zewnętrznego, (kolorem zielonym oznaczono miejsca poprawnego odbioru przenośnego i stacjonarnego, kolorem szarym poprawnego odbioru stacjonarnego, kolorem żółtym odbioru zakłóconego, kolorem niebieskim obszary gdzie odbiór nie jest możliwy)

Zwiększenie pokrycia kraju przez ogólnopolską sieć DVB8, wykorzystując istniejące lokalizacje stacji dużej mocy jest możliwe, ale z wykorzystaniem czasowo niedostępnych kanałów stacji z planu ST61 [10]. Sytuacja ta dotyczy minimum 11 lokalizacji. Zakładając dostępność kanałów z planu ST61 stacji: BIAŁYSTOK, KALISZ, KATOWICE, KIELCE, KUDOWA, LUBLIN, PIŁA, PŁOCK, SIEDLCE, WARSZAWA i ZIELONA GÓRA powstała propozycja sieci DVB8-C. Sieć DVB8-C stanowi modyfikację sieci DVB8-B polegającą na usunięciu stacji małej mocy znajdujących się w zasięgu dodanych 11 stacji z planu ST61. W efekcie sieć DVB8-C przy odbiorze stacjonarnym charakteryzuje się pokryciem ludnościowym i powierzchniowym o wartościach przekraczających 90 % (rys. 3.4, tabela 3.3). Na rys. 3.5 przedstawiono zasięg tej samej sieci cyfrowej z uwzględnieniem interferencji pochodzących od stacji zagranicznych i siedmiu polskich multipleksów DVB-T. Sieć ta jest kompatybilna z sieciami cyfrowymi opisanymi w opracowaniu [6]. Pomimo wykorzystania kanałów wymienionych stacji z planu ST61 widoczne są jednak luki w pokryciu kraju na obszarze Pomorza, Podkarpacia, w rejonie Częstochowy, Gniezna i Lubania. Zgodnie z przewidywaniami, głównie ze względu na niższą wysokość zawieszenia anteny odbiorczej uzyskano mniejszy obszar pokrycia dla odbioru przenośnego (tabela 3, rys. 3.6).

3.6 Wnioski

Problemy planowania sieci DVB-T znajdują się w centrum zainteresowania nadawców, regulatorów i organizacji międzynarodowych zwłaszcza w ostatnim czasie, w miarę zbliżania się Regionalnej Konferencji Planowania ITU RRC'04-06, której zasadniczym celem jest ustalenie przydziałów częstotliwości dla systemów cyfrowych. Wybór sposobu odbioru, trybu transmisji jak i podstawowych parametrów planistycznych skutkować będzie różnymi zasięgami stacji DVB-T. Dalsze prace w zakresie planowania przyszłych sieci DVB-T będą

musiały być poprzedzone kontynuacją prac z zakresu kompatybilności z innymi służbami [3, 11] jak również pracami w zakresie precyzyjnego wyznaczania zasięgów (zwłaszcza w terenach górzystych i w miastach, wewnątrz budynków) przy wykorzystywaniu zarówno metod konwencjonalnych (Zalecenia ITU-R P.370 czy ITU-R P.1546) jak i metod specjalistycznych (Monte Carlo, Ray-tracing) weryfikowanych pomiarami.

Na podstawie przedstawionej propozycji nowego planu sieci stacji cyfrowej telewizji naziemnej widać, że istnieje możliwość zbudowania szóstej sieci o zasięgu ogólnopolskim a tym samym trzeciej sieci skonwertowanej ze skoordynowanych międzynarodowo telewizyjnych stacji analogowych. Sieć DVB8-A stanowi przykład bezpośredniej konwersji sieci analogowej w cyfrową. Mimo zmniejszenia mocy nadajników o 7 dB zasięgi stacji wzrosły, co wynika ze specyfiki naziemnej telewizji cyfrowej. Przy założonym C/N systemu, w porównaniu z TV analogową, zasięg ludnościowy i powierzchniowy wzrósł. Warto podkreślić, że wskutek cyfryzacji zamiast jednego programu telewizyjnego możliwa jest transmisja 4 programów telewizyjnych za pomocą tej samej sieci. Sama konwersja pozwala więc nadawcy nie tylko na uzyskanie większego zasięgu zarówno obszarowego jak i ludnościowego przy obniżonej 5 razy mocy nadajników, ale również możliwość transmisji większej liczby programów bądź dodatkowych serwisów przy zachowaniu istniejącej infrastruktury nadawczej. Sieć DVB8-B zbudowana z wykorzystaniem skonwertowanych stacji w kanałach obecnie eksploatowanych charakteryzuje się pokryciem ludnościowym zbliżonym do 90 %. Uzyskanie sieci ogólnopolskiej (DVB8-C) o pokryciu ludnościowym i powierzchniowym przekraczającym 90 %, z zachowaniem bieżących lokalizacji stacji dużej mocy i skoordynowanych międzynarodowo kanałów, wymaga jednak wykorzystania częstotliwości aktualnie będących w dyspozycji MON. W skład sieci DVB8-B i DVB8-C wchodzi wyłącznie stacje pracujące w kanałach z zakresu fal decymetrowych. Dużą zaletą konwersji pracującej sieci analogowej jest możliwość uzyskania pełnej zgody w trakcie koordynacji międzynarodowej z innymi krajami. Stąd decyzja i możliwość konwersji takiej sieci zależy wyłącznie od wewnętrznych ustaleń podjętych w kraju. W wyniku konwersji i zwiększenia zasięgów przez stacje dużej mocy, wiele stacji małej mocy może zostać wyłączonych bez utraty zasięgu w przypadku odbioru stacjonarnego. Możliwe jest jednak pozostawienie tych stacji w użyciu, lecz ich przestrojenie tak, aby pracowały w ramach sieci jednoczęstotliwościowej SFN we współpracy z nadajnikami dużej mocy. Dzięki temu możliwe byłoby spełnienie kryteriów dla odbioru przenośnego czy w ruchu na jeszcze większym obszarze niż przedstawionym w tym rozdziale.

Zamieszczona propozycja planu kolejnej sieci DVB-T bazującej na konwersji sieci nadawców prywatnych jest uzupełnieniem wcześniejszych opracowań IŁ [4,5] oraz URTIP [6,7] i umożliwia rozszerzenie dotychczasowej oferty dla nadawców. Oferta, jaką zapewnia DVB-T nadawcom i odbiorcom, jest więc w chwili obecnej bardzo duża i umożliwia uzyskanie zasięgu ogólnopolskiego dla kilkunastu programów telewizyjnych i dodatkowo kolejnych kilkunastu programów w regionach dużych miast. Wydaje się, że z zapasem zaspokoiliby to potrzeby wszystkich nadawców – publicznych i prywatnych. Cyfryzacja oznaczałaby też dużo większą liczbę programów dostępnych z eteru dla wszystkich widzów. Taniejące przystawki set-top-box do odbioru DVB-T oraz rychle ich zintegrowanie z przyszłymi odbiornikami telewizyjnymi oznacza, iż w niedalekiej przyszłości otworzą się nie tylko możliwości nadawcze ale wzrośnie liczba potencjalnych odbiorców.

Przedstawiona analiza dowodzi, że tworzenie planów kolejnych sieci ogólnopolskich DVB-T jest coraz trudniejsze ze względu na konieczność ochrony wcześniejszych planów sieci. Prawdopodobnie realizując koncepcję następnych konwersji na zasadach analogicznych jak w niniejszym artykule uzyskane pokrycie będzie coraz mniejsze i nie będzie spełniać kryteriów stawianych sieciom ogólnopolskim. Uzyskanie kolejnych sieci wiązałoby się z

koniecznością szerokiego stosowania sieci jednoczęstotliwościowych, co jest niestety kosztowne dla nadawcy i operatora ze względu na dużą liczbę wymaganych nadajników. Niewątpliwie jednak w przyszłości konieczna będzie budowa sieci jednoczęstotliwościowych spełniających warunki efektywnego wykorzystania widma i uzyskania bardzo dobrego odbioru przenośnego czy ruchomego, a w związku z tym konieczne będzie rozwijanie infrastruktury nadajników radiodifuzyjnych.

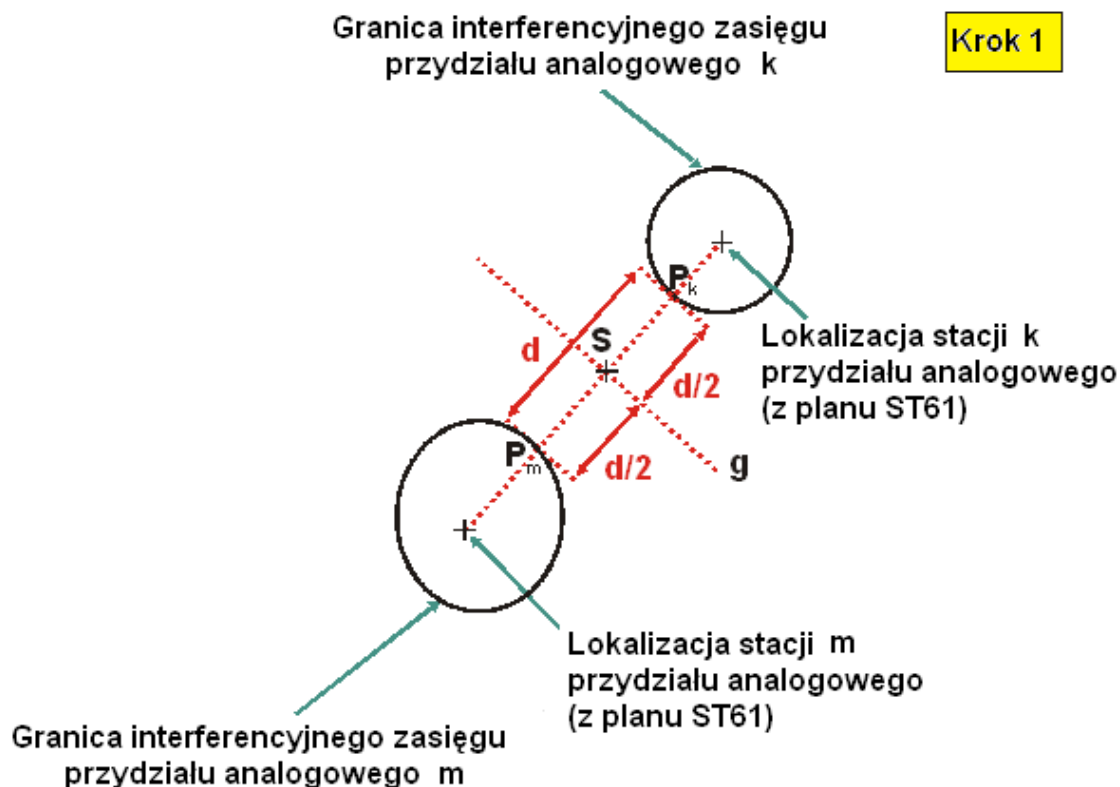
4 Uproszczona metoda planowania sieci SFN naziemnych radiodifuzyjnych systemów cyfrowych na przykładzie DVB-T

4.1 Tworzenie obszarów rezerwacji na podstawie przydziałów analogowych

Jedną z metod planowania sieci SFN jest sposób oparty na tzw. obszarach rezerwacji (*allotments*). Obszary rezerwacji mogą być rozmieszczone na danym obszarze w ramach nowego planu, bądź stanowić pochodną wdrożonego planu służby analogowej, np. ST61 [10]. Zaletą tego ostatniego rozwiązania jest możliwość wykorzystania gotowego, skoordynowanego międzynarodowo rozdziału kanałów stacji dużej mocy na obszarze Europy. W oparciu o przyjęty wariant cyfrowego systemu radiodifuzyjnego można, w porównaniu z TV analogową, dodatkowo rozszerzyć wynikające obszary i dowolnie je kształtować. Jest to możliwe dzięki właściwościom sieci SFN pozwalającej na dodanie kolejnych stacji nadających w tym samym kanale i kształtujących obszar pokrycia praktycznie w dowolnym punkcie znajdującym się w ustalonym obszarze rezerwacji. Tym sposobem możliwe jest także dołożenie stacji uzupełniających małej mocy obsługujących np. tereny górskie bez konieczności dobierania dodatkowych częstotliwości, o ile obsługiwana okolica należy do obszaru rezerwacji. Dzięki zastosowaniu sieci SFN możliwe jest również uzyskanie doskonałego odbioru wewnątrz obszaru rezerwacji w niezwykle trudnych warunkach istniejących podczas odbioru przenośnego (wewnątrz i na zewnątrz budynków) oraz w ruchu. Warunkiem poprawnej pracy sieci SFN jest jednak konieczność synchronizacji wszystkich nadajników i emisja tego samego bloku programów.

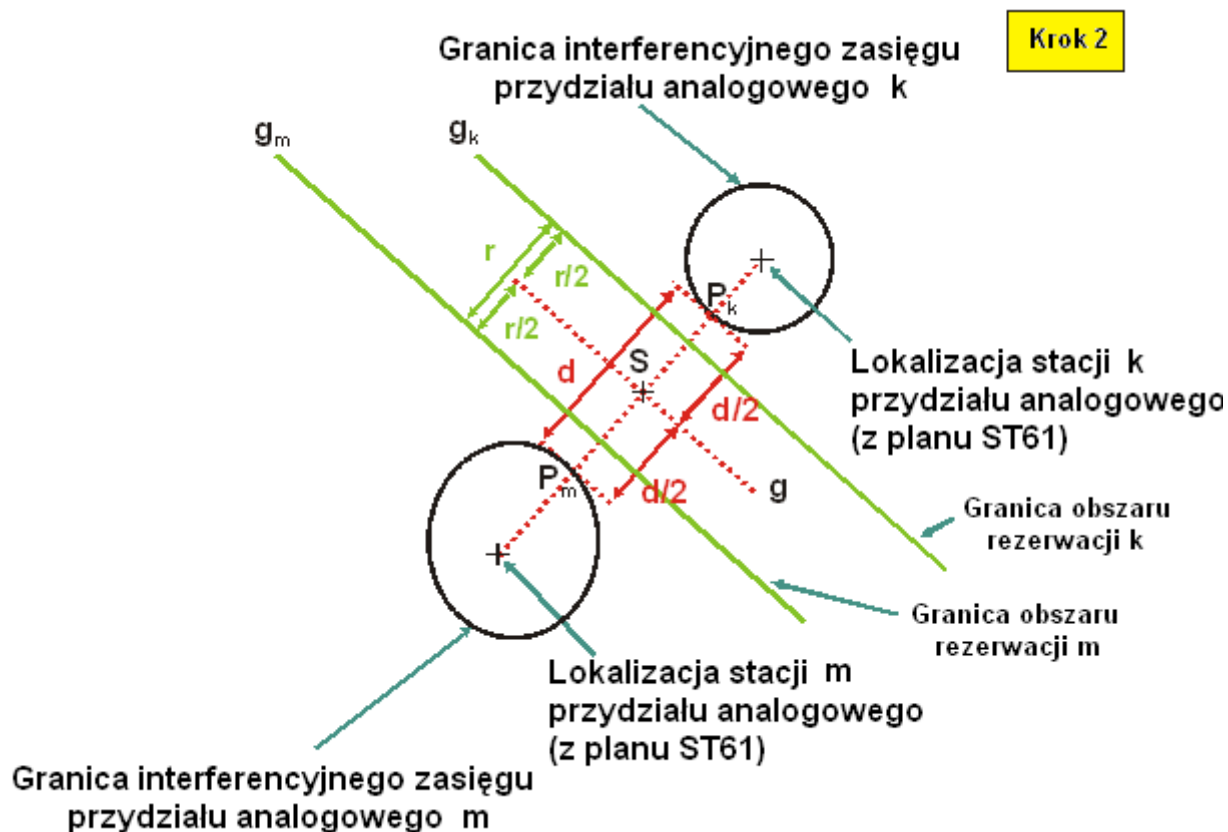
Tworzenie obszarów rezerwacji może zostać oparte na ustalonych już przydziałach analogowych. Punkt wyjścia stanowi obliczenie wszystkich interferencyjnych zasięgów stacji analogowych. Następnie, dla wszystkich tych przydziałów tworzone są obszary rezerwacji wynikające z odległości separacyjnej.

Założmy, że rozważamy N przydziałów analogowych. Należy przeprowadzić kolejno analizy wpływu każdego przydziału A_k , $k = 0, \dots, N$, względem wszystkich innych A_m , ($m \neq k$). Następnie, pomiędzy punktami odpowiadającymi lokalizacjom stacji odpowiadającym przydziałom A_k oraz A_m , poprowadzona zostaje linia (rys. 4.1). Linia ta przecina kontury wyznaczające zasięgi interferencyjne obu stacji w punktach oznaczonych odpowiednio P_k oraz P_m i odległych od siebie o dystans d . Punkt S znajduje się na linii łączącej lokalizacje stacji w środku pomiędzy punktami P_k oraz P_m . Należy zaznaczyć, że zależnie od wielkości obliczonego interferencyjnego zasięgu stacji, punkt S nie musi leżeć na środku linii łączącej lokalizacje obu stacji. Następnie, poprowadzona zostaje, prostopadła do istniejącej i przecinająca punkt S , linia g .



Rys. 4.1. Początkowy etap konstruowania obszaru rezerwacji opartego na przydziale analogowym

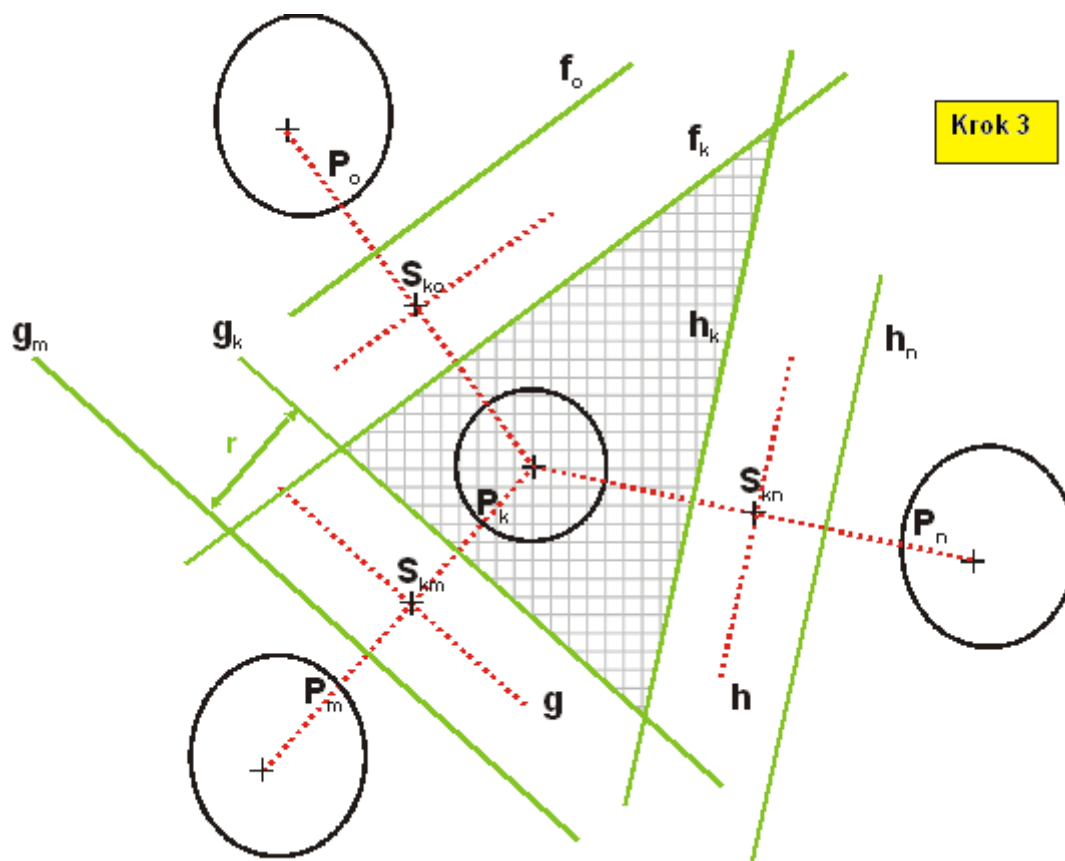
Dodatkowo, równoległe do linii g poprowadzone zostają, w odległościach równych połowie odległości separacyjnej r , linie g_k oraz g_m . Linie g_k oraz g_m stanowią granice powstałych obszarów rezerwacji k oraz m . Na tym etapie obie linie graniczne rozciągają się w nieskończoność w obie strony. Następnie rysowane zostają kolejne linie graniczne dotyczące przydziału A_k względem $m \neq k$ pozostałych (rys. 4.2). Obszar rezerwacji odpowiadający przydziałowi A_k dany jest wtedy przez linie łączące punkty przecięć poszczególnych linii granicznych. Jak nietrudno zauważyć, powstały obszar rezerwacji jest większy od zasięgu analogowego stacji.



Rys. 4.2. Kolejny etap konstruowania obszaru rezerwacji opartego na przydziale analogowym

Jeśli odległość d pomiędzy konturami określającymi analogowe zasięgi interferencyjne jest większa od odległości separacyjnej, obie linie graniczne (g_k oraz g_m) nie muszą znajdować się dokładnie na środku obszaru rozdzielonego linią g . Linie graniczne mogą zostać przesunięte w stronę lokalizacji stacji nadawczych do momentu, kiedy nie zetkną się z konturami określającymi dotychczasowy zasięg analogowy. Przedstawiona metoda daje możliwość powiększenia jednego z obszarów rezerwacji kosztem rozmiaru innego.

Opisany sposób może być zastosowany w odniesieniu do wszystkich przydziałów w obrębie danego kanału TV na danym obszarze, na którym zaimplementowano plan telewizji analogowej. Należy jednak zwrócić uwagę na ewentualną konieczność modyfikacji powstałego obszaru rezerwacji, jeśli przekroczy on granicę kraju. Ponadto, na skutek uwarunkowań topograficznych, bądź przez zastosowanie offsetu precyzyjnego może się zdarzyć, że odległość pomiędzy konturami określającymi zasięgi interferencyjne stacji analogowych okaże się mniejsza niż dana odległość separacyjna.



Rys. 4.3. Utworzony na podstawie przydziałów analogowych obszar rezerwacji

W takim przypadku można dopuścić korektę odległości separacyjnej, albo liczyć się ze zmniejszeniem, w stosunku do obszaru obsługiwanego przez stację analogową, rozważanego obszaru rezerwacji na danym kierunku. Jeśli opisany przypadek ogranicza się jedynie do obszaru danego kraju i nie ma wpływu na kraje ościennie, to można też połączyć blisko położone obszary rezerwacji w jedną większą całość.

4.2 Obszar rezerwacji na podstawie stacji z planu przejściowego

Obliczenia przeprowadzono dla stacji cyfrowej POZNAŃ z tzw. planu przejściowego, znajdującej się w grupie przewidzianych do uruchomienia w pierwszym etapie. Na rys. 4.4 widać, że obszar pokrycia stacji wpisuje się w założony obszar rezerwacji.

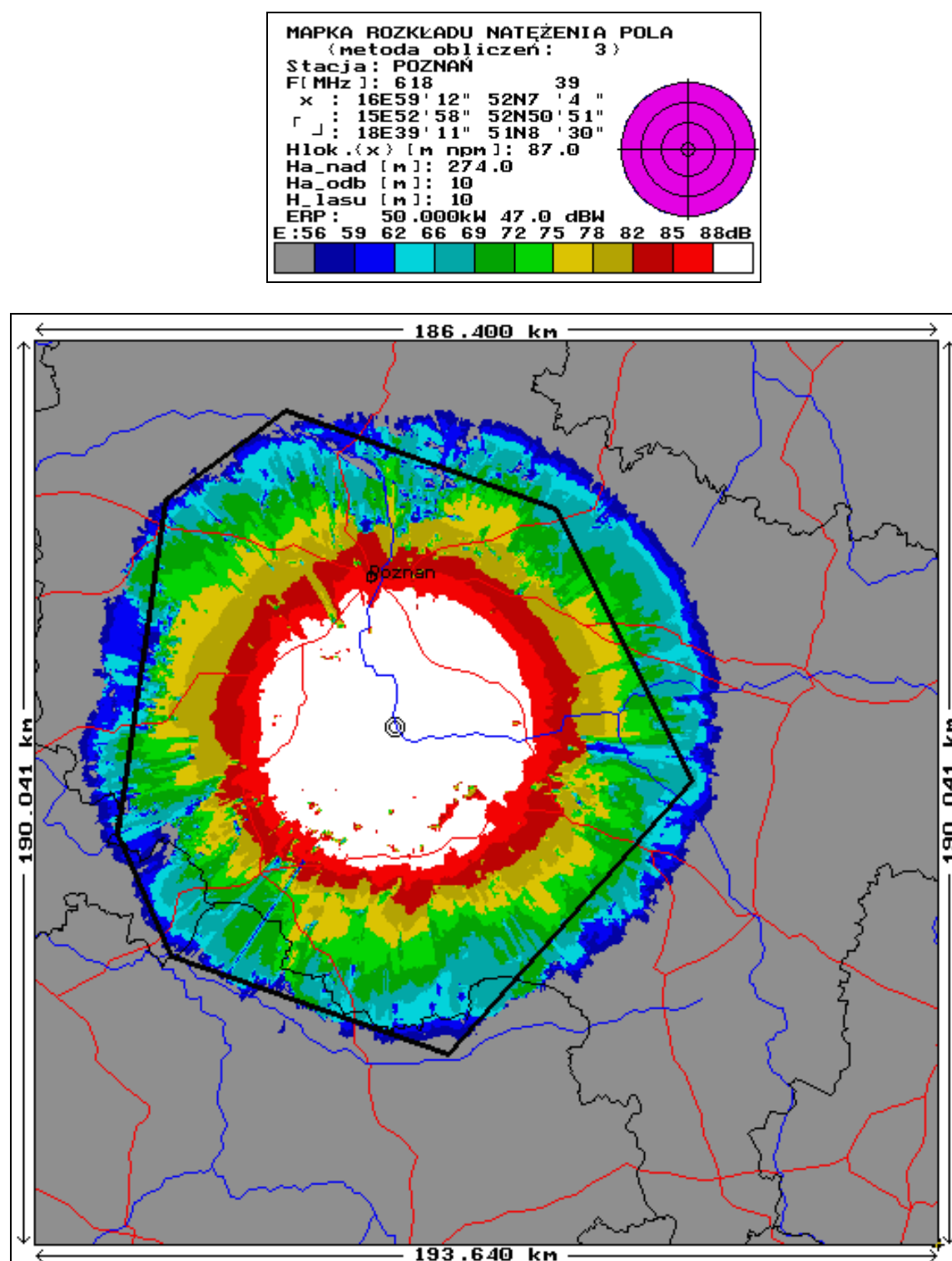
Parametry stacji są następujące:

Tabela 4.1. Podstawowe parametry techniczne stacji

Nazwa stacji	POZNAŃ
Lokalizacja	Śrem
Długość geograficzna	16°59'12"
Szerokość geograficzna	52°07'04"
Wzniesienie terenu [m n.p.m.]	87
Wysokość zawieszenia anteny [m n.p.t.]	274
Kanał TV	39
Częstotliwość środkowa kanału [MHz]	618
Moc promieniowana [kW]	50
Charakterystyka anteny nadawczej	dookólna

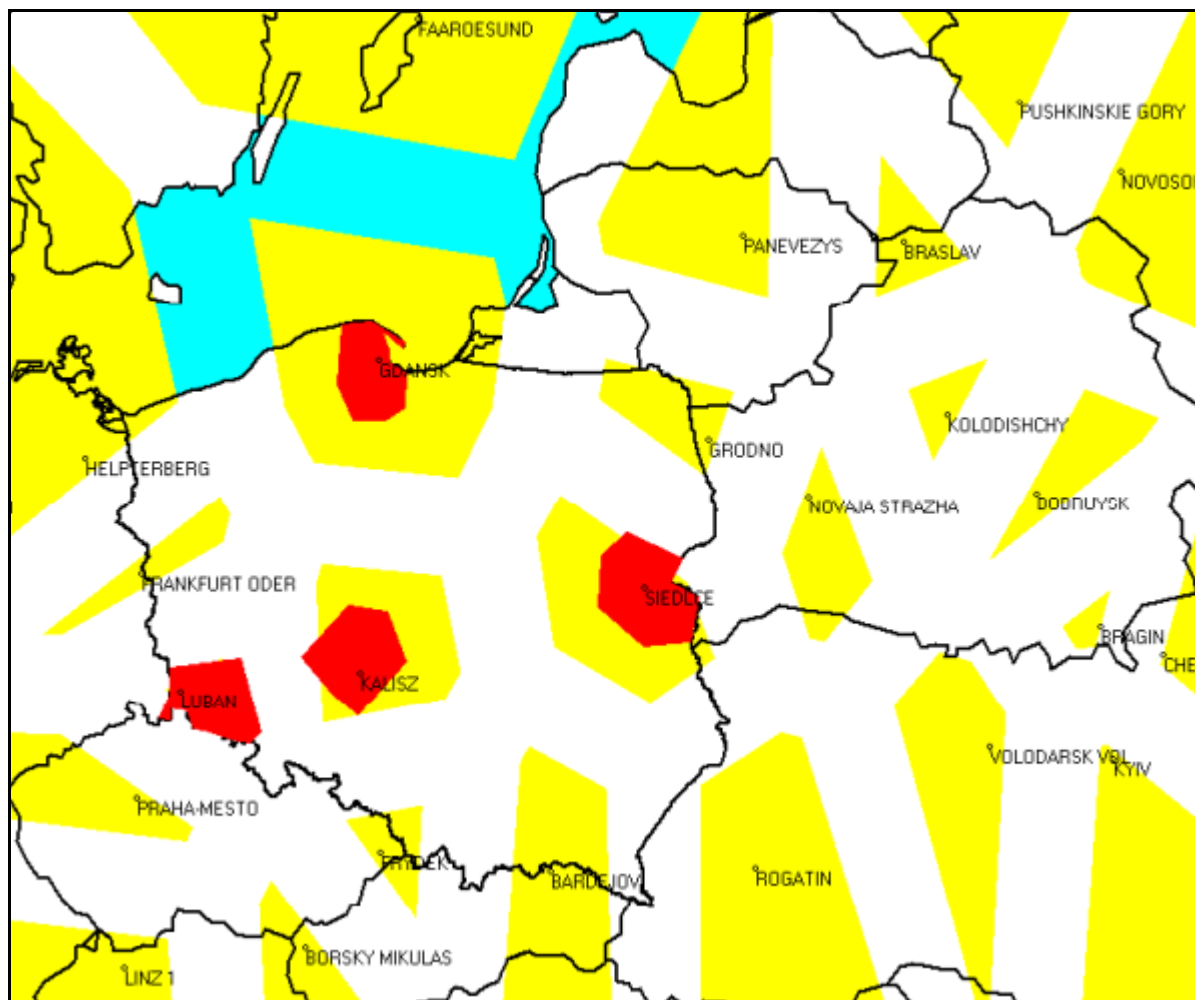
Pozostałe parametry dla analizy zasięgu użytkowego:

- Wysokość zawieszenia anteny odbiorczej przy odbiorze stacjonarnym: 10 m n.p.t., przy przenośnym i ruchomym: 1,5 m n.p.t.
- Odbiór wymagany w 95% miejsc, 50% czasu,
- Wartości progowe minimalnego równoważnego użytecznego natężenia pola wynoszące odpowiednio: 56 dB μ V/m, 78 dB μ V/m, 88 dB μ V/m (odpowiednio odbiór stacjonarny, przenośny zewnętrzny oraz przenośny wewnątrz budynków),
- Model kanału radiowego – Rice’a (odbiór stacjonarny, zewnętrzny) i Rayleigha.



Rys. 4.4. Zasięg użytkowy stacji DVB-T POZNAŃ w kanale 39 dla 95% miejsc. Poszczególnym barwom odpowiadają wartości natężenia pola zgodnie z opisem nad rysunkiem. Kolorem czarnym zaznaczono odpowiadający obszar rezerwacji

Na rys. 4.5 przedstawiono wyniki obliczeń na przykładzie przydziałów w kanale 37. Kolorem czerwonym zaznaczono wynikające obszary rezerwacji DVB-T do zaimplementowania w Polsce.



Rys. 4.5 Obszary rezerwacji w Polsce (kolor czerwony) zbudowane na bazie pracujących przydziałów analogowych w kanale 37 z planu ST61

4.3 Planistyczne konfiguracje odniesienia

4.3.1 Wprowadzenie

Systemy T-DAB oraz DVB-T pozwalają na dużą swobodę w doborze parametrów implementacyjnych, uzależnionych od głównie od rodzaju odbioru, prawdopodobieństwa pokrycia, rozmiaru i rodzaju sieci. Przykładowo, w DVB-T przewidziano wiele możliwych kombinacji związanych m.in. z wartościowością modulacji, sprawnością kodowania, rozmiarem FFT (wynikającą z tego liczbą nośnych 2k lub 8k), czy doбором odstępu ochronnego. W tabeli 4.2, na przykładzie DVB-T, pokazano podstawowe parametry dotyczące planowania sieci. Niniejszy rozdział został opracowany na podstawie końcowych materiałów z pierwszej części Konferencji RRC 04 [15].

Tabela 4.2. Wybrane parametry konfiguracyjne sieci DVB-T

Rodzaj odbioru	Stacjonarny z anteną zewnętrzną
	Przenośny zewnętrzny Przenośny wewnętrzny Ruchomy
Procent pokrycia miejsc (prawdopodobieństwo przestrzenne)	70% 95% 99%
Struktura sieci	MFN (pojedynczy nadajnik) SFN – gęsta sieć SFN
Wariant systemu DVB-T (wartościowość modulacji, FEC)	od QPSK-1/2 do 64-QAM-7/8
Pasma częstotliwości	Pasmo III (200 MHz) Pasmo IV (500 MHz) Pasmo V (800 MHz)

4.3.2 Planistyczne konfiguracje odniesienia DVB-T

Ze względu na tak dużą swobodę możliwości wyboru parametrów transmisji, dla celów planowania zaproponowano tzw. planistyczne konfiguracje odniesienia (RPC – *Refrence Planning Configuration*). Założono jednocześnie, że w przypadku odbioru stacjonarnego z anteną zewnętrzną dopuszczone jest kodowanie o niższej sprawności, co skutkuje wyraźnym zwiększeniem przepływności strumienia danych. W kolejnych przypadkach (odbiór ruchomy, przenośny), wymagających silniejszego zabezpieczenia kodowego ze względu na gorsze właściwości transmisyjne kanału, dostępna przepływność bitowa staje się odpowiednio mniejsza.

Przewidziane dla DVB-T grupy konfiguracji planistycznych mają parametry zależne od trybu odbioru i pasma częstotliwości:

- stacjonarny z anteną zewnętrzną;
- przenośny zewnętrzny, ruchomy oraz przenośny wewnętrzny o obniżonej jakości pokrycia;
- przenośny wewnętrzny o wyższej jakości pokrycia.

Przy reprezentacyjnych częstotliwościach:

- 200 MHz (VHF);
- 650 MHz (UHF).

W celu ułatwienia procesu tworzenia planów częstotliwości a także zdefiniowania procedur koordynacyjnych sprowadzono dużą liczbę możliwych konfiguracji planistycznych do trzech planistycznych konfiguracji odniesienia przy dwóch reprezentacyjnych częstotliwościach. Zestawienie dla DVB-T przedstawiono w tabeli 4.3.

Tabela 4.3. Planistyczne konfiguracje odniesienia dla DVB-T

Planistyczna konfiguracja odniesienia	RPC 1	RPC 2	RPC 3
Prawdopodobieństwo przestrzenne	95%	95%	95%
Wymagany C/N [dB]	21	19	17
Wymagane $E_{med(ref)}$ [dBμV/m] przy 200 MHz	50	67	76
Wymagane $E_{med(ref)}$ [dBμV/m] przy 650 MHz	56	78	88

$E_{med(ref)}$ – minimalna mediana równoważnego natężenia pola

RPC 1 – planistyczna konfiguracja odniesienia dla odbioru stacjonarnego z anteną zewnętrzną

RPC 2 – planistyczna konfiguracja odniesienia dla odbioru przenośnego zewnętrznego, bądź – zakładając niższą jakość pokrycia – przenośnego wewnętrznego lub ruchomego

RPC 3 – planistyczna konfiguracja odniesienia dla odbioru przenośnego wewnętrznego o wyższej jakości pokrycia.

Dla innych częstotliwości niż referencyjna, należy stosować interpolację wartości natężenia pola odniesienia zgodnie z regułą:

- dla odbioru stacjonarnego, $Corr = 20 \log(f/fr)$ gdzie f jest aktualną częstotliwością a fr częstotliwością odniesienia stosownego pasma wymienionego powyżej;
- dla odbioru przenośnego oraz ruchomego, $Corr = 30 \log(f/fr)$ gdzie f jest aktualną częstotliwością a fr częstotliwością odniesienia stosownego pasma wymienionego powyżej.

Parametry odniesienia konfiguracji RPC przedstawione w tabeli 4.3, takie jak prawdopodobieństwo miejsc, wymagany C/N , mediana minimalnego natężenia pola, nie są powiązane z określonym wariantem systemu DVB-T lub rzeczywistą implementacją sieci DVB-T. Odnoszą się do większej liczby różnorodnych rzeczywistych implementacji.

Przewiduje się np. DVB-T dla przypadku odbioru ruchomego z prawdopodobieństwem pokrycia miejsc 99% i do tego silnie zabezpieczony kodem FEC, ale z $C/N=14$ dB. Równie dobrze może być w tym celu używane RPC 2 z prawdopodobieństwem pokrycia miejsc wynoszącym 95% i współczynnikiem $C/N=19$ dB.

Typowa przepływność transmitowanych danych wynosi odpowiednio: 20-27Mbit/s dla RPC 1, 8-24 Mbit/s dla RPC 2 oraz 13-16 Mbit/s dla RPC 3. Decyzja odnośnie wybranej opcji wiąże się z kompromisem pomiędzy zasięgiem i pojemnością. Zwiększenie obszaru zasięgu można osiągnąć stosując RPC z wybranym systemem DVB-T o zwiększonej odporności z równoczesnym zmniejszeniem pojemności przesyłanych danych, i odwrotnie.

Analizy kompatybilności rozważanych służb wymagają znajomości odpowiednich współczynników ochronnych. Ponieważ RPC reprezentują sztuczne konfiguracje, stąd nie dysponujemy pomiarami odpowiednich współczynników ochronnych. W tej sytuacji zaleca się przyjąć odpowiednio:

- w analizach wpływu DVB-T na DVB-T zaleca się przyjąć wartości C/N pokazane w tabeli 4.4;
- w pozostałych przypadkach:
 - dla RPC 1, wartość współczynnika ochronnego dla DVB-T w wariacie 64-QAM 3/4 przyjmuje się zgodnie z Zaleceniem ITU-R [9];
 - dla RPC 2, wartość współczynnika ochronnego dla DVB-T w wariacie 64-QAM 3/4 przyjmuje się zgodnie z Zaleceniem ITU-R [9];

- dla RPC 3, wartość współczynnika ochronnego dla DVB-T w wariancie 64-QAM 2/3 przyjmuje się zgodnie z Zaleceniem ITU-R [9].

4.3.3 Planistyczne konfiguracje odniesienia dla T-DAB

Odnosnie radiofonii T-DAB sytuacja jest prostsza, ponieważ nie ma występuje tak dużo odmian rozmaitych konfiguracji planowania. Planowanie częstotliwości może dotyczyć odbioru ruchomego bądź przenośnego wewnętrznego z odpowiednią sprawnością kodu $R=0,5$ (Zalecenie ITU-R BS.1114 [16]).

Dla T-DAB-u w paśmie III przewiduje się dwie planistyczne konfiguracje odniesienia:

Tabela 4.4. Planistyczne konfiguracje odniesienia dla T-DAB

Planistyczna konfiguracja odniesienia	RPC 4	RPC 5
Prawdopodobieństwo przestrzenne	99%	95%
Wymagany C/N [dB]	15	15
Wymagane $E_{med(ref)}$ [dBμV/m] przy 200 MHz	60	66

$E_{med(ref)}$ – minimalna mediana równoważnego natężenia pola

RPC 4 – planistyczna konfiguracja odniesienia dla odbioru ruchomego

RPC 5 – planistyczna konfiguracja odniesienia dla odbioru przenośnego wewnętrznego

4.4 Ogólna charakterystyka sieci odniesienia

4.4.1 Rozważania ogólne

Podstawowym zadaniem przy tworzeniu planu częstotliwości jest przeprowadzenie analiz kompatybilnościowych pomiędzy stacjami nadawczymi i/lub sieciami. Na potrzeby tego rodzaju obliczeń konieczna jest znajomość charakterystyk nadajników.

Dla każdego z dwóch zakresów częstotliwości (pasmo III oraz IV-V), przewidziano po trzy planistyczne konfiguracje odniesienia DVB-T. Dla radiofonii T-DAB w paśmie III przewidziano dwie konfiguracje. Dla każdej z nich opracowano sieci odniesienia, których własności mogą się różnić zależnie od przyjętych planistycznych konfiguracji odniesienia.

Sieci odniesienia traktowane są jako idealne przybliżenie implementacji sieci rzeczywistych. Wykazują symetrię układu geometrycznego oraz jednorodność parametrów poszczególnych stacji nadawczych. Mogą zostać scharakteryzowane następującymi parametrami:

- Liczba nadajników (stacji nadawczych)
- Odległość pomiędzy nadajnikami
- Geometria przestrzennego układu nadajników
- Moc nadajników
- Wysokość anten stacji nadawczych
- Charakterystyka promieniowania anten nadawczych
- Obsługiwany obszar (obszar, który ma zostać pokryty).

4.4.1.1 Pojedynczy nadajnik odniesienia

Pojedynczy sztuczny nadajnik odniesienia, w przypadku MFN, będzie najprostszą reprezentacją „sieci odniesienia”. Jednak w większości przypadków wymagania dla pojedynczego nadajnika, jego charakterystyki są wcześniej znane; w innym przypadku można je łatwo przeliczyć dla określonego obszaru obsługiwanego.

Tak więc, dla przypadku pojedynczego nadajnika, nie ma potrzeby definiowania sztucznego „nadajnika odniesienia”, a raczej należy wziąć do analiz kompatybilności jego rzeczywiste właściwości.

4.4.1.2 Sieć odniesienia SFN

Sieci SFN wprowadza się dla zapewnienia obsługi dużego obszaru w postaci pojedynczych nadajników, ale generalnie nie wszystkie nadajniki SFN i ich charakterystyki muszą być znane w początkowym etapie ustalania planu częstotliwości. Ponadto, charakterystyki nadajnika nie są niezbędnie potrzebne na etapie ustalania planu częstotliwości opartego na obszarach rezerwacji. Obliczenia kompatybilności można przeprowadzić używając sieci odniesienia, opisanych powyżej.

W sytuacji gdy dane są rzeczywiste lokalizacje nadajników oraz pozostałe charakterystyki, obliczenia przeprowadza się jak dla sieci SFN.

4.4.1.3 Obliczanie potencjalnych zakłóceń

Potencjalne zakłócenia nadajników lub sieci nadajników są zakłóceniami własnymi powstającymi w nadajniku lub w sieci nadajników. Jeśli podczas procesu planowania nie są znane rzeczywiste potencjalne zakłócenia interferencyjne, można, jako reprezentatywne, przyjąć potencjalne zakłócenia sieci odniesienia. Zakłócenia od sieci odniesienia mogą być reprezentowane przez krzywe natężenia pola, obliczone jako suma interferencji natężenia pola od nadajników sieci odniesienia wzdłuż określonego kierunku, począwszy od granicy obszaru obsługi sieci. Sumowanie można wykonać posługując się metodą sumowania mocy, bądź metodą sumy statystycznej.

W analizach kompatybilności krzywe potencjalnych interferencji można używać do obliczeń hipotetycznych interferencji w określonej lokalizacji przy założeniu że punkty testowe na granicy zasięgu obsługi rozważanej sieci są, jeden po drugim źródłem interferencji.

Jako reprezentatywną dla tej lokalizacji, przyjmuje się najwyższą wartość natężenia pola zakłócającego w tej lokalizacji. Oczywiście, kierunek zmian zakłóceń wytwarzanych przez nadajniki sieci odniesienia w tej lokalizacji można określić również wykonując analizy kompatybilnościowe, po określeniu dokładnej pozycji w sieci odniesienia punktu testowego na granicy obszaru obsługi.

4.5 Sieci odniesienia

4.5.1 Sieci odniesienia dla DVB-T

4.5.1.1 Rozważania ogólne

W celu sprostania rozmaitym wymaganiom wynikającym z różnorodności implementacji sieci DVB-T, opracowano cztery rodzaje sieci odniesienia oznaczone RN 1, RN 2, RN 3, RN 4 (RN – *Reference Network*). Celem określenia bilansu łącza w poszczególnych sieciach odniesienia, dobierano moce nadajników oraz wysokości anten tak, aby uzyskać żądane pokrycie w każdym punkcie należącym do obsługiwanego obszaru. Przeprowadzono analizy uwzględniające wpływ zysku sieciowego oraz zakłóceń wewnętrznych sieci na prawdopodobieństwo pokrycia wewnątrz obsługiwanego obszaru. Jako metodę przewidywania natężenia pola zastosowano opisaną w Zaleceniu ITU-R P.1546-1. Statystyczne sumowanie natężeń pól odbywa się przy użyciu opisanej dalej metody k -LNM

Moce nadajników sieci odniesienia powinny zostać podniesione o 3 dB (poprawka Δ) ze względu na konieczność uwzględnienia wszystkich, oprócz szumów, czynników wpływających na degradację sygnału użytecznego w bilansie łącza.

Jako przeciętną wartość wysokości skutecznej anteny dla sieci odniesienia przyjęto wysokość równą 150 m. W sieci rzeczywistej efektywna wysokość skuteczna anteny może różnić się od przeciętnej wartości. Należy liczyć się jednak z potrzebą zachowania kompromisu pomiędzy wysokością skuteczną anteny i mocą nadajnika. Nie jest wskazane, aby któraś ze stacji nadawczych wyposażona została w antenę o wyróżniającej się wysokości bez obniżenia przy tym mocy nadajnika. Stan taki może przyczynić się do wysoce niekorzystnego (nierównomiernego) rozkładu zakłóceń własnych w sieci SFN.

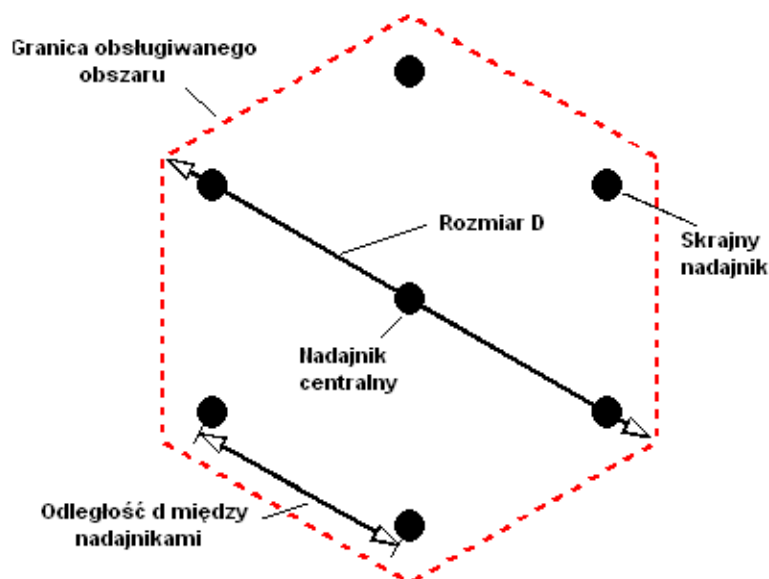
Sieć typu otwartego została wybrana jako odniesienie dla większości przypadków, gdyż założono, że realizowane sieci będą odpowiadać temu typowi odniesienia. Obszar obsługi (pokrycia) zdefiniowano jako sześciokąt większy o 15% od utworzonego przez lokalizacje nadajników skrajnych. W razie potrzeby ograniczenia zakłóceń generowanych przez sieć, przewidziano także strukturę nieomkniętą (RN 4).

4.5.1.2 Sieć odniesienia RN 1 (wielkoobszarowa SFN)

Sieć RN 1 składa się z 7 nadajników umieszczonych w wierzchołkach sześciokąta. Przedstawiona sieć jest siecią typu otwartego, tj. wszystkie nadajniki mają anteny o charakterystykach dookólnych. Przyjmuje się, że rozmiar obszaru obsługiwanego przez sieć jest większy o około 15% od samego sześciokąta utworzonego przez lokalizacje stacji nadawczych (rys. 4.6)

Sieć RN 1 może być stosowana w różnych typach odbioru: stacjonarnym – typ RPC 1, przenośnym zewnętrznym i ruchomym – typ RPC 2, oraz przenośnym wewnętrznym – typ RPC 3. Każdy z tych typów może być stosowany w paśmie III i IV/V.

RN 1 jest siecią SFN przeznaczoną do obsługi dużych obszarów. Dla warunków odbioru ruchomego oraz przenośnego i po uwzględnieniu zakłóceń wewnątrzsieciowych, średnicę obszaru obsługi określa się na 150-200 km, chyba że zastosowane zostaną silniej zabezpieczone warianty systemu DVB-T lub koncepcja sieci gęstej.



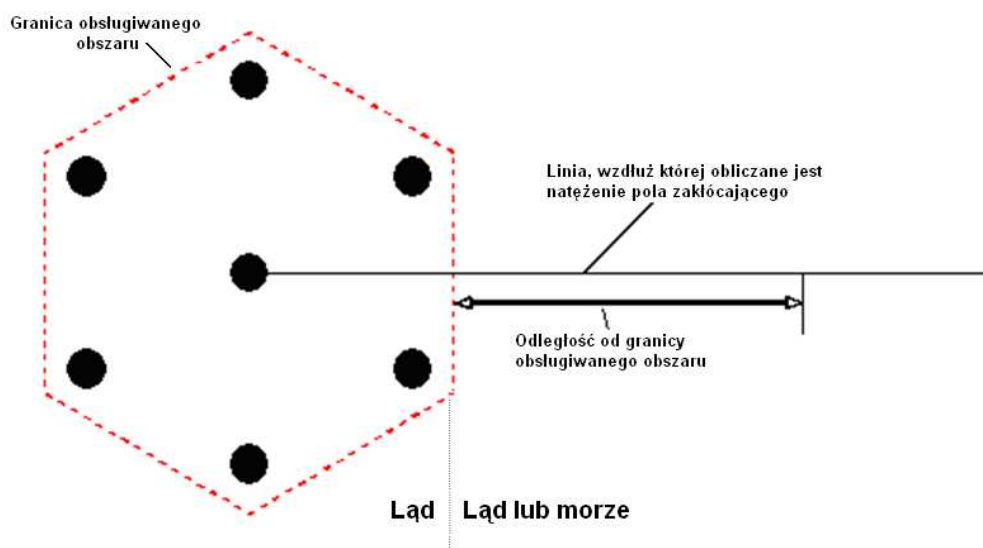
Rys. 4.6. Konfiguracja RN 1 – sieć wielkoobszarowa SFN

Dla sieci RN 1 przewidziana została największa wartość odstępu ochronnego, wynosząca $1/4 T_u$ i wariant 8k. Wynikająca maksymalna odległość pomiędzy stacjami nadawczymi powinna wynosić wtedy 67 km, co odpowiada odstępowi ochronnemu 224 μs . W wariancie RPC 1 jako odległość pomiędzy stacjami nadawczymi przyjęto wartość 70 km. W przypadku sieci RPC 2 i RPC 3 odległość 70 km jest zbyt duża ze względu na bilans łącza. Stąd w tabeli 4.5 wyszczególniono mniejsze odległości dla sieci RPC 2 oraz RPC 3. Wynoszą one odpowiednio 50 oraz 40 km.

Tabela 4.5. Parametry sieci RN 1 (sieć SFN wielkoobszarowa)

Planistyczna konfiguracja odniesienia		RPC 1 Odbiór z anteną stacjonarną	RPC 2 Odbiór przenośny zewnętrzny, ruchomy	RPC 3 Przenośny wewnętrzny
Typ sieci		Otwarta	Otwarta	Otwarta
Geometria obsługuwanego obszaru		Hexagon	Hexagon	Hexagon
Liczba nadajników		7	7	7
Geometryczny układ nadajników		Hexagon	Hexagon	Hexagon
Odległość d pomiędzy nadajnikami [km]		70	50	40
Rozmiar D obsługuwanego obszaru [km]		161	115	92
Wysokości zawieszenia anten nadawczych [m]		150	150	150
Charakterystyki promieniowania anten nadawczych		Dookólne	Dookólne	Dookólne
ERP [dBW]	Pasmo III	31,1 + Δ	33,2 + Δ	37,0 + Δ
	Pasmo IV/V	39,8 + Δ	46,7 + Δ	49,4 + Δ

Margines mocy Δ wynosi 3 dB.



Rys. 4.7. Przyjęta dla obliczenia potencjalnych zakłóceń geometria sieci RN 1

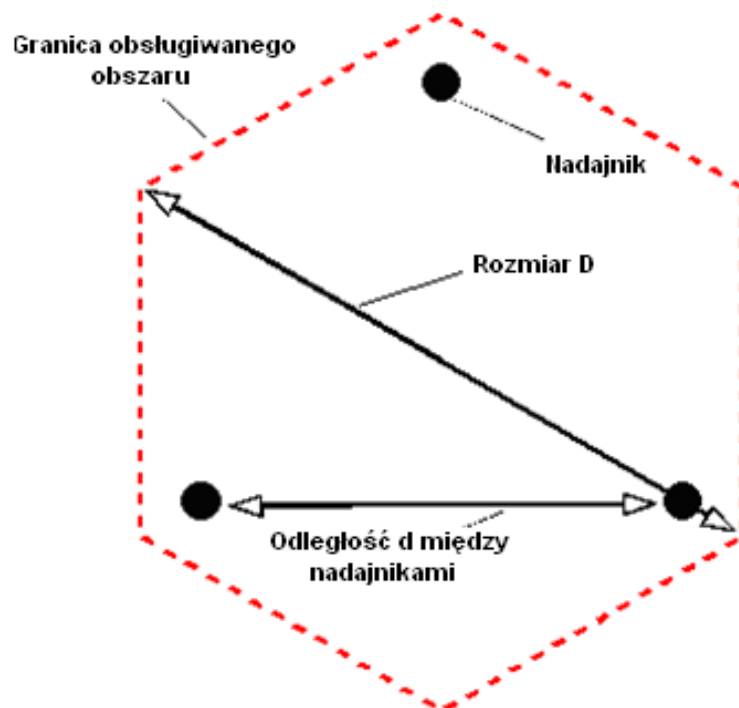
4.5.1.3 Sieć odniesienia RN 2 (sieci SFN dla małych obszarów, sieci gęste SFN)

Sieć RN 2 zbudowana jest z trzech nadajników umieszczonych w wierzchołkach trójkąta równobocznego. Jest to tzw. sieć otwarta, tj. nadajniki mają anteny o charakterystyce dookólnej. Obszar obsługiwany obejmuje sześciokąt pokazany na rysunku 4.7. Sieć RN 2 może być stosowana w różnych typach odbioru: stacjonarnym – typ RPC 1, przenośnym zewnętrznym i ruchomym – typ RPC 2, oraz przenośnym wewnętrznym – typ RPC 3. Każdy z tych typów może być stosowany w paśmie III i IV/V.

RN2 jest siecią SFN przeznaczoną dla obsługi małych obszarów. Rozmiar typowego obszaru waha się w granicach 30-50 km. Możliwe jest także powiększenie obszaru pokrycia tak gęstą siecią SFN, wymaga to jednak zastosowania bardzo dużej ilości nadajników. Stąd, nawet kiedy przewidziano dla jakiegoś rozległego obszaru sieć gęstą, warto rozważyć implementację sieci RN 1.

W przypadku użycia wariantów RPC 2 i RPC 3 w sieci RN 2, wymagana odległość między nadajnikami wynosi 25 km. Pozwala to na zastosowanie krótszego odstępu ochronnego o wartości $1/8 T_u$ (8k FFT), który w porównaniu z zastosowanym w sieci RN 1, pozwala na osiągnięcie wyższej przepływności strumienia danych. Taką samą wartość odstępu ochronnego można zastosować także w konfiguracji RPC 1. Pomimo większej odległości dzielącej poszczególne stacje, wpływ powstałych zakłóceń własnych generowanych w sieci zostanie zmniejszony dzięki własnościom kierunkowym anten odbiorczych.

W tabeli 4.6 zestawiono parametry sieci RN 2.

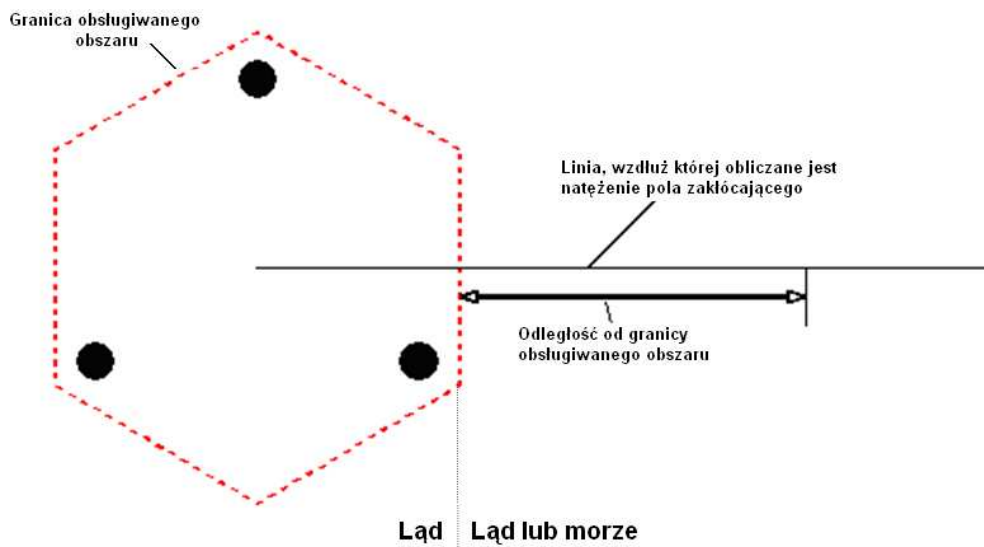


Rys. 4.8. Konfiguracja RN 2 – sieć SFN dla małych obszarów

Tabela 4.6. Parametry sieci RN 2 (sieć SFN dla małych obszarów)

Planistyczna konfiguracja odniesienia		RPC 1 Odbiór z anteną stacjonarną	RPC 2 Odbiór przenośny zewnętrzny, ruchomy	RPC 3 Przenośny wewnętrzny
Typ sieci		Otwarta	Otwarta	Otwarta
Geometria obsługiwanego obszaru		Hexagon	Hexagon	Hexagon
Liczba nadajników		3	3	3
Geometryczny układ nadajników		Trójkątny	Trójkątny	Trójkątny
Odległość d pomiędzy nadajnikami [km]		40	25	25
Rozmiar D obsługiwanego obszaru [km]		53	33	33
Wysokości zawieszenia anten nadawczych [m]		150	150	150
Charakterystyki promieniowania anten nadawczych		Dookólne	Dookólne	Dookólne
ERP [dBW]	Pasmo III	$21,1 + \Delta$	$23,6 + \Delta$	$31,1 + \Delta$
	Pasmo IV/V	$28,8 + \Delta$	$36,0 + \Delta$	$43,3 + \Delta$

Margines mocy Δ wynosi 3 dB



Rys. 4.9. Przyjęta dla obliczenia potencjalnych zakłóceń geometria sieci RN 2

4.5.1.4 Sieć odniesienia RN 3 (sieć SFN dla małych obszarów w środowisku miejskim)

Geometria sieci odniesienia RN 3 i obszar obsługiwany są identyczne jak sieci RN 2. Sieć RN 3 może być stosowana w różnych typach odbioru: stacjonarnym – typ RPC 1, przenośnym zewnętrznym i ruchomym – typ RPC 2, oraz przenośnym wewnętrznym – typ RPC 3. Każdy z tych typów może być stosowany w paśmie III i IV/V.

RN 3 stosowana jest jako sieć SFN dla małych obszarów w warunkach miejskich. Jest ona identyczna jak RN 2. Różnica sprowadza się do zwiększonej mocy nadajników sieci o około 5 dB ze względu na spodziewane straty propagacyjne związane z wysokością (zabudową).

Tabela 4.7. Parametry sieci RN 3 (sieć SFN dla małych obszarów w środowisku miejskim)

Planistyczna konfiguracja odniesienia		RPC 1 Odbiór z anteną stacjonarną	RPC 2 Odbiór przenośny zewnętrzny, ruchomy	RPC 3 Przenośny wewnętrzny
Typ sieci		Otwarta	Otwarta	Otwarta
Geometria obsługiwanego obszaru		Hexagon	Hexagon	Hexagon
Liczba nadajników		3	3	3
Geometryczny układ nadajników		Trójkątny	Trójkątny	Trójkątny
Odległość d pomiędzy nadajnikami [km]		40	25	25
Rozmiar D obsługiwanego obszaru [km]		53	33	33
Wysokości zawieszenia anten nadawczych [m]		150	150	150
Charakterystyki promieniowania anten nadawczych		Dookólne	Dookólne	Dookólne
ERP [dBW]	Pasmo III	$21,1 + \Delta$	$29,5 + \Delta$	$37,1 + \Delta$
	Pasmo IV/V	$28,8 + \Delta$	$41,9 + \Delta$	$49,2 + \Delta$

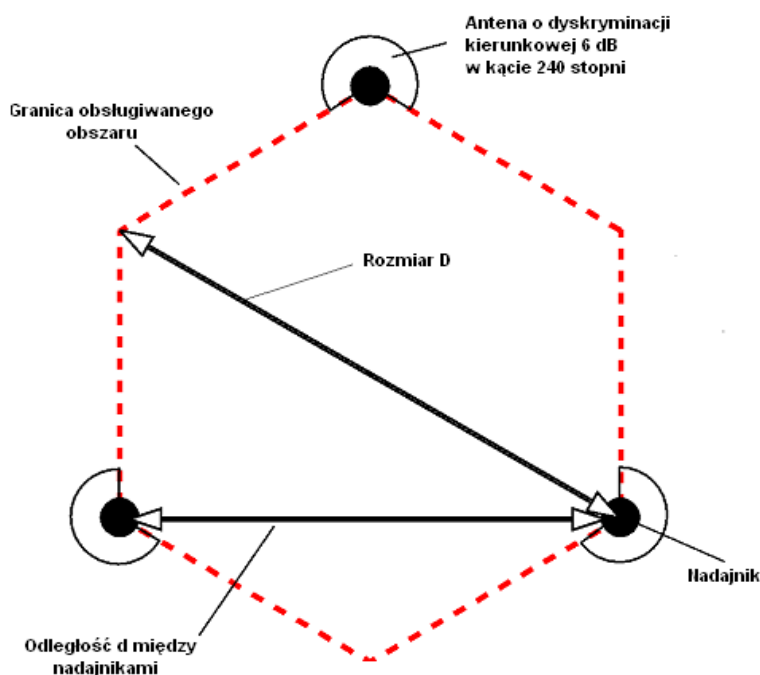
Margines mocy Δ wynosi 3 dB

4.5.1.5 Sieć odniesienia RN 4 (niedomknięta sieć SFN dla małych obszarów)

Sieć RN 4 pozwala, dzięki doborze położenia nadajników oraz charakterystyk promieniowania anten nadawczych, na obniżenie poziomu generowanych zakłóceń przez sieć. Geometria tej sieci jest identyczna jak sieci RN 2, za wyjątkiem charakterystyk anten stacji nadawczych, których poziom promieniowania wstecznego został obniżony o 6 dB w zakresie 240° (tj. jak w sieci niedomkniętej RN). Obszar obsługiwany przez taką sieć pokazano na rysunku 4.10.

Sieć RN 4 może być stosowana w różnych typach odbioru: stacjonarnym – typ RPC 1, przenośnym zewnętrznym i ruchomym – typ RPC 2, oraz przenośnym wewnętrznym – typ RPC 3. Każdy z tych typów może być stosowany w paśmie III i IV/V.

Różnice pomiędzy sieciami RN 4 i RN 2 sprowadzają się do innych poziomów generowanych zakłóceń. Sieć RN 4 charakteryzuje się niższymi zakłóceniami w porównaniu z pozostałymi RN-ami. Konsekwencją jest obniżenie odległości separacyjnych między obszarami rezerwacji, co pozwala na powtarzanie tego samego kanału częściej i w bliżej położonych obszarach z zaimplementowanymi sieciami RN 4. Możliwość taka okupiona jest jednak wyższym kosztem kierunkowych anten nadawczych. Dodatkowo warto ocenić, o ile zmniejszy się wielkość obsługiwanego obszaru w porównaniu z RN 2. W tabeli 4.8 zestawiono parametry sieci RN 4.

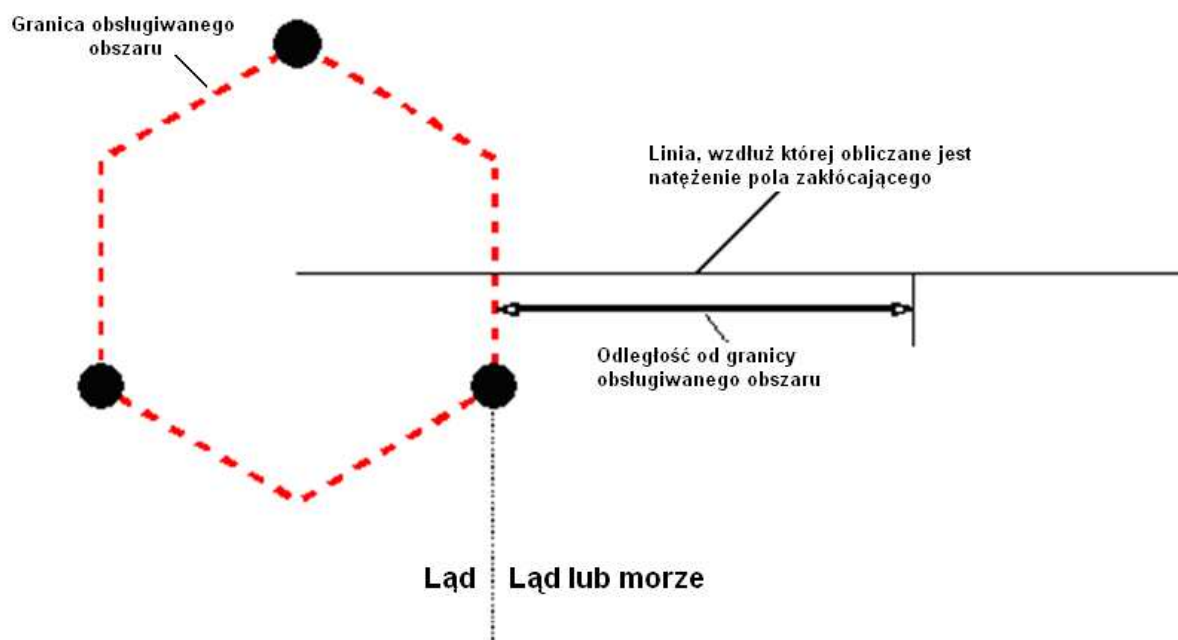


Rys. 4.10. Konfiguracja RN 4 – pół-zamknięta sieć SFN dla małych obszarów

Tabela 4.8. Parametry sieci RN 4 (pół-zamknięta sieć SFN dla małych obszarów)

Planistyczna konfiguracja odniesienia		RPC 1 Odbiór z anteną stacjonarną	RPC 2 Odbiór przenośny zewnętrzny, ruchomy	RPC 3 Przenośny wewnętrzny
Typ sieci		Pół-zamknięta	Pół-zamknięta	Pół-zamknięta
Geometria obsługiwanego obszaru		Hexagon	Hexagon	Hexagon
Liczba nadajników		3	3	3
Geometryczny układ nadajników		Trójkątny	Trójkątny	Trójkątny
Odległość d pomiędzy nadajnikami [km]		40	25	25
Rozmiar D obsługiwanego obszaru [km]		46	29	29
Wysokości zawieszenia anten nadawczych [m]		150	150	150
Charakterystyki promieniowania anten nadawczych		Kierunkowe z wytłumieniem 6 dB w zakresie 240 stopni	Kierunkowe z wytłumieniem 6 dB w zakresie 240 stopni	Kierunkowe z wytłumieniem 6 dB w zakresie 240 stopni
ERP [dBW]	Pasmo III	$19,0 + \Delta$	$21,0 + \Delta$	$29,5 + \Delta$
	Pasmo IV/V	$26,4 + \Delta$	$34,2 + \Delta$	$41,8 + \Delta$

Margines mocy Δ wynosi 3 dB



Rys. 4.11. Przyjęta dla obliczenia potencjalnych zakłóceń geometria sieci RN 4

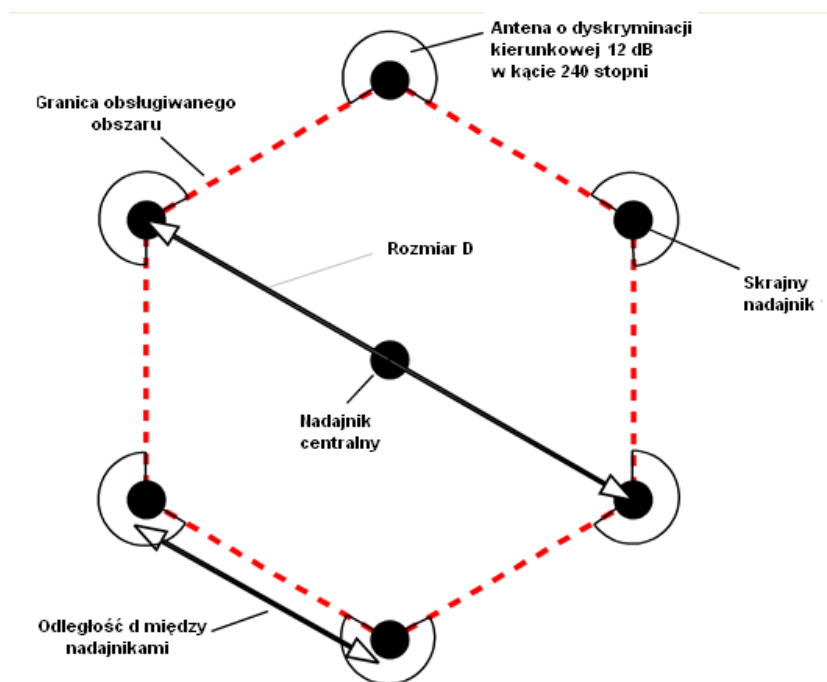
4.5.2 Sieci odniesienia dla T-DAB

W charakterze sieci odniesienia dla T-DAB przewiduje się dwa modele sieci zamkniętych: RPC 4, RPC 5. W przypadku odbioru ruchomego (RPC 4) sieć odniesienia składa się z 6 nadajników ulokowanych na wierzchołkach sześciokąta oraz jednego w środku obszaru (rys. 4.12) Moc centralnego nadajnika jest niższa o 10 dB w stosunku do nadajników skrajnych, które mają moc promieniowaną 1 kW.

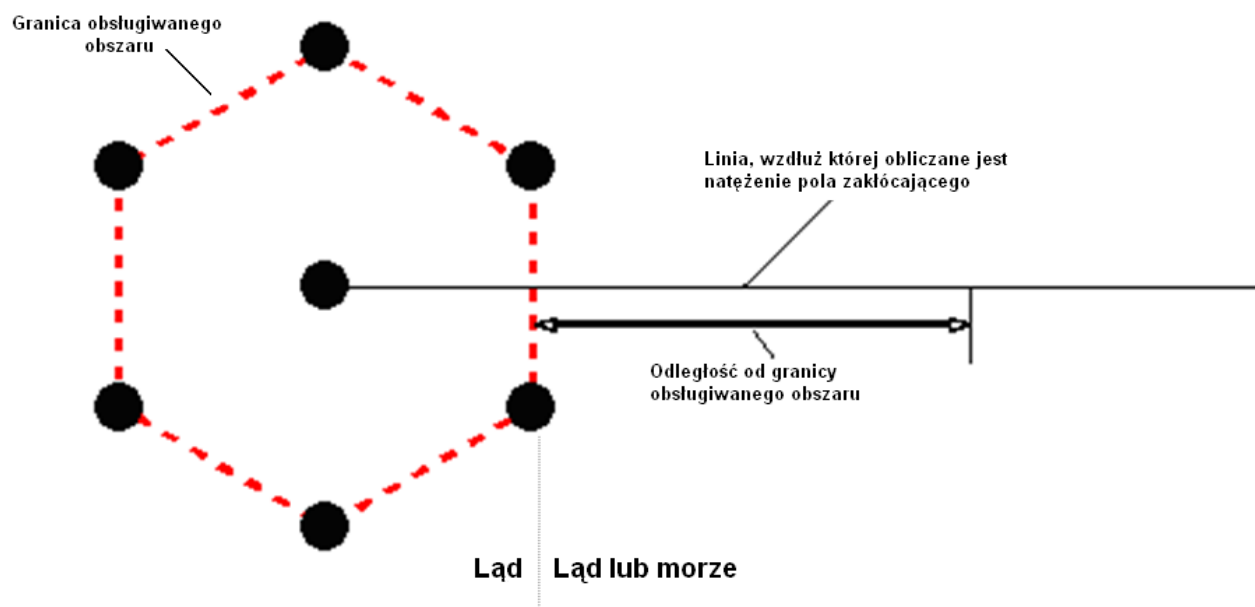
Dla przypadku odbioru przenośnego wewnętrznego przewiduje się sieć RPC 5, różniącą się jedynie większą o 9 dB mocą promieniowaną wszystkich nadajników, co ma zapewnić odpowiednio wyższe minimalne natężenie pola wymagane dla przypadku odbioru wewnętrznego. Tabela 4.9 przedstawia parametry sieci RN dla przypadków RPC 4 oraz RPC 5, natomiast na rys. 4.13 pokazano geometrię sieci używaną do obliczeń potencjalnych zakłóceń generowanych przez sieć.

Tabela 4.9. Parametry sieci RPC 4 oraz RPC 5 (T-DAB)

Planistyczna konfiguracja odniesienia	RPC 4 Odbiór ruchomy	RPC 5 Odbiór przenośny wewnętrzny
Typ sieci	Zamknięta	Zamknięta
Geometria obsługiwanego obszaru	Hexagon	Hexagon
Liczba nadajników	7	7
Geometryczny układ nadajników	Hexagon	Hexagon
Odległość d pomiędzy nadajnikami [km]	60	60
Rozmiar D obsługiwanego obszaru [km]	120	120
Wysokości zawieszenia anten stacji nadawczych [m]	150	150
Charakterystyki promieniowania anten skrajnych stacji nadawczych	Kierunkowe z wytłumieniem 12 dB w zakresie 240 stopni	Kierunkowe z wytłumieniem 12 dB w zakresie 240 stopni
Charakterystyka promieniowania anteny stacji centralnej	Dookólna	Dookólna
Moc promieniowana każdej ze stacji skrajnych ERP [dBW]	30,0	39,0
Moc promieniowana stacji centralnej ERP [dBW]	20,0	29,0



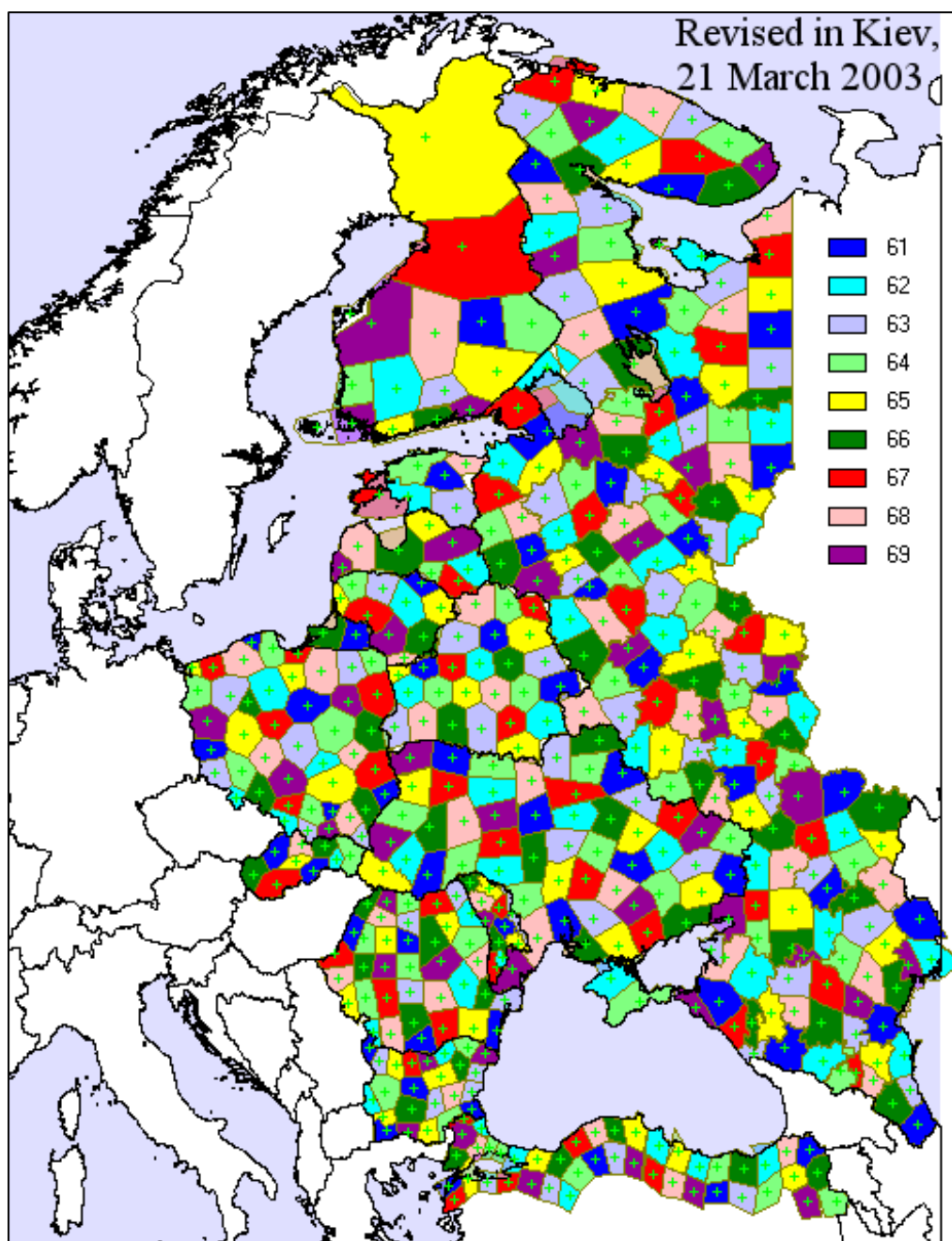
Rys. 4.12. Konfiguracja sieci RN dla T-DAB



Rys. 4.13. Przyjęta dla obliczenia potencjalnych zakłóceń geometria sieci RN (T-DAB)

4.6 Przykład planu SFN

Na rys. 4.14 przedstawiono przykładowy plan (Nida-Kiev) sporządzony w oparciu o metodę sztucznych sieci odniesienia i wymaganych odległości separacyjnych. Plan ten zbudowany jest z użyciem 9 kanałów V pasma TV i przewidziany dla jednego z ogólnopolskich multipleksów DVB-T. Podobny Plan dla całego obszaru planowania (Europa, Afryka, Bliski Wschód) i dla wszystkich kanałów pasm III, IV i V zostanie stworzony na Konferencji RRC'06 na przełomie maja i czerwca 2006 na bazie sieci odniesienia podanych w rozdziale 4.3.



Rys. 4.14. Przykładowy plan DVB-T sporządzony w oparciu o obszary rezerwacji w kanałach 61-69

4.7 Podstawy obliczeń sieci SFN

Celem implementacji Planu zbudowanego na bazie obszarów rezerwacji konieczne jest przeprowadzenie analizy pokrycia obszarów rezerwacji za pomocą nadajników pracujących w sieci jednoczęstotliwościowej SFN. W rozdziale tym podano podstawy obliczeń zasięgów sieci SFN oraz przedstawiono przykładowe wyniki obliczonego prawdopodobieństwa pokrycia dla teoretycznej sieci odniesienia.

4.7.1 Aspekty podstawowe

W sieci SFN wszystkie stacje nadawcze pracują na dokładnie tej samej częstotliwości i emitują wspólny program. Załóżmy, że odbiornik znajdujący się w pobliżu krańca pokrycia jednej stacji odbiera sygnały tego samego programu od kilku stacji. Sygnały te, chociaż zsynchronizowane w momencie nadawania, będą docierały do odbiornika z różnymi opóźnieniami. Nie mogą być one odróżnione od sygnałów wielodrogowych, jeśli założymy, że modulacja jest dokładnie taka sama. Do pracy w sieci SFN nadaje się taki system modulacji, który może pracować w warunkach dużego przekroczenia opóźnienia, normalnie dopuszczalnego. Właściwości takie ma system OFDM

Jeżeli SFN bazuje na odległościach separacyjnych istniejących stacji nadawczych, to przeszkody terenowe nie będą powodowały większych dodatkowych opóźnień niż sygnały od innych stacji w sieci. Sygnały od bardziej odległych stacji będą przekraczały maksymalne opóźnienia, dopuszczalne dla sygnału OFDM. W miarę zwiększania odległości będzie wzrastała tendencja do wywoływania przez nie zakłóceń. Generowane w SFN własne zakłócenia sieciowe mogą być jednak utrzymane na dostatecznie niskim poziomie, dzięki właściwemu doborowi parametrów systemu. Jeżeli wystąpią luki w obszarze pokrycia sieci, można je wypełnić przez wprowadzenie dodatkowych stacji małej mocy, pracujących na tej samej częstotliwości. W przypadku zacienień terenowych można stosować tę samą technikę, co przy planowaniu sieci konwencjonalnej, tzn. strefy te można pokryć, stosując stacje uzupełniające. Przy możliwej dostatecznej separacji między anteną odbiorczą i nadawczą stacja uzupełniająca może pracować jak konwencjonalna stacja retransmisyjna, ale przy tej samej częstotliwości na wejściu i wyjściu.

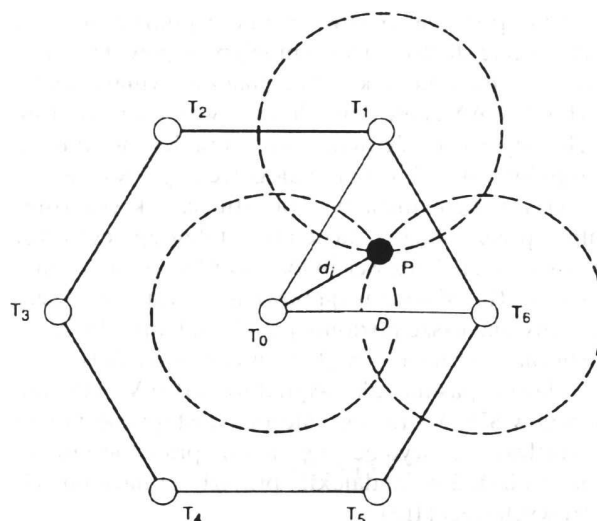
Jak już powiedziano, podstawową cechą SFN jest emisja tego samego programu. Przy występowaniu różnic w programie lub treści danych tego samego bloku służby traci się korzyści koncepcji SFN z powodu wynikających stąd zakłóceń interferencyjnych. Należy wtedy zachować odpowiednie współczynniki ochronne.

Stosowanie SFN w poszczególnych krajach europejskich wymaga przeznaczenia dla sąsiadujących z sobą krajów różnych kanałów lub bloków częstotliwości, ponieważ emitowane programy lub treść danych są na ogół różne. Liczba potrzebnych bloków częstotliwości lub kanałów będzie rosła w miarę zwiększania się podziału krajów na regiony czy lokalne obszary z własnymi programami, a więc z własnymi sieciami SFN.

Możliwość tworzenia sieci SFN jest jedną z największych korzyści systemu OFDM. Dzięki dopuszczeniu wielodrogowości w granicach czasu opóźnienia występuje wzajemne dodawanie sygnałów od wszystkich stacji nadawczych należących do sieci. Zjawisko to nazwane jest „zyskiem sieciowym” sieci SFN. Zysk ten składa się z dwóch elementów – dodawalnego i statystycznego. Dodawalna część jest wynikiem występowania więcej niż jednego sygnału użytecznego i stąd dodawanie się natężeń sygnałów. Składowa statystyczna jest wynikiem rozkładu zmian przestrzennych pola. Ponieważ całkowita dewiacja standardowa sumarycznego sygnału jest mniejsza niż dewiacja standardowa indywidualnych

sygnałów, możliwe jest zredukowanie marginesu potrzebne do uzyskania prawdopodobieństwa pokrycia 90 % lub 99 %.

Można to przedstawić dla przypadku trzech stacji nadawczych. Na rys. 4.15 pokazano pierwszy sześciokąt regularnej siatki przy założeniu odległości między głównymi stacjami nadawczymi 60 km.



Rys. 4.15. Pierwszy sześciokąt regularnej siatki

Najmniej korzystnym miejscem odbioru w równobocznym trójkącie T_0 - T_1 - T_6 jest punkt P będący środkiem ciężkości trójkąta. W tym miejscu średnia wartość natężenia pola jednej stacji – usytuowanej na wierzchołku trójkąta – o mocy promieniowanej 250 W i wysokości anteny 150 m wynosi 42 dB.

Przy planowaniu sieci SFN należy uwzględnić statystykę (poziomy i opóźnienia) „sztucznych” odbić, tzn. sygnałów pochodzących z różnych nadajników danej sieci. Na wejściu odbiornika występują oprócz szumów również sygnały opóźnione, a sygnały o opóźnieniach wykraczających poza przedział ochronny mają istotny wpływ na pokrycie uzyskiwane przez sieć SFN. W celu przeprowadzenia przez odbiornik procesu estymacji parametrów kanału niezbędnej do przeprowadzenia koherentnej demodulacji oraz korekcji konstelacji wykorzystuje się filtry interpolujące. Odtwarzają one odpowiedź kanału na podstawie sygnałów pilotujących. Filtry są tak zaprojektowane, aby ich pasmo przenoszenia T_F było większe od przedziału ochronnego T_g ($T_g = T_u/4$), a jednocześnie – z uwagi na ograniczenia teoretyczne – nie większe niż $T_u/3$, gdzie T_u oznacza czas trwania symbolu. Praktyczne wartości nie przekraczają $T_F = (7/24)T_u$.

Możliwe są następujące przypadki:

- opóźnienie mieści się w przedziale ochronnym T_g : moc sygnału traktowana jest jako sygnał „użyteczny”;
- opóźnienie sygnału jest większe niż T_g , ale mieści się w paśmie filtra T_F : sygnał zostaje poprawnie skorygowany, jednak zostaje podzielony na składową użyteczną (odpowiadającą bieżącemu symbolowi COFDM) i składową zakłócającą (odpowiadającą poprzedniemu symbolowi COFDM), jak zapisano w zależności poniżej;
- opóźnienie jest większe niż T_F – taki sygnał należy w całości uznać za zakłócenie o wpływie analogicznym do szumu Gaussa o równoważnej mocy.

4.7.2 Statystyczna metoda sumowania sygnałów

Zalecaną w [15] metodą analizy sygnałów w sieci SFN jest sumowanie statystyczne k -LNM. Na potrzeby obliczeń w zakresie przestrzennego prawdopodobieństwa odbioru rzędu 70%-90%, współczynnik k przyjęto równy 0,6. Wartość ta zapewnia dokładność obliczeń rzędu kilku dB. Algorytm sumowania jest następujący:

Założmy, że mamy danych n pól F_i o rozkładzie Gaussa (o parametrach $\bar{F}_i, \sigma_i, i=1...n$) w mierze logarytmicznej (odpowiadające moce mają rozkład logarytmiczno-normalny). Należy określić aproksymujący rozkład logarytmiczno-normalny sumy mocy, bądź znaleźć takie parametry rozkładu Gaussa, aby odpowiadały sumie pól logarytmicznych:

Krok 1: przekształcenie $\bar{F}_i, \sigma_i, i=1...n$, ze skali dB do skali wyrażonej w Neperach:

$$X_{Neper} = \frac{1}{10 \log_{10}(e)} \cdot X_{dB}$$

Krok 2: Obliczenie wartości średniej M_i , oraz wariancji S_i^2 poszczególnych składowych n :

$$M_i = e^{\frac{\bar{F}_i + \frac{\sigma_i^2}{2}}}, S_i^2 = e^{2\bar{F}_i + \sigma_i^2} \cdot (e^{\sigma_i^2} - 1), i = 1...n \quad (\text{Nepery})$$

Krok 3: Obliczenie wartości średniej M oraz wariancji S^2 , rozkładu sumy mocy:

$$M = \sum_{i=1}^n M_i, S^2 = \sum_{i=1}^n S_i^2 \quad (\text{Nepery})$$

Krok 4: Określenie parametrów rozkładu \bar{F}_Σ oraz σ_Σ aproksymującego rozkładu logarytmiczno-normalnego sumy:

$$\sigma_\Sigma^2 = \log_e \left(k \frac{S^2}{M^2} + 1 \right), \bar{F}_\Sigma = \log_e(M) - \frac{\sigma_\Sigma^2}{2} \quad (\text{Nepery})$$

Krok 5: Przeliczenie \bar{F}_Σ oraz σ_Σ z jednostek wyrażonych w Neperach do skali dB:

$$X_{dB} = 10 \log_{10}(e) \cdot X_{Neper}$$

\bar{F}_Σ oraz σ_Σ są odpowiednio wartością średnią oraz odchyleniem standardowym aproksymującego rozkładu logarytmiczno-normalnego sumy pól.

4.7.3 Wyniki obliczeń przykładowej sieci SFN

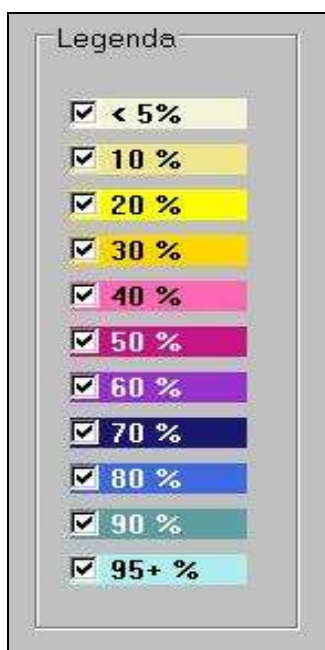
Wykorzystując metodę składania sygnałów z uwzględnieniem czasów opóźnień i wielkości odstepu ochronnego oraz dokonując ich statystycznej analizy wykonano obliczenia dla przykładowej teoretycznej sieci z uwzględnieniem cyfrowego modelu terenu oraz metody propagacyjnej ITU-R P.1546 przyjętej do obliczeń na Konferencji RRC.

Celem zobrazowania mechanizmów występujących w sieciach SFN, na rys. 4.18 i 4.19 przedstawiono wyniki pokrycia przykładowej teoretycznej sieci SFN, której nadajniki zlokalizowane zostały w promieniu ok. 50 km wokół Wrocławia. Przeanalizowano przypadki z różnymi wartościami mocy promieniowanej nadajników. Na rysunkach poszczególnymi barwami (rys. 4.17) zaznaczono przestrzenne prawdopodobieństwo odbioru odnoszące się do

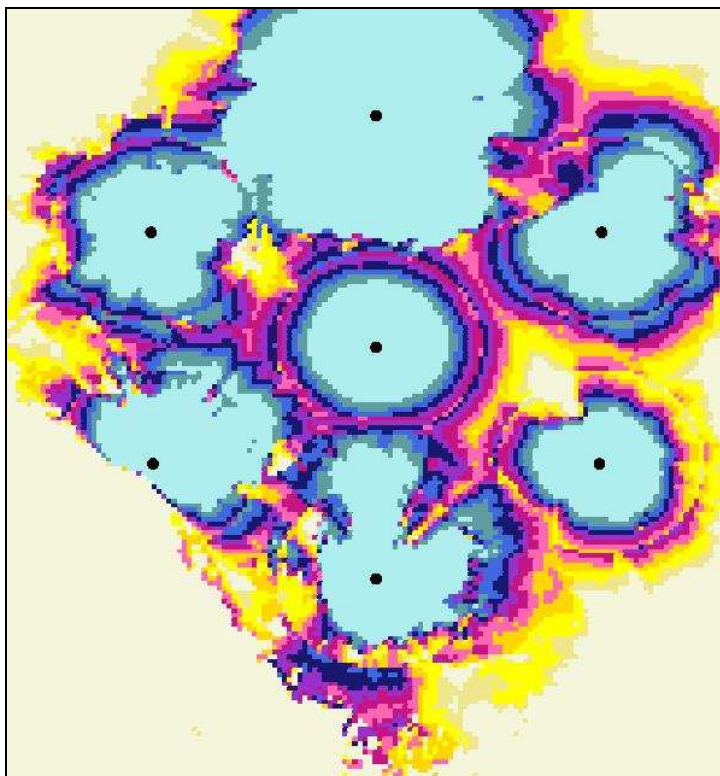
wymaganej równoważnej mediany natężenia pola $E_{\min} = 44 \text{ dB}\mu\text{V/m}$. Założono również, że odbiornik będzie synchronizował się z najsilniejszym sygnałem spośród wszystkich pochodzących od nadajników sieci i będzie stosował antenę kierunkową skierowaną na najsilniejszy sygnał.

Parametry sieci są następujące:

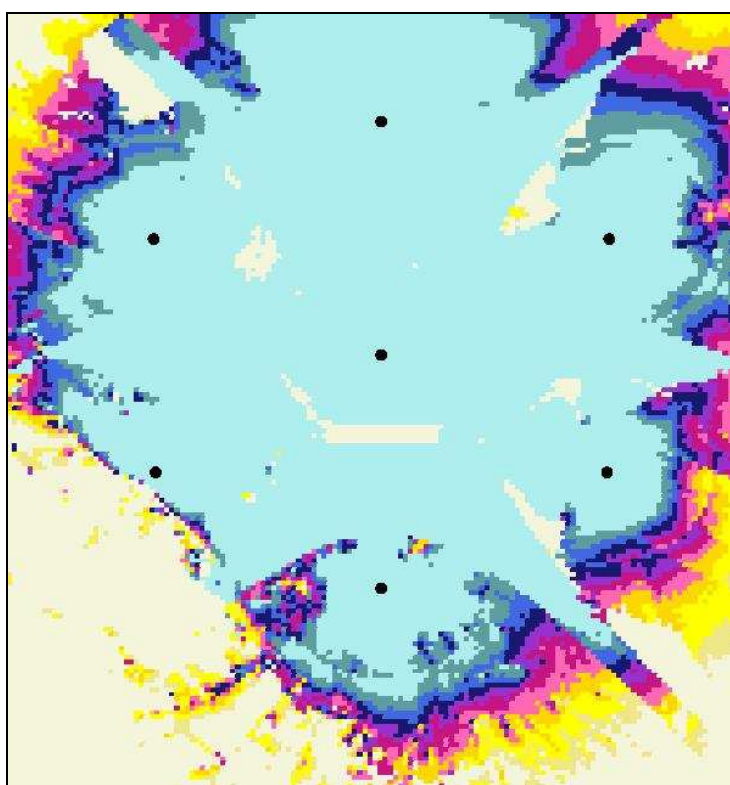
- Komórka heksagonalna o promieniu 50 km,
- Wysokości zawieszenia anten wszystkich stacji nadawczych: 150 m n.p.t.,
- Moce promieniowane skrajnych stacji nadawczych : ERP = 1 kW; 32 kW,
- Charakterystyki promieniowania anten skrajnych stacji nadawczych: dookólne,
- Moc promieniowana nadajnika centralnego: ERP = 0,1 kW; 3,2 kW,
- Charakterystyka promieniowania anteny centralnej stacji nadawczej: dookólna,
- Wysokość zawieszenia anteny odbiorczej: 10 m n.p.t.,
- Charakterystyka promieniowania anteny odbiorczej: dookólna lub kierunkowa,
- Model kanału radiowego – Rice’a (odbiór stacjonarny, zewnętrzny),
- Częstotliwość środkowa kanału (o szerokości 8 MHz): 474 MHz – kanał 21,
- Modulacja: 16-QAM, kodowanie FEC o sprawności 2/3,
- Wymagany C/N w systemie: 11,6 dB,
- Wspólnokanałowy współczynnik ochronny: 16 dB,
- Minimalna mediana równoważnego natężenia dla 95 % miejsc: $E_{\min} = 44 \text{ dB}\mu\text{V/m}$,
- Liczba nośnych systemu DVB-T - 8k,
- Odstęp ochronny : 1/4 (224 μs),
- Szerokość pasma filtru odbiornika: 7/24,
- Kryterium synchronizacji odbiornika: do najsilniejszego sygnału,
- Odchylenie standardowe odbieranego sygnału: 5,5 dB.



Rys. 4.17. Przyjęte poziomy prawdopodobieństwa na mapach pokrycia



Rys. 4.18. Ostateczny wynik obliczeń dla nadajników o mocy 1kW/0,1kW – przestrzenne prawdopodobieństwo odbioru w sieci SFN przy założeniu kierunkowej anteny odbiorczej



Rys. 4.19. Ostateczny wynik obliczeń – przestrzenne prawdopodobieństwo odbioru w sieci SFN po podniesieniu mocy wszystkich stacji o 15 dB , antena odbiorcza kierunkowa

4.8 Wnioski

Przedstawiona w niniejszym rozdziale metoda uproszczona planowania sieci SFN wykorzystuje sztuczne sieci odniesienia i obszary rezerwacji stworzone na bazie przydziałów analogowych telewizji. Pozwala ona na dość dobre i szybkie stworzenie planu sieci SFN, które będą dopiero tworzone w przyszłości. Pozwala też w przyszłości projektantom sieci na swobodną implementację sieci poprzez wybór dowolnej konfiguracji sieci nadajników wewnątrz obszarów rezerwacji. Metoda taka zostanie zaimplementowana w trakcie generowania Planu radiodyfuzji cyfrowej na Konferencji ITU RRC'06. W pracy wykonano również obliczenia dla teoretycznej próby implementacji obszaru rezerwacji za pomocą sieci SFN o regularnych kształtach. Na podstawie rzeczywistych obliczeń z wykorzystaniem cyfrowej mapy terenu i metod propagacyjnych oraz analizy statystycznej sygnałów w sieci SFN wykonano obliczenia prawdopodobieństwa pokrycia. Zastosowanie nadajników o mocy 32kW pozwoliło na uzyskanie bardzo wysokiego prawdopodobieństwa pokrycia w całym obszarze między nadajnikami. W trakcie rzeczywistej implementacji sieci konieczne będzie wykonanie podobnych obliczeń z uwzględnieniem rzeczywistych wybranych lokalizacji nadajników oraz charakterystyk anten nadawczych i wybranego trybu odbioru.

5 Analiza kompatybilności systemów radiokomunikacji ruchomej lądowej 3. generacji z wybranymi systemami,

5.1 Wstęp

W wyniku prowadzonych na forum międzynarodowym prac, dotyczących opracowywania nowoczesnych rozwiązań w dziedzinie telekomunikacji, powstała koncepcja systemów radiokomunikacyjnych nowej generacji. Są to systemy szerokopasmowe o zasięgu globalnym, oferujące użytkownikowi szeroki zakres usług, poprzez przesyłanie drogą radiową zmultiplexowanych sygnałów cyfrowych (audio, video, dane, usługi multimedialne).

Przykładem takich systemów jest opracowany kilka lat temu system IMT-2000/UMTS (system 3. generacji). Aktualnie w Europie i na świecie trwają prace dotyczące z jednej strony budowy sieci radiowych IMT-2000/UMTS, zaś z drugiej strony dalszego rozwoju tego systemu.

Wprowadzanie nowych systemów radiowych wiąże się z koniecznością przekazania dla ich potrzeb odpowiednich porcji widma elektromagnetycznego. W przypadku systemu IMT-2000/UMTS dokonano już przydziału częstotliwości. W czasie Światowej Konferencji Administracji Radiowych WARC-92 (*World Administrative Radio Conference*), wskazane zostały zakresy częstotliwości, stanowiące tzw. pasmo zasadnicze, zwane później wstępnym (ang. core lub initial band). Budowane obecnie sieci IMT-2000/UMTS pracują lub będą pracować właśnie w tym paśmie.

Ponieważ jednak, przeznaczona dla potrzeb IMT-2000/UMTS część widma okazała się niewystarczająca w stosunku do jego wymagań technicznych, na Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej WRC 2000 (*World Radiocommunication Conference*) ustalono, że dla potrzeb IMT-2000/UMTS należy przydzielić dodatkowe pasmo częstotliwości. Miało to umożliwić przekazywanie pełnego zakresu dostępnych usług oraz pozwolić na dalszy rozwój IMT-2000/UMTS. Dla potrzeb systemu IMT-2000/UMTS wskazano więc trzy dodatkowe zakresy częstotliwości, wśród których znalazł się zakres 2500 – 2690 MHz. Na podstawie Decyzji ECC/DEC/(02)06 [34] zakres ten dla ma być dostępny dla potrzeb systemu od 1 stycznia 2008 r.

Ponieważ zasoby widmowe są ograniczone i brak jest wolnych i niewykorzystywanych zakresów częstotliwości, nowe systemy radiowe wprowadzane są w zakresach uprzednio już zagospodarowanych. Taka właśnie sytuacja ma miejsce w odniesieniu do przeznaczonego dla potrzeb IMT-2000/UMTS zakresu częstotliwości 2500 – 2690 MHz, który jest aktualnie wykorzystywany przez inne systemy i służby radiokomunikacyjne oraz radiodyfuzyjne.

Aby mimo to, w zagospodarowanym już zakresie częstotliwości można było uruchomić nowy system, konieczne jest określenie warunków jego koegzystencji z systemami już pracującymi, tak, by nie powodowały one wzajemnych zakłóceń, zaś dostępne zasoby widma były wykorzystywane jak najefektywniej. Warunki koegzystencji systemów określa się w oparciu o analizę sposobu zagospodarowania widma i identyfikację służb i systemów pracujących w rozpatrywanym zakresie częstotliwości. Następnie w przypadku wskazanych służb i systemów podejmuje się badania techniczne, umożliwiające określenie warunków ich kompatybilności.

Opierając się na wyżej opisanej procedurze, również uruchomienie systemu IMT-2000/UMTS w zakresie częstotliwości 2500 – 2690 MHz musiało zostać poprzedzone przeprowadzeniem stosownych badań kompatybilnościowych, które pozwoliły określić warunki jego koegzystencji z systemami już pracującymi.

5.2 Sposób zagospodarowania widma w zakresie częstotliwości 2500-2690 MHz

Zapewnienie bezkolizyjnej pracy różnych służb czy systemów radiowych w tych samych lub sąsiadujących zakresach częstotliwości możliwe jest dzięki zastosowaniu szerokiej wiedzy technicznej (będącej podstawą do określenia warunków ich bezkolizyjnej pracy), jak również odpowiednich regulacji prawnych o zasięgu krajowym lub międzynarodowym.

Sposób wykorzystania widma regulowany jest:

- w skali Świata – w oparciu o Regulamin Radiokomunikacyjny [19]
- w skali Europy – na podstawie Sprawozdania 25 Europejskiego Komitetu Radiokomunikacyjnego (Europejskiej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości w zakresie 9 kHz – 275 GHz) [35]
- w skali kraju – na podstawie krajowych tablic przeznaczeń częstotliwości [23].

Rozpatrując możliwość uruchomienia systemu IMT-2000/UMTS w zakresie częstotliwości 2500-2690 MHz konieczne było przeprowadzanie analizy sposobu zagospodarowania widma (w rozpatrywanym zakresie częstotliwości i zakresach z nim sąsiadujących), na podstawie obowiązujących regulacji międzynarodowych i krajowych.

Przepisy międzynarodowe tworzone są w ramach Sektora Radiokomunikacji Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego ITU (International Telecommunication Union) i ostatecznie przyjmowane na Światowych Konferencjach Radiokomunikacji (WRC – World Radiocommunication Conference), odbywających się co około 3 lata, lub na Konferencjach Regionalnych (np. dla obszaru Europy czy Afryki). Na ich podstawie tworzone są regulacje krajowe powstają, których treść może jednak nieznacznie od nich odbiegać.

Analizując obowiązujące w odniesieniu do zakresu częstotliwości 2500-2690 MHz przepisy, możliwe było wskazanie służb i systemów w nich pracujących. W przypadku tych właśnie służb czy systemów konieczne było określenie warunków ich koegzystencji z wprowadzanym systemem IMT-2000/UMTS.

Przeprowadzona analiza stanu zagospodarowania widma w zakresie częstotliwości 2500-2690 MHz i zakresach z nim sąsiadujących (Tabela 5.1) obejmowała regulacje zawarte w:

- Regulaminie Radiokomunikacyjnym (Region I),
- Europejskiej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości (Sprawozdanie 25),
- Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości [23]

Tabela 5.1. Sposób zagospodarowania widma w zakresie częstotliwości 2500-2690 MHz i zakresach z nim sąsiadujących zgodnie z: Regulaminem Radiokomunikacyjnym (Region I), Europejską Tablicą Przeznaczeń Częstotliwości (Sprawozdanie 25) i Krajową Tablicą Przeznaczeń Częstotliwości

Zakres częstotliwości		Przeznaczenie		
f dolna [MHz]	f górna [MHz]	Regulamin Radiokomunikacyjny (Region I)	Sprawozdanie 25	Krajowa Tablica Przeznaczeń Częstotliwości
2483,5	2500	STAŁA RUCHOMA RUCHOMA SATELITARNA (kosmos - Ziemia) 5.351 A Radiolokalizacja 5.150 5.371 5.397 5.398 5.399 5.402	STAŁA RUCHOMA RUCHOMA SATELITARNA (kosmos - Ziemia) 5.351 A 5.150 5.371 5.398 5.402	STAŁA RUCHOMA RUCHOMA SATELITARNA (Ziemia - kosmos) 5.351 A Radiolokalizacja 5.150 5.371 5.398 5.399 5.402
2500	2520	STAŁA 5.409 5.410 5.411 RUCHOMA z wyjątkiem ruchomej lotniczej 5.384A RUCHOMA SATELITARNA (kosmos - Ziemia) 5.403 5.351A 5.405 5.412 5.414	RUCHOMA z wyjątkiem ruchomej lotniczej 5.384A Stała EU15	STAŁA 5.409 5.410 5.411 RUCHOMA z wyjątkiem ruchomej lotniczej 5.384A RUCHOMA SATELITARNA (kosmos - Ziemia) 5.403 5.351A 5.414 POL.21
2520	2655	RADIODYFUZJA SATELITARNA 5.413 5.416 STAŁA 5.409 5.410 5.411 RUCHOMA z wyjątkiem ruchomej lotniczej 5.384A 5.339 5.403 5.405 5.412 5.417C 5.417D 5.418B 5.418C	STAŁA RUCHOMA z wyjątkiem ruchomej lotniczej 5.384A 5.339 5.418B 5.418C EU2 EU15 EU16	RUCHOMA z wyjątkiem ruchomej lotniczej 5.384A STAŁA 5.409 5.410 5.411 RADIODYFUZJA SATELITARNA 5.413 5.416 5.339 5.403 5.418B 5.418C POL.21 POL.25
2655	2670	RADIODYFUZJA SATELITARNA 5.413 5.416 STAŁA 5.409 5.410 5.411 RUCHOMA z wyjątkiem ruchomej lotniczej 5.384A Badania kosmiczne Ziemi (pasywne) Radioastronomia	STAŁA RUCHOMA z wyjątkiem ruchomej lotniczej 5.384A Badania kosmiczne Ziemi (pasywne) Radioastronomia Badania kosmiczne 5.149 EU2 EU15 EU16	RADIODYFUZJA SATELITARNA 5.413 5.416 STAŁA 5.409 5.410 5.411 RUCHOMA z wyjątkiem ruchomej lotniczej 5.384A Badania kosmiczne Ziemi (pasywne) Radioastronomia

Zakres częstotliwości		Przeznaczenie		
f dolna [MHz]	f górna [MHz]	Regulamin Radiokomunikacyjny (Region I)	Sprawozdanie 25	Krajowa Tablica Przeznaczeń Częstotliwości
		Space research 5.149 5.347A 5.412 5.420		Badania kosmiczne 5.149 5.420 POL.21 POL.25
2670	2690	STAŁA 5.409 5.410 5.411 RUCHOMA z wyjątkiem ruchomej lotniczej 5.384A RUCHOMA - SATELITARNA (Ziemia - kosmos) 5.351A Badania kosmiczne Ziemi (pasywne) Radioastronomia Badania kosmiczne 5.149 5.347A 5.412 5.419 5.420	RUCHOMA z wyjątkiem ruchomej lotniczej 5.384A Stała Radioastronomia 5.149 EU15	STAŁA 5.409 5.410 5.411 RUCHOMA z wyjątkiem ruchomej lotniczej 5.384A RUCHOMA - SATELITARNA (Ziemia - kosmos) 5.351A Radioastronomia 5.149 5.419 5.420 POL.21 POL.25
2690	2700	SATELITARNE BADANIA ZIEMI (pasywne) RADIOASTRONOMIA BADANIA KOSMICZNE (pasywne) 5.340 5.422	SATELITARNE BADANIA ZIEMI (pasywne) RADIOASTRONOMIA BADANIA KOSMICZNE (pasywne) 5.340	SATELITARNE BADANIA ZIEMI (pasywne) RADIOASTRONOMIA BADANIA KOSMICZNE (pasywne) 5.340

Uwaga: Wielkimi literami zaznaczone są służby pierwszej ważności, które muszą być chronione przed zakłóceniami, a małymi literami służby drugiej ważności. W poszczególnych komórkach tabeli wprowadzone są dodatkowe informacje odnośnie wykorzystania poszczególnych zakresów częstotliwości przez różne kraje. Informacje te są przedstawione w postaci oznaczeń do tablicy (przypisy ITU przedstawione są w formacie 5.XXXY, np. 5.384A). Europa wprowadziła do swej tablicy oznaczenia przypisów dotyczących tylko krajów europejskich np. (EU15), a Polska wprowadziła do swojej tablicy własne oznaczenia (np. POL.21). Treść przypisów europejskich i polskich – najważniejszych z punktu wykorzystania widma w naszym kraju, jest następująca:

EU15 – Pracujące w zakresie częstotliwości 1350-2690 MHz systemy taktycznych linii radiowych powinny mieć możliwość przestrajania w całym zakresie. Wymagania dotyczące taktycznych linii radiowych powinny łączyć się z wymaganiami obowiązującymi dla podzakresów: 1350-1400 MHz, 1427-1452 MHz, 1492-1525 MHz, 1660-1670 MHz, 1675-1710 MHz, 1785-1800 MHz, 2025-2110 MHz, 2200-2290 MHz, 2520-2575 MHz, 2615-2670 MHz. Wspólne wymaganie 2x45 MHz dla taktycznych linii radiowych w przypadku operacji między lub przygranicznych i ćwiczeń powinno zostać zaspokojone w zakresach 2025-2110 MHz i 2200-2290 MHz, a w szczególności w zakresach 2025-2070/2200-2245 MHz.

EU16 – Po wprowadzeniu IMT-2000 służba stała stanie się służbą drugiej ważności w odpowiednich częściach pasma.

POL.21 – Zakres częstotliwości 2500 – 2690 MHz może być wykorzystywany od dnia 1 stycznia 2006 r. na zasadzie pierwszej ważności jedynie dla potrzeb służby ruchomej wykonywanej przez użytkowników cywilnych (UMTS).

POL.25 – W zakresach częstotliwości 153-174 MHz, 1427-1452 MHz, 2520-22690 MHz, 5925-7450 MHz, 7850-8175 MHz i 12500-13250 MHz jednostki organizacyjne podlegające Ministrowi Obrony Narodowej mogą wykorzystywać określone częstotliwości dla potrzeb służby radiolokalizacji, której urządzenia były w eksploatacji przed dniem 31 grudnia 2002 r. Takie wykorzystywanie wymaga uzgodnień z Prezesem Urzędu Regulacji Telekomunikacji i Poczty.

5.3 Badanie kompatybilności wspólnie i sąsiedniokanałowej

5.3.1 Analiza sposobu zagospodarowania widma

Uwzględniając sposób zagospodarowania widma w zakresie częstotliwości 2500 – 2690 MHz i zakresach z nim siadujących powstała macierz koincydencji (Tabela 5.2), wskazująca, dla jakich służb i systemów konieczne jest określenie warunków kompatybilności z systemem IMT-2000/UMTS [36].

Tabela 5.2. Macierz koincydencji służb w w zakresie częstotliwości 2500 – 2690 MHz i jego otoczeniu

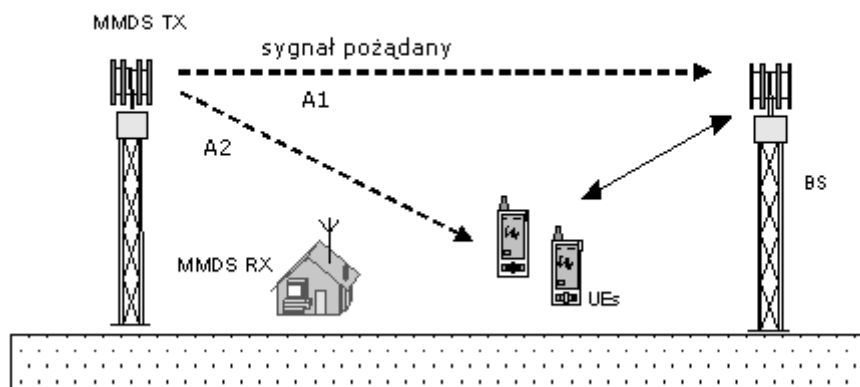
Zakres częstotliwości	poniżej 2500 MHz	2500 – 2520 MHz	2520 – 2670 MHz	2670 – 2690 MHz	powyżej 2690 MHz
Przeznaczenie	STAŁA RUCHOMA RUCHOMA SATELITARNA (kosmos- Ziemia) Radiolokacja	RUCHOMA RUCHOMA SATELITARNA (kosmos - Ziemia)	STAŁA RUCHOMA	RUCHOMA RUCHOMA SATELITARNA (Ziemia- kosmos)	RADIOASTRONOMIA
Współużytkowanie widma		UMTS / STAŁA UMTS/ RUCHOMA SATELITARNA	UMTS/STAŁA (MMDS)	UMTS/STAŁA UMTS/ RUCHOMA SATELITARNA	
Kompatybilność sąsiedniokanałowa (dolny kraniec zakresu)		UMTS/ STAŁA UMTS/ RUCHOMA SATELITARNA	UMTS/ STAŁA UMTS/ RUCHOMA SATELITARNA	UMTS/ STAŁA	
Kompatybilność sąsiedniokanałowa (górny kraniec zakresu)		UMTS/ RUCHOMA SATELITARNA	UMTS/ RUCHOMA SATELITARNA	UMTS/ RADIOASTRONOMIA	

Z przedstawionego zestawienia wynika, że warunki kompatybilności, dotyczące sposobu współużytkowania tych samych i sąsiadujących podzakresów częstotliwości, winny zostać ustalone dla systemu IMT-2000/UMTS i następujących służb pierwszej ważności:

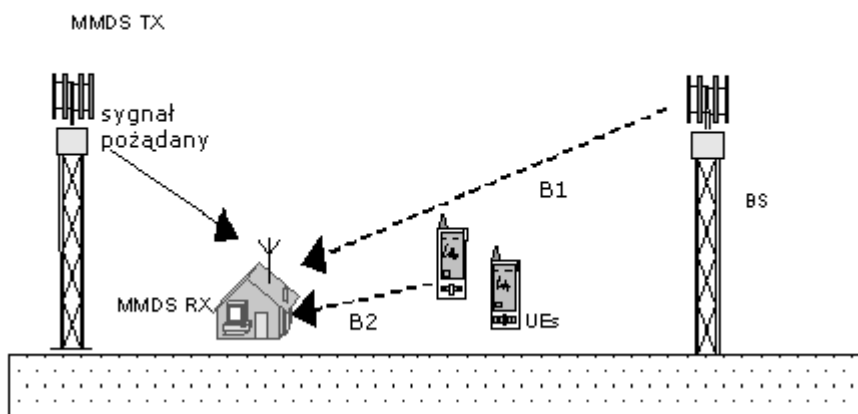
- stałą,
- ruchomą satelitarną,
- radioastronomią.

Jednak zamiarem Europejskiego Komitetu Komunikacji Elektronicznej ECC jest niewprowadzenie do zakresów 2500 - 2520 MHz i 2670 - 2690 MHz żadnej komunikacji satelitarnej [37]. Z tego względu przypadki rozpatrywane w niniejszej pracy dotyczą jedynie kwestii kompatybilności pomiędzy IMT-2000/UMTS a służbami: stałą i radioastronomią.

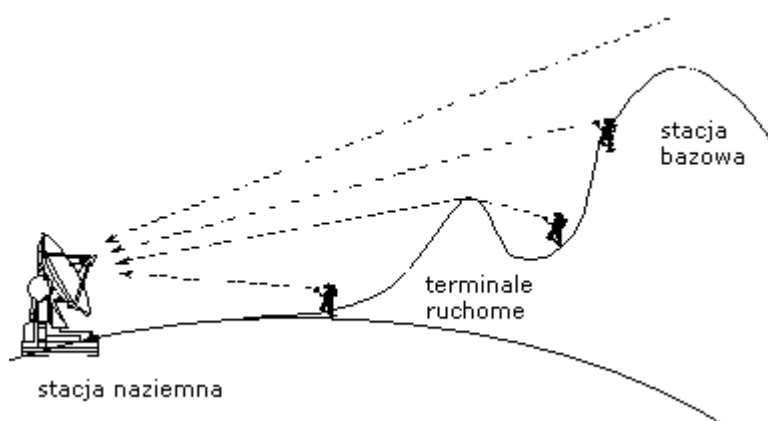
Sprowadza się to do scenariuszy zakłóceń przedstawionych na rysunkach: Rys. 5.1, 5.2, 5.3) [36].



Rys. 5.1. Drogi zakłóceń w relacji między: A1 - nadajnikiem MMDS (MMDS Tx) i stacją bazową UMTS (BS), A2 - nadajnikiem MMDS (MMDS Tx i stacją ruchomą UMTS (UEs)



Rys. 5.2. Drogi zakłóceń w relacji między: B1 - stacją bazową UMTS (BS) a odbiornikiem MMDS (MMDS Rx), B2 - stacją ruchomą UMTS (UEs) a odbiornikiem MMDS (MMDS Rx)



Rys. 5.3. Drogi zakłóceń w relacji między stacją bazową i/lub terminalami ruchomymi UMTS a Radioastronomią

5.3.2 Separacja geograficzna i częstotliwościowa

Wykorzystywanie tych samych lub sąsiadujących zakresów częstotliwości przez różne służby czy systemy telekomunikacyjne może się odbywać przy zastosowaniu separacji geograficznej i/lub częstotliwościowej.

Separacja geograficzna określa minimalną odległość, w jakiej znajdować się powinny urządzenia nadawczo/odbiorcze rozpatrywanych służb/systemów, pracujących w tych samych lub sąsiadujących zakresach częstotliwości, tak, by nie powodowały one wzajemnych zakłóceń.

Separacja częstotliwościowa umożliwia koegzystencję służb/systemów telekomunikacyjnych pracujących na tym samym obszarze, poprzez określenie minimalnych odstępów częstotliwości (marginesy ochronne) między ich częstotliwościami pracy.

Aby wyznaczyć separację geograficzną i częstotliwościową zastosować można dwa podejścia: deterministyczne lub statystyczne, wykorzystane w metodach [36]:

- minimalnych strat łączy MCL (Minimum Coupling Loss) – model deterministyczny,
- Monte Carlo MC – metoda statystyczna.

5.3.2.1 Sposób wyznaczania separacji geograficznej i marginesów ochronnych

Metoda wyznaczania minimalnego tłumienia łączy MCL (Minimum Coupling Loss) jest metodą deterministyczną, która umożliwia wyznaczenie minimalnego tłumienia trasy propagacji i/lub minimalnego odstępów sąsiedniokanałowego dla wybranego systemu radiowego, przy zadanych parametrach urządzeń nadawczych i odbiorczych.

Na podstawie znajomości tłumienia trasy propagacji możliwe jest wyznaczenie minimalnej separacji geograficznej pomiędzy stacjami, zaś znajomość minimalnego odstępów sąsiedniokanałowego umożliwia określenie marginesów ochronnych.

W przypadku systemów naziemnych i satelitarnych (zestandaryzowanych przez pracującą w ramach ITU grupę standaryzacyjną 3GPP) pracujących w tych samych zakresach częstotliwości odstęp sąsiedniokanałowy definiowany jest poprzez współczynnik zakłóceń sąsiedniokanałowych ACIR (Adjacent Channel Interference Ratio). Koncepcja ta jest użyteczna w przypadku stosowania standardowego odstępów sąsiedniokanałowego, wynoszącego 5, 10 lub 15 MHz. W innych przypadkach konieczne jest wykorzystywanie maski emisji nadajnika i odbiornika.

W przypadku systemu UMTS interferencje zazwyczaj prowadzą do zmniejszenia pojemności i/lub obszaru pokrycia sygnałem radiowym. W związku z tym oszacowanie wpływu zakłóceń wymaga w niektórych przypadkach przeprowadzenia symulacji dla bardzo dużej liczby nadajników i odbiorników. Z tego też względu metoda MCL może nie być stosowana do zbadania tego zjawiska. Dodatkowo metoda MCL nie umożliwia zamodelowania kontroli mocy, czy dynamicznie zmieniających się sytuacji w trakcie pracy sieci.

Zasadniczym problemem w czasie określania kompatybilności międzysystemowej jest ustalenie poziomów zakłóceń wnoszonych przez nadajniki jednego systemu do odbiorników drugiego systemu. W systemach szerokopasmowych (takich jak np. IMT-2000/UMTS) sprowadza się to do określenia prawdopodobieństwa występowania potencjalnych zakłóceń pomiędzy stacjami należącymi do sieci różnych operatorów, czasem znajdującymi się po różnych stronach granicy państwa, a także między stacjami IMT-2000/UMTS i stacjami użytkowymi w innych służbach.

W niniejszej pracy nakreślono jedynie ogólne zasady dokonywania oszacowań zakłóceń zarówno współkanałowych jak i w pasmach sąsiednich. Tego typu metodologia musi uwzględniać najgorsze przypadki zakłóceń występujących w rzeczywistości i brać od uwagę pełny obraz scenariuszy zakłóceń. Procedury obliczeniowe oparte są na statystyce.

Stąd też drugim, możliwym do zastosowania podejściem jest wykorzystanie metody statystycznej - Monte Carlo MC. Pozwala ona wyznaczyć prawdopodobieństwo wystąpienia zakłóceń dla: przyjętego zestawu parametrów wejściowych, zadanego sposobu rozmieszczenia stacji oraz określonego modelu kontroli mocy.

Wyznaczona przy użyciu metody Monte Carlo akceptowalna wartość prawdopodobieństwa wystąpienia interferencji zależna jest od rozpatrywanego scenariusza powstawania zakłóceń.

Porównując ze sobą oba podejścia wyciągnąć można następujące wnioski:

- Metoda MCL jest użyteczna przy wstępnym oszacowaniu możliwości współużytkowania częstotliwości. Jest ona odpowiednia w przypadku dość „statycznych” sytuacji powstawania zakłóceń (np.: łącza stałe – ruchome stacje bazowe). Uzyskane przy zastosowaniu tego modelu wyniki mogą się okazać w niektórych przypadkach dość pesymistyczne.
- Probabilistyczna metoda Monte Carlo będzie ogólnie rzecz biorąc dawać bardziej realistyczne wyniki. Jest ona jednak dość złożona i skomplikowana do implementacji i daje dokładne wyniki w przypadku, gdy znane są rozkłady prawdopodobieństw dla wszystkich parametrów wejściowych.

5.3.2.2 Modele propagacyjne

Aby na podstawie metody MCL i Monte Carlo wyznaczyć separację geograficzną między stacjami zastosować można modele propagacyjne odpowiednie dla rozpatrywanego rodzaju trasy propagacji:

- W przypadku trasy satelita - Ziemia i Ziemia – satelita
Wyznaczenie tłumienia trasy odbywa się jak dla przypadku swobodnej przestrzeni, z uwzględnieniem dodatkowego tłumienia związanego z występowaniem deszczu i pochłanianiem przez gazy atmosferyczne - zgodnie z Zaleceniem ITU-R P.676-5 [38]. W przypadku, gdy nie oczekuje się zbyt dużej dokładności wyników, dla częstotliwości poniżej 3 GHz dodatkowe tłumienie można pominąć.
- Dla trasy naziemnej
 - Dla odległości mniejszych od 20 km w przypadku metody MCL stosuje się zmodyfikowany model Hata - COST 231 [39]. Model ten, stosując pewne środki ostrożności, można wykorzystywać dla tras o długości do 100 km. Typowo metoda ta jest stosowana w przypadku systemów wspólnoobszarowych, np.: do określenia separacji częstotliwościowej. Model ten zaimplementowany jest w dostępnym w ERO programie SEAMCAT.
 - Dla odległości powyżej 20 km stosuje się Zalecenie ITU-R P.452-11 [40], typowo stosowane w przypadku systemów niewspólnoobszarowych (separacja geograficzna).

Do wyznaczania zakłóceń ze stacjami radioastronomicznymi RA, w sytuacji, gdy dysponuje się szczegółowymi danymi dotyczącymi ukształtowania terenu oraz dostępne są inne informacje dotyczące warunków propagacji, preferowana jest metoda z Zalecenia ITU-R P.452, dotycząca sposobu szacowania zakłóceń między stacjami naziemnymi pracującymi w zakresie częstotliwości powyżej około 0,7 GHz. Zawiera ona kilka modeli propagacyjnych, uwzględniających wilgotność, występowanie przeszkód terenowych, zalesienie i inne parametry.

Czynnikami decydującymi przy określaniu separacji geograficznej, czy marginesów ochronnych między IMT-2000/UMTS i Radioastronomią są warunki propagacyjne i morfologia terenu w pobliżu stacji radioastronomicznej (patrz rys. 5.3).

5.4 Wyniki badań kompatybilności

5.4.1 Kompatybilność wspólnokanałowa

Warunki dotyczące kompatybilności wspólnokanałowej określone zostały w odniesieniu do pracującego w ramach służby stałej radiowego systemu wielodostępu do multimediów (Multipoint Multimedia Distribution System) MMDS.

- Służba Stała (MMDS) – IMT 2000/UMTS

Badania wskazują, że niemożliwe jest współużytkowanie wspólnych zakresów częstotliwości przez systemy IMT 2000/UMTS i MMDS, w przypadku, gdy systemy te pracują w tym samym obszarze geograficznym.

Koegzystencja tych systemów w tym samym zakresie częstotliwości możliwa jest jedynie przy zachowaniu relatywnie dużej separacji odległościowej (powyżej 70 km w przypadku makrokomórek). Dopiero wówczas można zminimalizować wzajemne zakłócenia. Przeprowadzone przez Grupę Roboczą CEPT ECC WG SE symulacje wskazują jednak, że ze względu na wymagania dotyczące rozmiarów sporej separacji geograficznej (Tabela 5.3) między urządzeniami obu rozpatrywanych systemów, wykorzystywanie wspólnych zakresów częstotliwości może okazać się trudne do zrealizowania w praktyce.

Tabela 5.3. Wielkość separacji geograficznej między systemami MMDS i IMT 2000/UMTS przy uwzględnieniu różnych (zależnych od rodzajów urządzeń) scenariuszy powstawania zakłóceń

Scenariusz powstawania zakłóceń	Wymagana separacja geograficzna (km)
UMTS UE → MMDS Rx	5
UMTS BS → MMDS Rx	5 - pikokomórki, 25 - mikrokomórki, 70 - makrokomórki
MMDS Tx → UMTS BS	5 - pikokomórki, 25 - mikrokomórki, 70 - makrokomórki
MMDS Tx → UMTS UE	5

gdzie:

UE – terminal użytkownika

BS – stacja bazowa

Tx - nadajnik

Rx - odbiornik

Należy jednak zauważyć, że w przypadku problemu pojawienia się zakłóceń wspólnokanałowych w odbiornikach MMDS przy współużytkowaniu tych samych kanałów, możliwa jest ich redukcja z uwagi na dużą wartość współczynnika tłumienia przód – tył anten odbiorników MMDS, przy zapewnieniu umieszczenia odbiorników MMDS poza obszarem obsługi systemu UMTS.

5.4.2 Kompatybilność sąsiedniokanałowa

Ze względu na koegzystencję systemu IMT-2000/UMTS i służby stałej oraz Radioastronomii w sąsiadujących ze sobą zakresach częstotliwości, należy również określić warunki kompatybilności sąsiedniokanałowej między tymi służbami.

5.4.2.1 IMT 2000/UMTS – Radioastronomia

Służba Radioastronomiczna wykorzystuje zakres częstotliwości 2690-2700 MHz, w którym jest całkowity zakaz używania jakichkolwiek nadajników, natomiast system IMT-2000/UMTS pracuje w zakresie częstotliwości sąsiadującym z dolnym krańcem pasma przeznaczonego dla Radioastronomii.

Zalecenie ITU-R RA.769-2 [41] przedstawia kryteria ochrony pomiarów radioastronomicznych, poprzez określenie maksymalnej gęstości strumienia mocy przypadającej na 1 Hz lub na 10 Hz. Dla zakresu częstotliwości 2690-2700 wartości te wynoszą odpowiednio: -177 dBm/10MHz i -247 dBm/Hz. Są one stosowane w przypadku wszystkich systemów pracujących w pasmach częstotliwości sąsiadujących z zakresem 2670-2690 MHz, w obszarach geograficznych sąsiadujących z lokalizacjami radioteleskopów.

Zgodnie z Zaleceniem ITU-R RA.769-2 „Administracje powinny zapewnić wszelką możliwą ochronę częstotliwości wykorzystywanych przez Radioastronomię we własnym kraju lub państwach sąsiadujących, uwzględniając należne poziomy zakłóceń”, stąd zapewniając ostre wymagania ochrony stacji radioastronomicznej, poziom sygnałów zakłócających na wejściu odbiornika nie może przekraczać -207dBW/10MHz (-247 dBm/Hz) przy częstotliwości środkowej 2695 MHz.

Dodatkowo, jak wspomniano powyżej, przypis 5.340 w Regulaminie Radiokomunikacyjnym mówi, że w zakresie częstotliwości 2690-2700 MHz zabroniona jest jakakolwiek emisja.

Określając warunki współużytkowania widma przez system IMT-2000/UMTS i Radioastronomię, konieczne jest określenie wymagań dotyczących ich separacji geograficznej. Odbywa się to poprzez zdefiniowanie tzw. stref koordynacyjnych i stref wyłączonych. Strefy te wyznacza się poprzez określenie minimalnej odległości separacyjnej, wymaganej do ochrony przed zakłóceniami stacji radioastronomicznych.

Minimalna odległość separacyjna obliczana jest na podstawie bilansu łącza (przy uwzględnieniu wymagań dotyczących: ochrony stacji radioastronomicznych, maksymalnej emisji pozapasmowej OOB (ang. Out-of-Band) w zakresie częstotliwości przeznaczonym dla Radioastronomii) stosując odpowiedni model propagacyjny. W niektórych przypadkach, przy wyznaczaniu tej strefy przyjmuje się dodatkową odległość izolacyjną.

Strefy koordynacyjne obejmują obszar, w którym wymagana jest koordynacja lokalizacji odbiorników radioastronomicznych i naziemnych stacji bazowych IMT-2000/UMTS, natomiast strefy wyłączonych określają obszar, w którym zabroniona jest emisja sygnałów.

W tabeli 5.4 przedstawione są wymagane odstępochronne (minimalne wartości tzw. tłumienia sprzężenia) między stacjami radioastronomicznymi i stacjami bazowymi i ruchomymi IMT-2000/UMTS.

Tabela 5.4 Wymagane odstępochronne dla relacji Radioastronomia – Służba Ruchoma (IMT-2000/UMTS)

Rodzaj stacji	Wymagany odstęp ochronny [dB]
DS-CDMA FDD, BS (P=43dBm)*	190
DS-CDMA FDD, MS (P=24dBm)*	174

* Maksymalna wartość emisji pozapasmowych OOB uzyskana przy uwzględnieniu maksymalnej mocy nadajników BS/MS (typowa moc promieniowana przez stacje bazowe i terminale ruchome IMT-2000/UMTS jest niższa od podanej)

Wyznaczenie stref koordynacyjnych i wyłączonych odbywa się w oparciu o podane niżej zasady:

- Dla stacji bazowych segmentu naziemnego IMT-2000/UMTS, określone w Tabeli 5.1 wartości powinny być użyte przez właściwe administracje do wyznaczenia stref koordynacyjnych. Każda planowana do uruchomienia wewnątrz takiej strefy stacja bazowa, powinna przejść proces koordynacji jej lokalizacji i częstotliwości pracy ze stacjami radioastronomicznymi.
- Dla naziemnych stacji ruchomych rozmiary strefy wyłączonej będą określone jako wynik procesu koordynacji stacji bazowych, zważając jednak na fakt, że stacje ruchome „najpierw odbierają potem nadają”. Strefy wyłączone mają być określone w zależności od lokalnej sytuacji geograficznej.
- Rozmiar stref wyłączonych i koordynacyjnych będzie określony w zależności od lokalizacji stacji. Dotychczasowe badania wykazują, że typowe odległości koordynacyjne w przypadku stacji bazowych mieszczą się w zakresie od 60 do 100 km. Dla pojedynczej stacji ruchomej transmitującej sygnał z maksymalną mocą promieniowaną, strefa wyłączona mieści się w granicach odległości od 30 do 50 km. Podczas wyznaczania powyższych rozmiarów stref nie uwzględniono dodatkowych marginesów ochronnych.
- Stacje radioastronomiczne zlokalizowane są w większości przypadków w obszarach wiejskich, w sposób umożliwiający minimalizację zakłóceń powodowanych przez nadajniki naziemne. Lokalizacje tych stacji dobierane są przeważnie w znacznej odległości od znaczących stałych źródeł zakłóceń naziemnych i mogą być dodatkowo chronione przez naturalne przesłony terenu (np. wzniesienia). Uwzględniając lokalizację istotnych stacji radioastronomicznych (Tabela 5.5), przyjmuje się, że wyznaczone dla nich strefy koordynacyjne lub strefy wykluczone mieszczą się całkowicie wewnątrz granic państw.

Tabela 5.5. Zestawienie stacji radioastronomicznych pracujących w Europie w zakresie częstotliwości 2690-2700 MHz wraz z ich najważniejszymi parametrami (stan na 1 stycznia 2004)

Kraj	Miejscowość	Szerokość geograficzna N	Długość geograficzna E	Wysokość n.p.m. (m)	Średnica (m)	Minimalna elewacja (°)
Czechy	Ondrejov ¹⁾	49°54'38"	14°47'01"	525	3 7,5	0 0
Francja	Nançay	47°23'26"	02°12'00"	180	200 x 40	3.6
Niemcy	Effelsberg	50°31'32"	06°53'00"	369	100	7
Holandia	Westerbork	52°55'01"	06°36'15"	16	14 x 25	0
Rosja	Kalyazin	57° 13'22"	37° 54'01"	195	64	0
	Pushchino	54° 49'00"	37° 40'00"	200	22	6
	Zelenchukskaya	43° 49'53"	41° 35'32"	1000	32	-5
Szwajcaria	Bleien ¹⁾	47°22'36"	08°33'06"	469	7	5
Wielka Brytania	Cambridge	52°09'59"	00°02'20"	24	60 x 5	0
Wielka Brytania	Jodrell Bank	53°14'10"	-02°18'26"	78	76	-1
					32	0
					13	0
Typowy zysk anteny: 69.0 dBi						

¹⁾obserwacje słoneczne

5.4.2.2 Służba Stała (MMDS) i IMT-2000/UMTS

Tabela 5.6 przedstawia wartości wymaganych marginesów ochronnych między systemami IMT-2000/UMTS i MMDS, pracującymi w kanałach sąsiadujących przy zachowaniu separacji geograficznej.

Wyniki badań przedstawione w Sprawozdaniu [36] wskazują, że minimalna separacja częstotliwości w przypadku mikro i makrokomórek IMT-2000/UMTS powinna wynosić 15 MHz, natomiast dla pikokomórek nie wymagane jest uwzględnianie marginesów ochronnych.

Tak, jak w przypadku problemu zakłóceń wspólnokanałowych, również i tutaj możliwa jest redukcja zakłóceń odbiorników MMDS z uwagi na dużą wartość współczynnika tłumienia przód – tył anten odbiorników MMDS w przypadku współużytkowania kanałów sąsiadujących, zapewniając umieszczenie odbiorników MMDS poza obszarem obsługi systemu UMTS.

Tabela 5.6. Wartości marginesów ochronnych między systemami IMT-2000/UMTS i MMDS

Droga zakłóceń	Wymagana separacja częstotliwościowa [MHz]
UMTS UE → MMDS Rx	0
UMTS BS → MMDS Rx	20
MMDS Tx → UMTS BS	15
MMDS Tx → UMTS UE	10

5.5 Wnioski

Przedstawione powyżej wyniki badań kompatybilnościowych pokazują, że możliwe jest zaimplementowanie systemu UMTS w całym rozszerzonym zakresie 2500 – 2690 MHz, muszą być jednak spełnione określone warunki. W przypadku, gdy w okolicach obszaru działania IMT-2000/UMTS (nawet poza granicą kraju) stwierdzona zostanie obecność urządzeń nadawczo-odbiorczych służby stałej (systemów MMDS) wymagane będzie użycie pewnych działań, które zminimalizują skutki ewentualnych wzajemnych zakłóceń systemu. Działania te sprowadzają się do wprowadzenia separacji częstotliwościowych i odległościowych pomiędzy poszczególnymi elementami systemów. Informacje o konieczności zastosowania takich rozwiązań muszą dotrzeć do operatorów obu systemów.

Konieczność ochrony służby radioastronomicznej pociąga za sobą obowiązek dokonania niezbędnych obliczeń, czy nadajniki systemu UMTS nie zakłócać którejkolwiek z istniejących i planowanych stacji radioastronomicznych. Dane niezbędne do obliczeń, przedstawione powyżej, również muszą być udostępnione operatorom systemów IMT-2000/UMTS.

6 Zakończenie

Przeprowadzone w ramach niniejszej pracy analizy mogą stanowić punkt wyjścia dla efektywnego procesu planowania istotnych elementów naziemnej infrastruktury radiokomunikacyjnej (DVB-T, T-DAB, UMTS) badania takie mogą przyczynić się do stworzenia narzędzia umożliwiającego planowanie sieci radiokomunikacyjnej oraz badania kompatybilności elektromagnetycznej systemu.

Obecnie plany DVB-T budowane są w oparciu o istniejącą infrastrukturę nadajników radiowo telewizyjnych na bazie sieci wieloczęstotliwościowych MFN. Natomiast wskazane jest prowadzenie prac analitycznych zmierzających do tworzenia efektywnych planów sieci DVB-T i T-DAB. Dopiero w roku 2003 opracowano pierwszy plan sieci jednoczęstotliwościowej SFN w oparciu o istniejące nadajniki rzeczywiste i obliczenia na rzeczywistym terenie. W przypadku DVB-T należy umiejętnie rozwijać koncepcje sieci SFN dla telewizji cyfrowej, co pozwoli na jeszcze efektywniejsze wykorzystywanie widma radiowego oraz bardziej ekologiczną pracę nadajników (z mniejszymi mocami). Analiza właściwego modelowania sieci SFN oraz opracowanie metod jej budowy i optymalizacji będzie istotnym wkładem IŁ w tą dziedzinę nauki. Modelowanie sieci SFN wymaga znajomości zarówno zachowań systemów radiodfuzyjnych wykorzystujących modulację OFDM, odbiorników tych systemów oraz zaawansowanych technik pozwalających na wyznaczania statystycznego prawdopodobieństwa pokrycia terenu.

W ramach niniejszej pracy:

1. Opracowano warunki kompatybilności naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T z innymi służbami. W szczególności badano odporność DVB-T i DVB-RCT na zakłócenia od systemu CDMA w kanale 65 i 67,
2. Przeprowadzono analizę metod planowania sieci MFN naziemnych radiodfuzyjnych systemów cyfrowych, Zaproponowano szóstą sieć o zasięgu ogólnopolskim powstałą w wyniku konwersji skoordynowanych międzynarodowo telewizyjnych stacji analogowych,
3. Przedstawiono uproszczoną metodę planowania sieci SFN naziemnych radiodfuzyjnych systemów cyfrowych na przykładzie DVB-T,
4. Przeprowadzono analizę kompatybilności systemów radiokomunikacji ruchomej lądowej 3. generacji z innymi systemami,
 - Stworzono macierz koincydencji wskazującą jakie systemy wymagają określenia warunków ich koegzystencji z systemem IMT-2000/UMTS.
 - Rozpoznano metody obliczeniowe i modele propagacyjne, które należy stosować w procesie określania warunków kompatybilności systemu IMT-2000/UMTS z innymi systemami
 - Przeanalizowano problem kompatybilności między systemem UMTS i Radioastronomią oraz MMDS.

Przeprowadzone badania i analizy w ramach niniejszej pracy, pozwoliły następująco wykorzystać jej wyniki:

1. Sprawozdanie – wykorzystano jako część wkładu IŁ w ramach prac Grupy roboczej ds. planowania częstotliwości przy Międzyresortowym zespole ds. wprowadzania telewizji i radiofonii cyfrowej w Polsce,
2. Sprawozdanie – wykorzystano jako część wkładu IŁ w ramach prac Grupy roboczej ds. techniki przy Międzyresortowym zespole ds. wprowadzania telewizji i radiofonii cyfrowej w Polsce
3. Na bazie przeprowadzonych rozważań powstały następujące artykuły:
 - „Analiza możliwości stworzenia kolejnej ogólnopolskiej sieci DVB-T” w czasopiśmie Przegląd Telekomunikacyjny,
 - „Propozycja konwersji wybranych sieci telewizyjnych stacji analogowych na ogólnopolską sieć DVB-T” Krajowa Konferencja Radiokomunikacji Radiofonii i Telewizji, Warszawa 16-18 czerwca 2004 r.
 - „Analiza kompatybilności naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T i systemu CDMA w kanałach 65 67 telewizji”, Krajowa Konferencja Radiokomunikacji Radiofonii i Telewizji, Warszawa 16-18 czerwca 2004 r.

Ponadto fragmenty pracy będą wykorzystane w pracach doktorskich dwóch wykonawców.

Efektami pracy mogą zainteresowani być: URTIP, MI, KRRiT, Operatorzy, Nadawcy oraz producenci odbiorników.

7 Spis literatury

- [1] 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 July 1997
- [2] European Telecommunication Standard ETS 300 744 Digital Video Broadcasting (DVB); *Framing structure, channel coding and modulation for digital Terrestrial television (DVB-T)*, ETSI, 1997-2001
- [3] M. Kałuski, M. Macher, D. Więcek: *Kompatybilność między systemami nawigacyjnymi RSBN/PRMG i systemem naziemnej telewizji cyfrowej*, KKRR'2000, Poznań 2000
- [4] Marszałek, W. Sęga, J. Sobolewski: *Analiza i opracowanie podstaw planowania i koordynacji ziemskiej telewizji cyfrowej DVB-T w Polsce*, Sprawozdanie nr Z21/214237/137/97, Instytut Łączności, Wrocław 1997,
- [5] A. Marszałek, W. Sęga, J. Sobolewski: *Wstępny plan sieci DVB-T w Polsce*, Sprawozdanie nr Z21/214237/220/98, Instytut Łączności, Wrocław 1998
- [6] K. Roślan-Kuhn: *Wariantowa analiza możliwości wdrażania sieci DVB-T w Polsce*, Biuletyn Urzędu Regulacji Telekomunikacji i Poczty, nr 4(7)/2003, str. 22-30
- [7] K. Roślan-Kuhn, A. Marszałek, W. Sęga: *Techniczne możliwości wdrożenia DVB-T w Polsce*, KKRR'2003, Wrocław 2003
- [8] Praca zbiorowa: *Analiza i badanie kompatybilności elektromagnetycznej naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T, DVB-RCT, propozycja zasad planowania tych sieci w kraju i przygotowanie przykładowych planów*, Sprawozdanie nr Z21/21300073/839/2003, Instytut Łączności, Wrocław 2003
- [9] Recommendation ITU-R BT. 1368-3, *Planning Criteria for Digital Terrestrial Television Services in the VHF/UHF Bands*
- [10] Regional Agreement for the European Broadcasting Area, *Final Protocol Resolutions and Recommendations*, Stockholm 1961, International Telecommunication Union, Geneva
- [11] D. Więcek: *Analysis of Compatibility Between Digital Television DVB-T and Radio Astronomy Sharing the Same Frequency Band: 608-614 MHz*, 1999 IEEE EMC Symposium, Seattle, 1999
- [12] D. Więcek, O. Łotoczko, R. Więcek: *Kompatybilność naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T*, KKRRiT'2002, Gdańsk 2002
- [13] D. Więcek.: *Wybrane aspekty techniczne planowania sieci DVB-T*, KKRRiT2003, Wrocław, czerwiec 2003
- [14] R. Więcek, O. Łotoczko, J. Sobolewski: *Analiza zasięgów stacji telewizyjnych - luty 2003*, Sprawozdanie nr Z21/21400652/776/2003, Instytut Łączności, Wrocław 2003
- [15] ITU-R, Regional Radiocommunication Conference RRC: Report of the first session of the conference to the second session of the conference, Geneva, May, 2004
- [16] Systems for terrestrial digital sound broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the frequency range 30-3000 MHz, ITU-R BS.1114, Geneva 200

- [17] DVB Project, ETSI: *Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for Digital Terrestrial Television (DVB-RCT) incorporating Multiple Access OFDM*, EN 301 958 v1.1.1 (2002-03), DVB-RCT standard, 2002,
- [18] Ch. Hamacher, *Required Guard-Bands for Co-Operation of DVB-T and UMTS*, Comnets-RWTH, Aachen, 2003,
- [19] Radio Regulations, Geneva 2004,
- [20] Sprawozdanie Z21/21300020/590/00, *Kompatybilność elektromagnetyczna telewizji cyfrowej DVB-T – metody badania*, Wrocław, grudzień 2000,
- [21] Sprawozdanie Z21/21 30 001 1/720/01: „Gospodarka widmem częstotliwości radiowych – rozwój nowych systemów radiokomunikacyjnych, modele, metody analiz i badań kompatybilności przy współużytkowaniu widma”, Wrocław, grudzień 2001
- [22] Sprawozdanie Z21/21300012/769/02, *Metody analizy i badanie kompatybilności elektromagnetycznej oraz zasady planowania sieci nowoczesnych systemów radiowych (DVB-T, DVB-RCT)*, Wrocław, listopad 2002
- [23] Tabela przeznaczeń częstotliwości i zakresów częstotliwości na obszarze Rzeczypospolitej Polskiej, Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 16.01.2003 w sprawie Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości (Dz.U.22, poz. 187 z dnia 12.02.2003), Warszawa 2003
- [24] D. Więcek, *Model odbiornika DVB-T do celów analizy kompatybilności*, Telekomunikacja i Techniki Informacyjne, nr 3-4, 2003
- [25] D. Więcek, *Wybrane aspekty techniczne planowania sieci DVB-T*, Krajowa Konferencja Radiodifuzji, Radiokomunikacji i Telewizji, Wrocław, czerwiec 2003
- [26] D. Więcek, O. Łotoczko, *Kompatybilność systemu DVB-RCT z DVB-T*, Krajowa Konferencja Radiodifuzji, Radiokomunikacji i Telewizji, Wrocław, czerwiec 2003
- [27] D. Więcek, O. Łotoczko, R. Więcek, *Kompatybilność naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T*, Krajowa Konferencja Radiodifuzji, Radiokomunikacji i Telewizji, Gdańsk 2002
- [28] Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz, ITU-R P.1546-1, 2003, Geneva
- [29] Systems for digital sound broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the frequency range 30-3000 MHz, ITU-R BS.1114-2, 2001. Geneva
- [30] ITU-R Task Group 6-8, Document 6-8/56E, Interference Levels for Digital Video Broadcasting-Terrestrial to the Land Mobile Services, 2002
- [31] IS95 Standard TIA/EIA/IS-95A, Mobile Station-Base Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System
- [32] ITU-R Study Group 6E, Document 6E/108 Protection Ratios for DVB-T Subjected to emissions from CDMA-1X and CDMA-3X, ITU-R, 2004
- [33] ITU-R Task Group 6-8, Document doc.6-8/92E, Interference levels from DVB-T to Cellular CDMA in the band 470-862 MHz, 2003
- [34] ECC/DEC/(02)06, *ECC Decision of 15 November 2002 on the designation of frequency band 2500-2690 MHz for UMTS/IMT-2000*, Geneva, 2002
- [35] ERC Report 025, *The European table of frequency allocations and utilizations covering the frequency range 9 kHz to 275 GHz*, Geneva
- [36] ECC, Rep. 45, *Sharing and adjacent band compatibility between UMTS/IMT-2000 in the band 2500-2690 MHz and other services*, Granada, February 2004

- [37] ECC PT1(04)094 Annex 9, *Draft ECC Decision on the Harmonized Utilization of Spectrum for IMT-2000/UMTS Systems Operating Within the band 2500-2690 MHz*, Copenhagen, April 2004
- [38] ITU-R, Rec. P. 676-5, *Attenuation by atmospheric gases*, Geneva, 2001
- [39] COST-231 Final Report, *Digital Mobile Radio: COST 231 View on the Evolution Towards 3rd Generation Systems*, Commission of the European Communities and COST telecommunications, Brussels, 1999
- [40] ITU-R, Rec. P425-11, *Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.7 GHz*, Geneva, 2004
- [41] ITU-R Rec. RA-769-2, *Prediction criteria used for radio astronomical measurements*, Geneva, 2003.

8 Wykaz skrótów

Skrót	Tłumaczenie skrótu	Znaczenie w języku polskim
ACI	Adjacent Channel Interference	interferencje w kanale sąsiednim
ACIR	Adjacent Channel Interference Ratio	współczynnik interferencji w kanale sąsiednim
ACL	Adjacent Channel Leakage	stopień przenikania do sąsiedniego kanału
AWGN	Additive White Gaussian Noise	addytywny biały szum gaussowski
BER	Bit Error Rate	bitowa stopa błędów
BS	Burst Structure	struktura impulsu stosowana w systemie DVB-RCT
CDMA	Code Division Multiple Access	wielodostęp kodowy
CDMA2000	Code Division Multiple Access 2000	Amerykański standard służby ruchomej bazujący na technice CDMA wykorzystujący rozkład kanałowy IS95
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing	kodowane ortogonalne zwielokrotnienie częstotliwościowe
C/N	Carrier-to-Noise Ratio	stosunek sygnału do szumu
C/I	Carrier-to-Interference Ratio	stosunek sygnału do zakłóceń, współczynnik ochronny
CS	Carrier Spacing	odstęp pomiędzy nośnymi
DSA	Dynamic Spectrum Allocation	dynamiczny przydział pasma
DVB	Digital Video Broadcasting	europejska organizacja do spraw standaryzacji cyfrowych rozświeczonych systemów transmisyjnych
DVB-RCT	DVB-T Return Channel Terrestrial	system naziemnego kanału zwrotnego w naziemnej telewizji cyfrowej
DVB-T	Digital Video Broadcasting -Terrestrial	naziemna telewizja cyfrowa zgodna z europejskim standardem DVB
ETS	European Telecommunication Standard	europejska norma telekomunikacyjna
FDD	Frequency Division Duplex	dupleks z podziałem częstotliwości
FDMA	Frequency Division Multiple Access	dostęp wielokrotny z podziałem częstotliwościowym
FEC	Forward Error Correction	korekcja błędów w przód
FFT	Fast Fourier Transformation	szybka transformata Fouriera
FH	Frequency Hopping	skakanie po częstotliwościach
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum	odmiana systemu z rozproszonym widmem z zastosowaniem skakania po częstotliwościach
GB	Guard Band	pasma ochronne
GI	Guard Interval	odstęp ochronny
GoS	Grade of Service	stopień świadczonych przez system usług
HDTV	High Definition TeleVision	telewizja o wysokiej rozdzielczości
IFFT	Inverse Fast Fourier Transformation	odwrotna szybka transformata Fouriera
IMT-2000	International Mobile Telecommunication	globalny system radiokomunikacji ruchomej 3.generacji
IS-95	Industry Standard 95	standard dostępowy CDMA o numerze IS-95
ISI	Inter-symbol Interference	interferencje międzysymbolowe
MAC	Medium Access Control	sterowanie dostępem do widma (w systemie DVB-RCT)
MCL	Minimum Coupling Loss	minimalne tłumienie łącza
MFN	Multi Frequency Network	sieć wieloczęstotliwościowa
MPEG	Moving Picture Experts Group	standard kompresji sygnału (wizji i fonii)

Skrót	Tłumaczenie skrótu	Znaczenie w języku polskim
MPEG TS	MPEG Transport Stream	strumień transportowy MPEG
MMDS	Multipoint Multimedia Distribution System	system dystrybucji multimedialnych punkt - wielopunkt
NLOS	Non Line of Sight	trasa propagacji fal bez bezpośredniej widoczności anten
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	ortogonalne zwiłokrotnienie częstotliwościowe
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	dostęp wielokrotny z ortogonalnym podziałem częstotliwościowym
OOB	Out of Band	emisja pozapasmowa
OTP	Operational Transmission Power	robocza moc nadawana
PAL	Phase Alternating Line	standard emisji analogowego sygnału telewizyjnego
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	system kwadraturowej modulacji amplitudy (4-wartościowe kluczkowanie amplitud)
QEF	Quasi Error Free	kryterium prawie bezbłędnej transmisji
QoS	Quality of Service	jakość świadczonych przez system usług
QPSK	Quaternary Phase Shift Keying	system kwadraturowej modulacji fazy
RF	Radio Frequency	częstotliwość radiowa
RS	Reed-Solomon	system kodowania
RCT	Return Channel Terrestrial	naziemny kanał zwrotny
RCTT	Return Channel Terrestrial Terminal	terminal użytkownika systemu naziemnego kanału zwrotnego
RX	Receiver	odbiornik
RPC	Reference Planning Configuration	planistyczna konfiguracja odniesienia
SDTV	Standard Definition TeleVision	telewizja o standardowej rozdzielczości
SECAM	Système Séquentiel Couleur A Mémoire	standard emisji analogowego sygnału telewizyjnego
SFN	Single Frequency Network	sieć jednoczęstotliwościowa
STB	Set Top Box	terminal użytkownika, przystawka TV cyfrowej
T-DAB	Terrestrial Digital Audio Broadcasting	naziemny system radiofonii cyfrowej zgodny ze standardem DAB
TDM	Time Division Multiplexing	zwiłokrotnienie czasowe
TDMA	Time Division Multiple Access	dostęp wielokrotny z podziałem czasowym
TF	Transmission Frame	ramka transmisyjna (stosowana w systemie DVB-RCT)
TV	TeleVision	telewizja
TVA	TeleVision Analog	telewizja analogowa
TX	Transceiver	nadajnik
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	uniwersalny system łączności ruchomej (3 generacji)
USC	Percentage of Satisfied Users	procent zadowolonych użytkowników
UHF	Ultra High Frequency	częstotliwość ultra wysoka
VHF	Very High Frequency	częstotliwość bardzo wysoka